COMUNE DI GENOVA
CITTÀ METROPOLITANA DI GENOVA
REGIONE LIGURIA

CAVA DI CALCARE DENOMINATA "MONTECARLO"

PROGETTO DI VARIANTE AL PIANO DI COLTIVAZIONE E RIPRISTINO AMBIENTALE

ALL. 4A

ALLEGATI ALLA RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMECCANICA, MINERARIA, DI STABILITA'

IL COMMITTENTE: Grandi Calcestruzzi sas

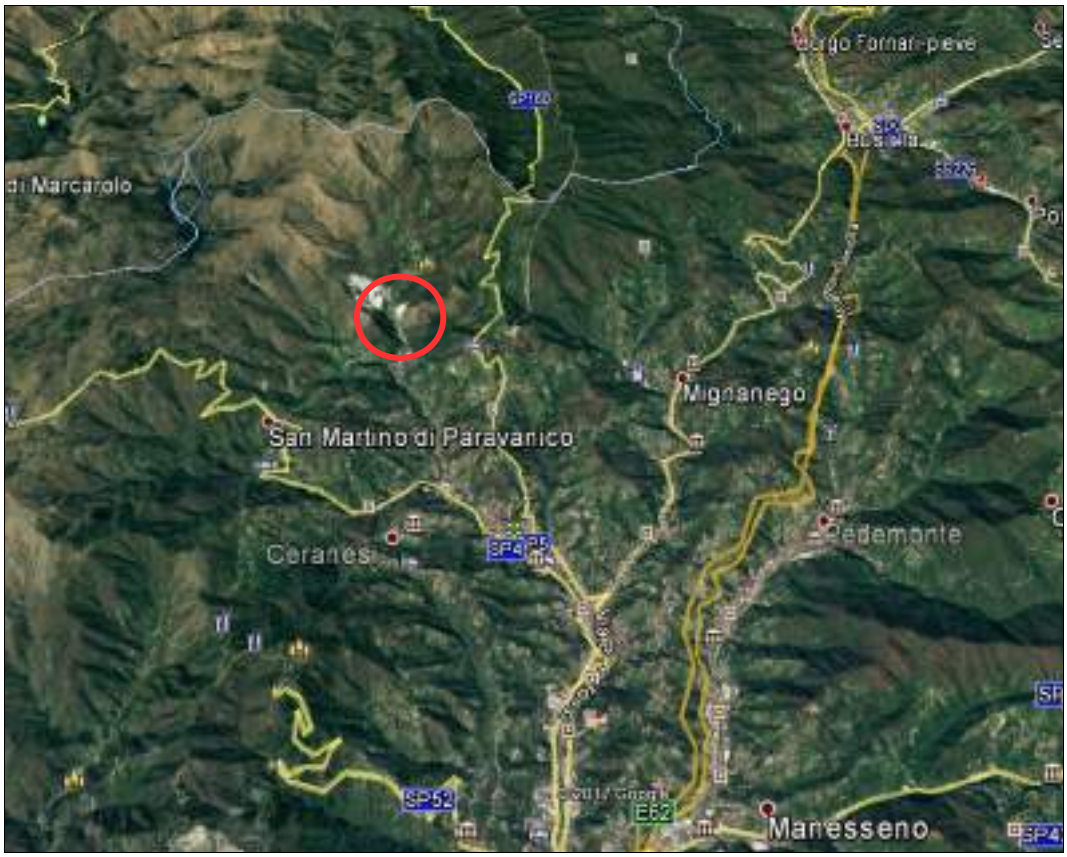
IL PROGETTISTA: Dott. Geologo Luca Piaggi

- Marzo 2022 -
-Ver. 1.0-

STUDIO GEOLOGICO PIAGGI
Via Genova n. 442 -19123 La Spezia
Tel-Fax: 0187 –716658
www.sgeop.com
E-mail: lucapiaggi@gmail.com

ALLEGATI

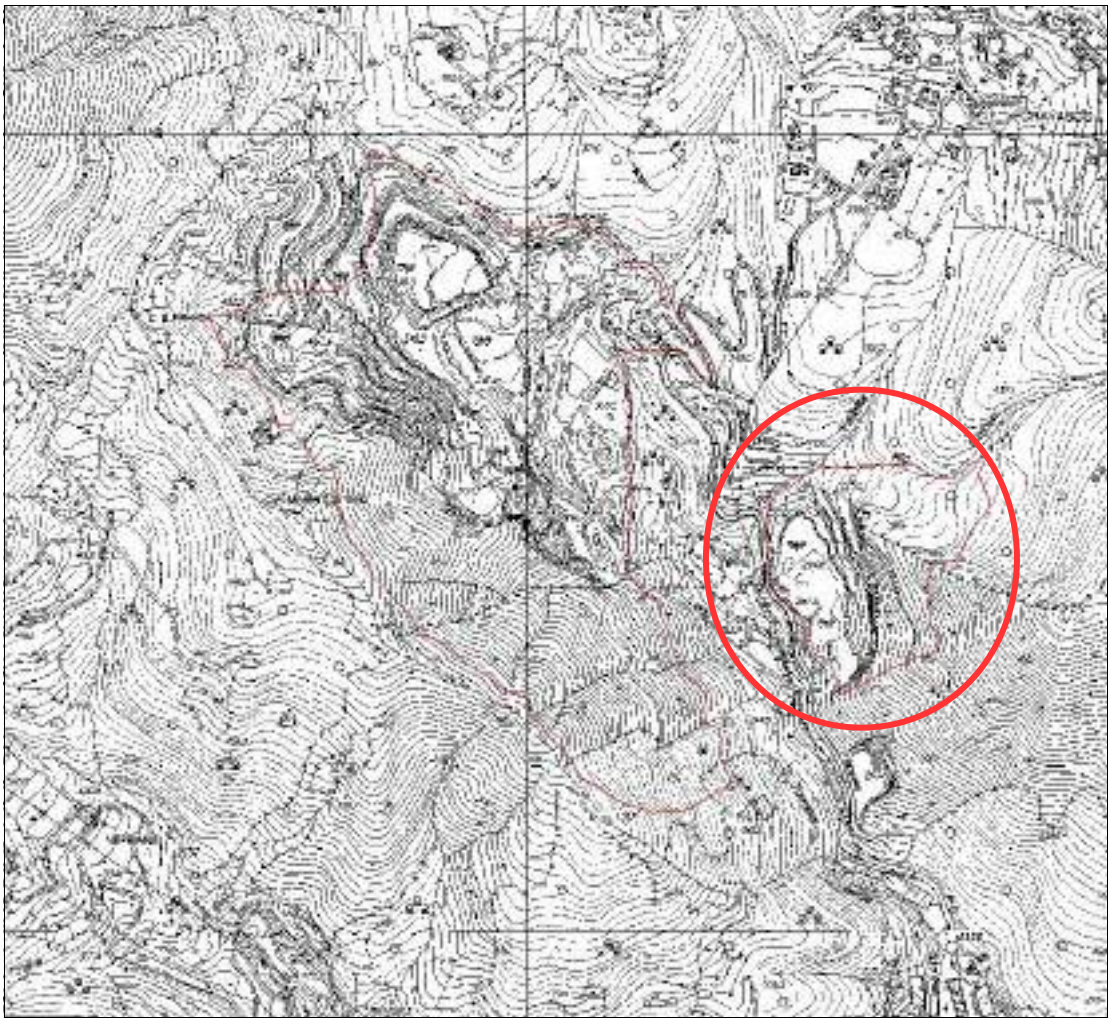
1. Inquadramento territoriale generale;
2. Inquadramento territoriale;
3. Schema tettonico;
4. Cartografia geologica generale;
5. Dettaglio della cartografia geologica generale sovrapposta al CTR;
6. Carta geologica del Piano di Bacino Torrente Polcevera;
7. Carta geomorfologica del Piano di Bacino Torrente Polcevera;
8. Carta idrogeologica del Piano di Bacino Torrente Polcevera;
9. Cartografia delle aree soggette a S.I.C. – da geoportale;
10. PTCP assetto geomorfologico – da geoportale;
11. PTCP assetto insediativo – da geoportale;
12. PTCP assetto vegetazionale – da geoportale;
13. Affioramenti di rocce verdi;
14. Ubicazione di cavità carsiche;
15. Reticolo idrografico;
16. Reticolo idrografico – dettaglio;
17. Carta della franosità reale del Piano di Bacino Torrente Polcevera;
18. Suscettività al dissesto del Piano di Bacino Torrente Polcevera;
19. Rischio geologico del Piano di Bacino Torrente Polcevera;
20. Carta delle acclività del Piano di Bacino Torrente Polcevera;
21. Carta dell'esposizione dei versanti del Piano di Bacino Torrente Polcevera;
22. Analisi petrografiche;
23. Verifiche di stabilità;



INQUADRAMENTO TERRITORIALE GENERALE – GOOGLE EARTH

LEGENDA

Area di cava



INQUADRAMENTO TERRITORIALE – SCALA 1:10000

LEGENDA

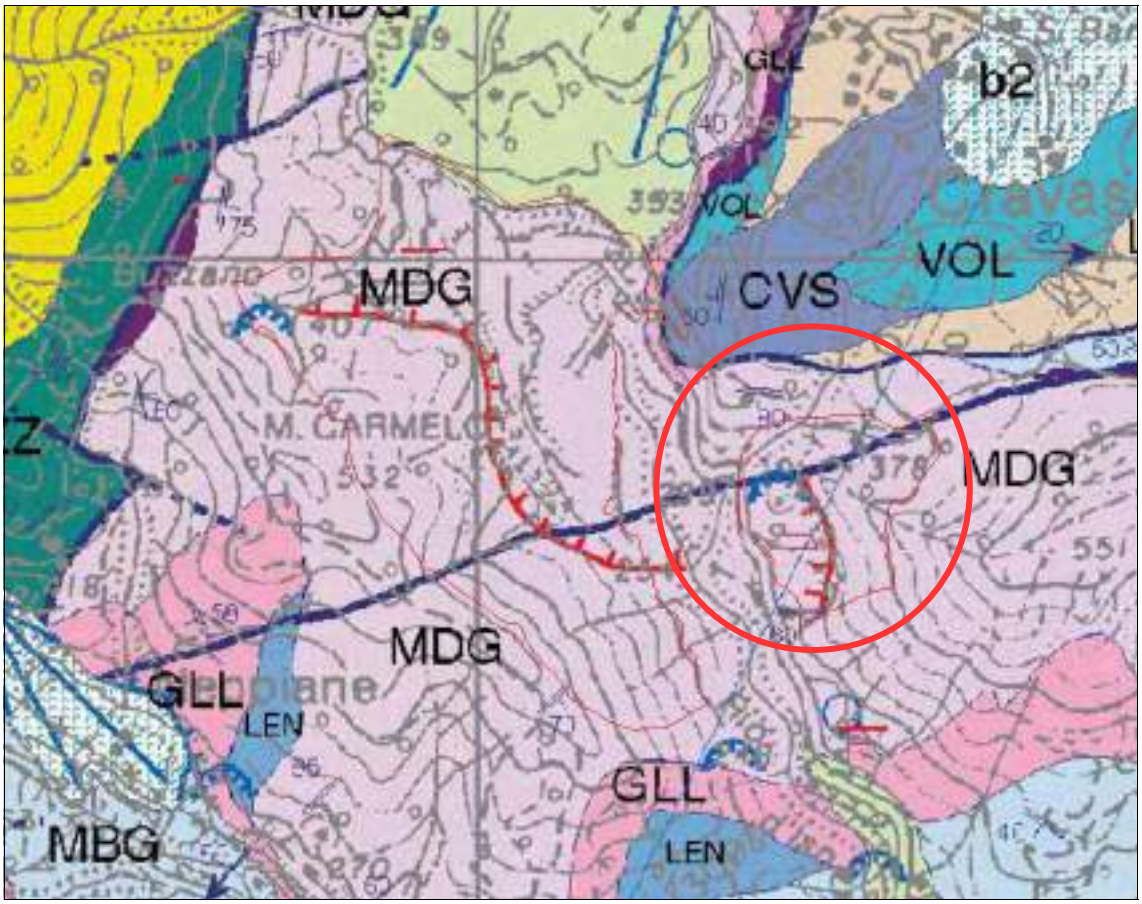
Area di cava



SCHEMA TETTONICO GENERALE

LEGENDA

Area di cava

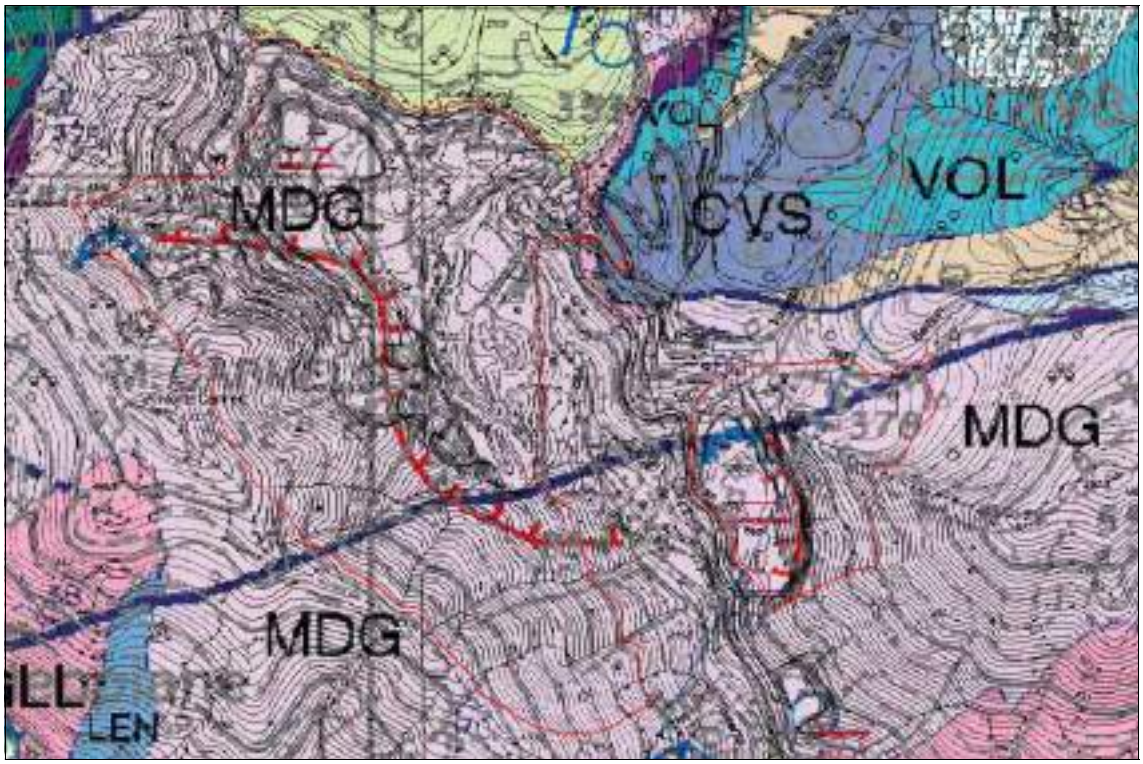


CARTA GEOLOGICA GENERALE – DA CARG 1:25000

LEGENDA

Area di cava

b – detrito
LRV – Scisti filladici del Monte Larvego
VOL – Calcari di Voltaggio
CVS – Metabasalti di Cravasco
MBG – Meta Argilliti di Bessega
LEN – Calcari di Lencisa
GLL – Calcari di Gallaneto
MDG – Dolomie del Monte Gazzo
BZZ – Metagabbri eclogitici di Case Buzzano
SNV – Serpentinoscisti antigoritici del Bric del Dente

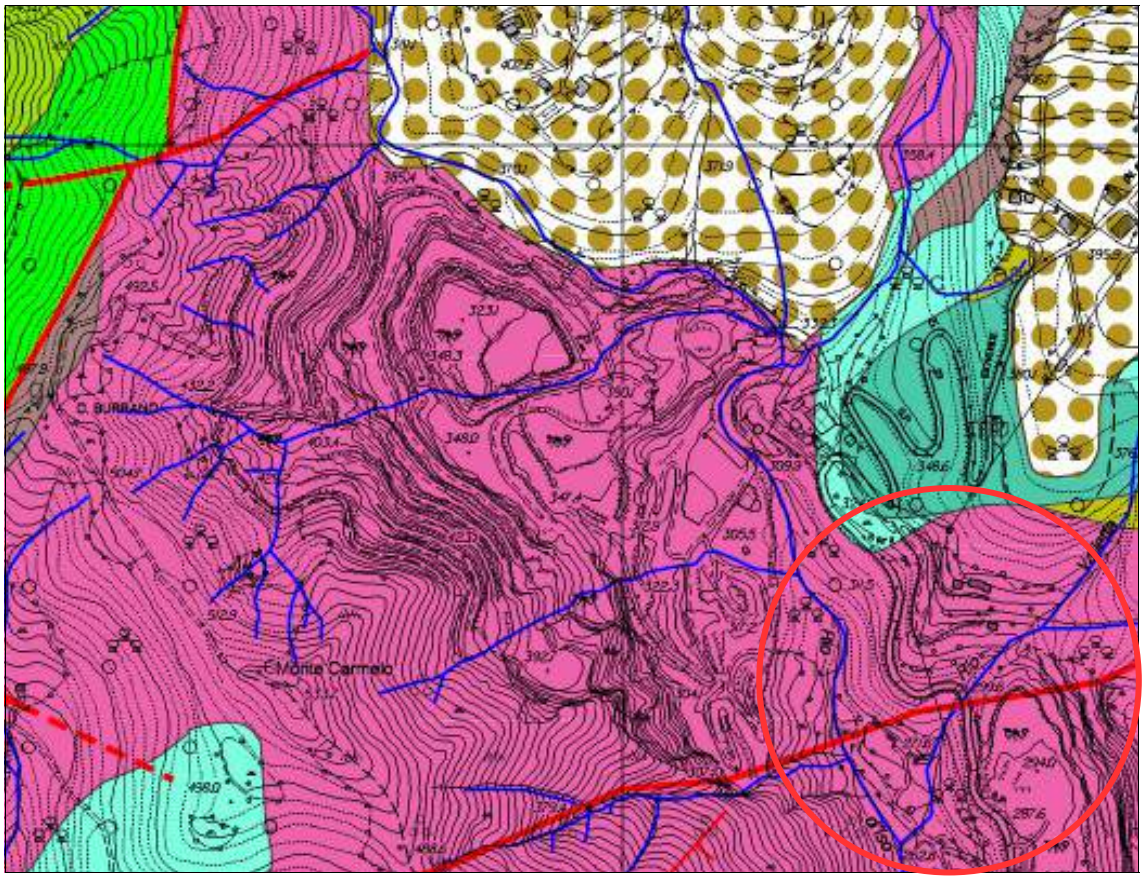


DETTAGLIO DELLA CARTA GEOLOGICA GENERALE SOVRAPPOSTA AL CTR– DA CARG 1:25000

LEGENDA

Area di cava dal piano cave

b – detrito
LRV – Scisti filladici del Monte Larvego
VOL – Calcari di Voltaggio
CVS – Metabasalti di Cravasco
MBG – Meta Argilliti di Bessega
LEN – Calcari di Lencisa
GLL – Calcari di Gallaneto
MDG – Dolomie del Monte Gazzo



CARTA GEOLOGICA DEL PIANO DI BACINO TORRENTE POLCEVERA

LEGENDA

Area di cava

(dt2) Coperture detritiche superiori a 3 metri grossolane

mb Metabasiti

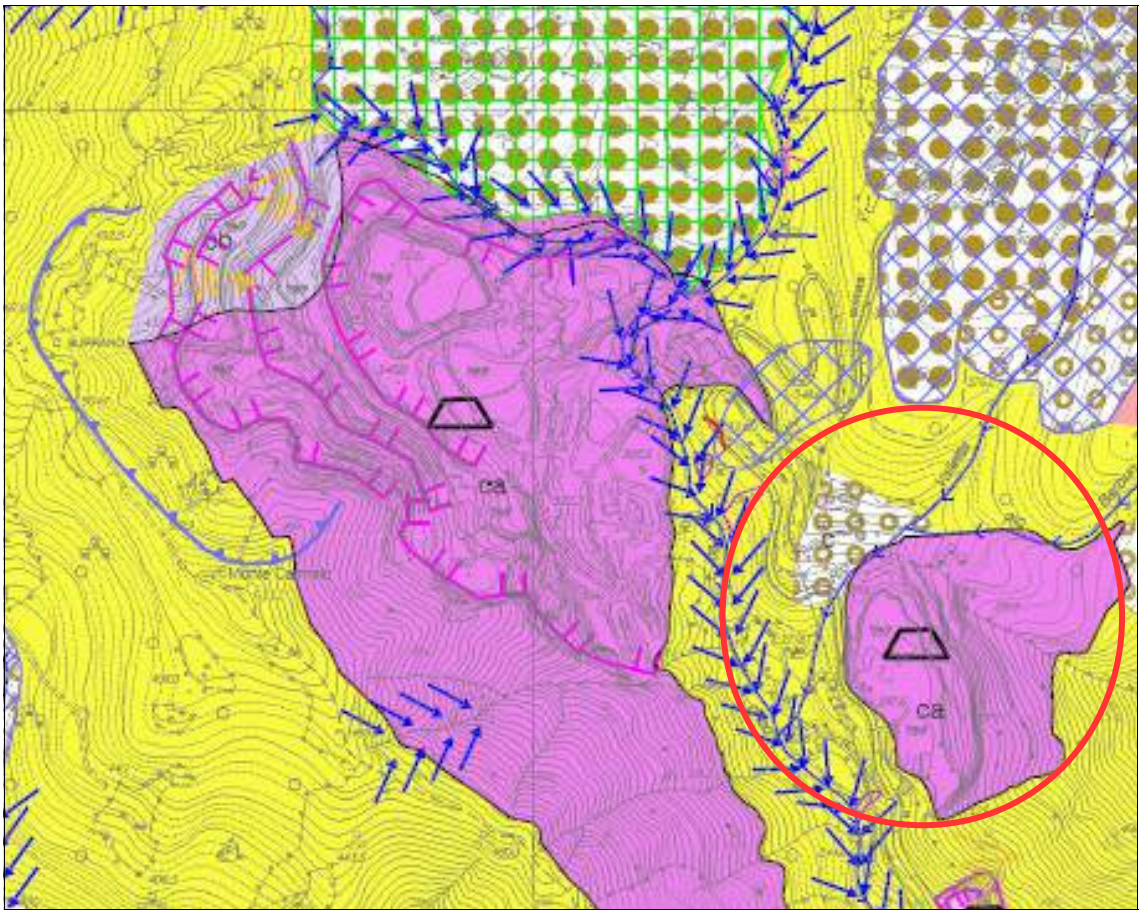
mg Metagabbri

sr Serpentiniti

d Diaspri

c Calcari

g Gessi



CARTA GEOMORFOLOGICA DEL PIANO DI BACINO TORRENTE POLCEVERA

LEGENDA

Area di cava

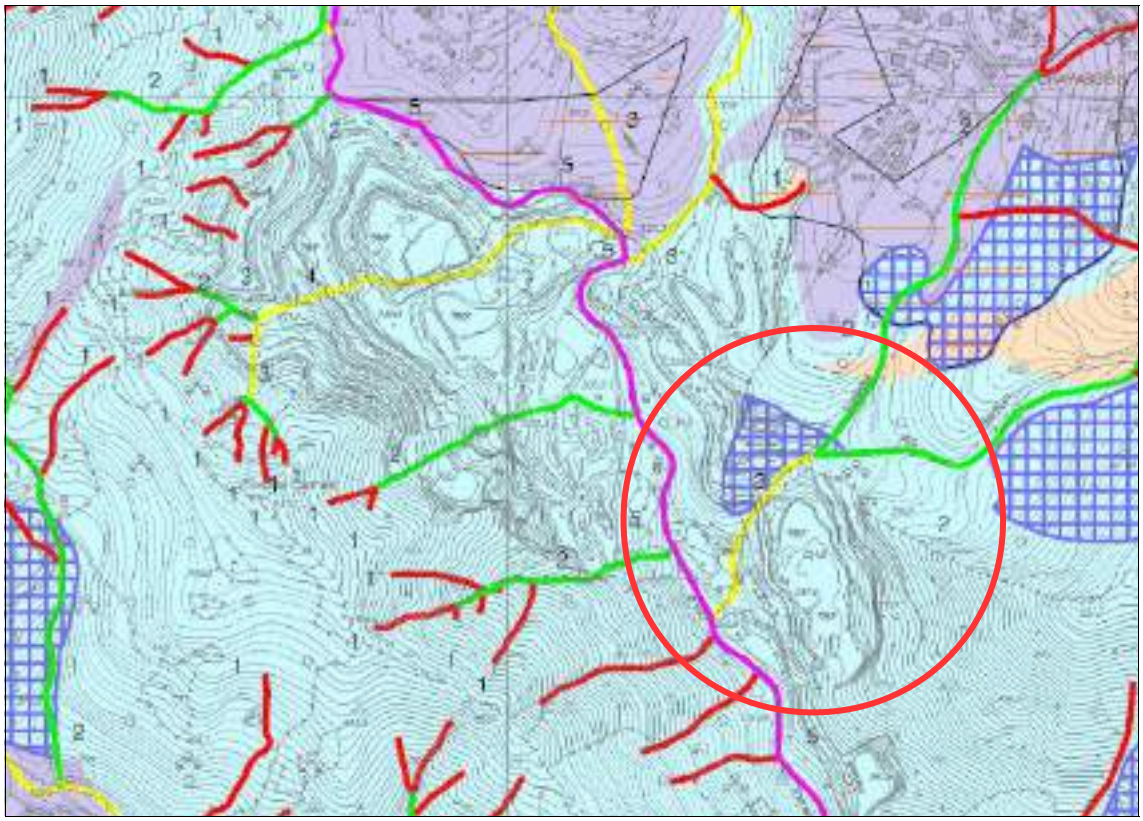
Rs — In buone condizioni di conservazione e/o disposizione sfavorevole delle strutture rispetto al pendio

Cave attive

Cave abbandonate

(dt2) Coperture detritiche superiori a 3 metri grossolane

(c) Coperture detritiche e depositi eluvio colluviali da 1 a 3 metri

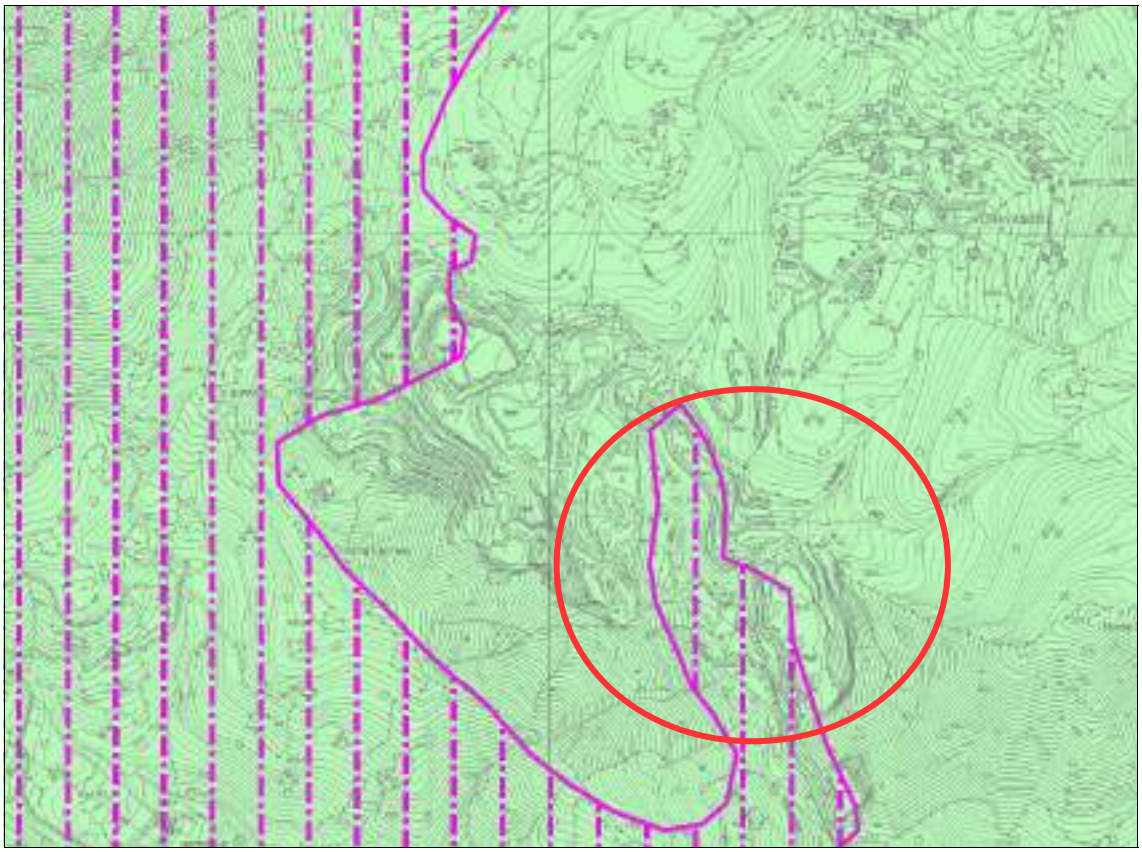


CARTA IDROGEOLOGICA DEL PIANO DI BACINO TORRENTE POLCEVERA

LEGENDA

Area di cava





CARTA DEI VINCOLI DEL PIANO DI BACINO TORRENTE POLCEVERA

LEGENDA

Area di cava

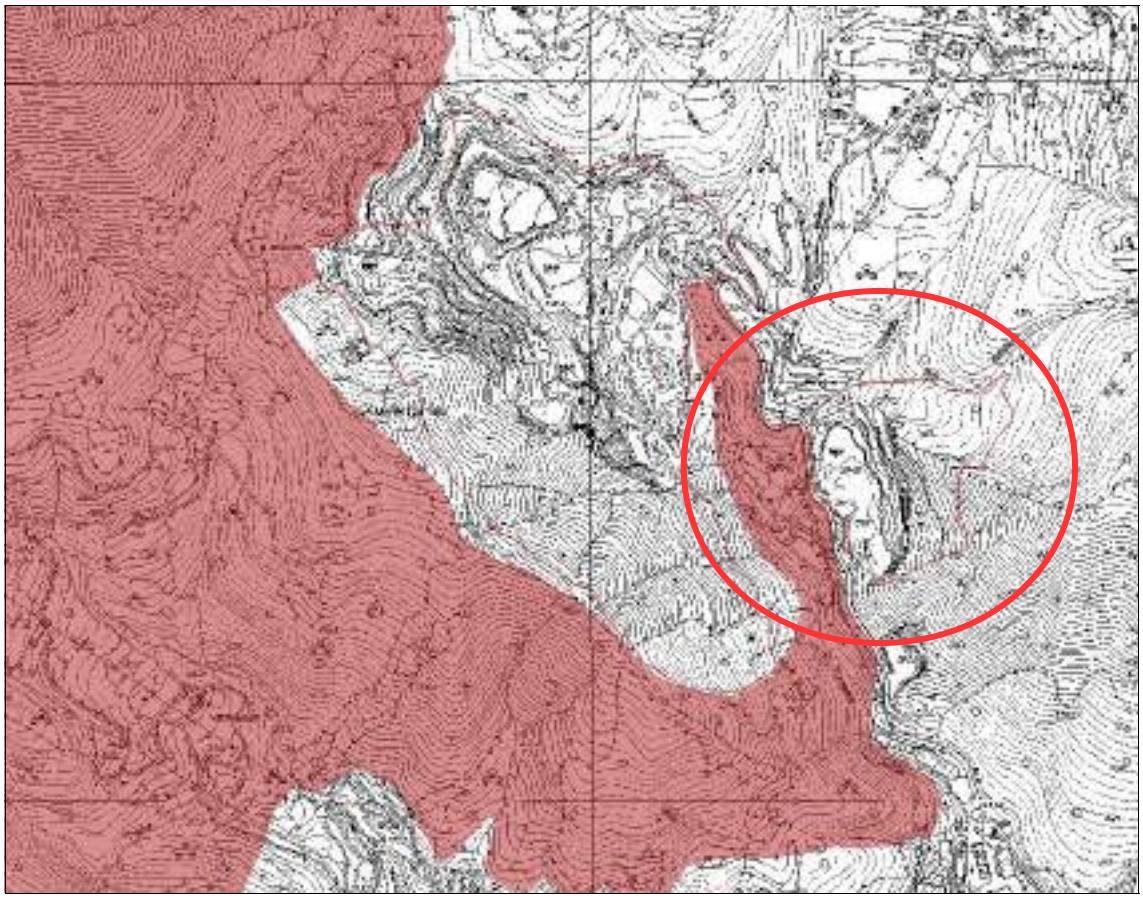
aree sottoposte a vincolo idrogeologico

aree classificate "abitati da consolidare" (L. 64/1974)

siti di interesse comunitario pSIC (D.G.R. 646/2001)

parchi naturali regionali

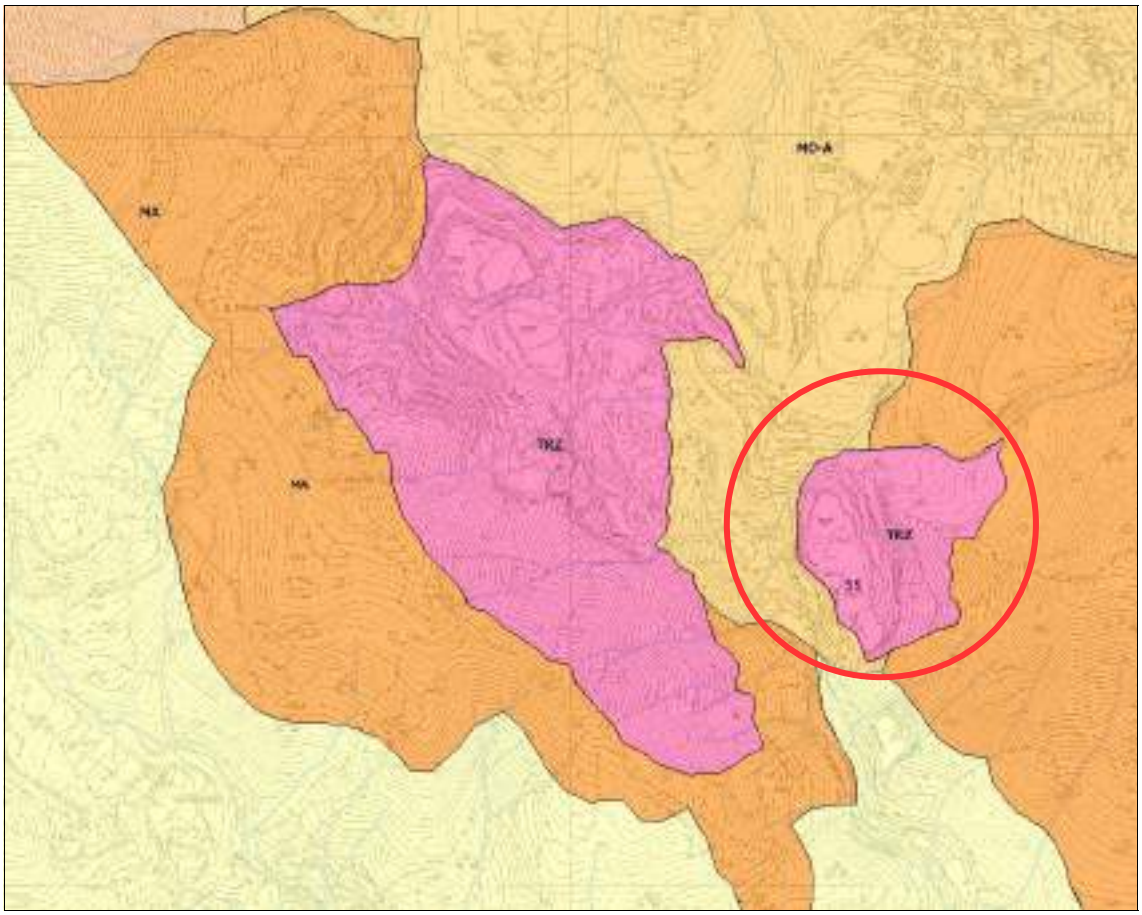
limite di bacino



CARTOGRAFIA DELLE AREE SOGGETTE A S.I.C. – DA GEOPORTALE

LEGENDA

Area di cava



PTCP ASSETTO GEOMORFOLOGICO – DA GEOPORTALE

LEGENDA

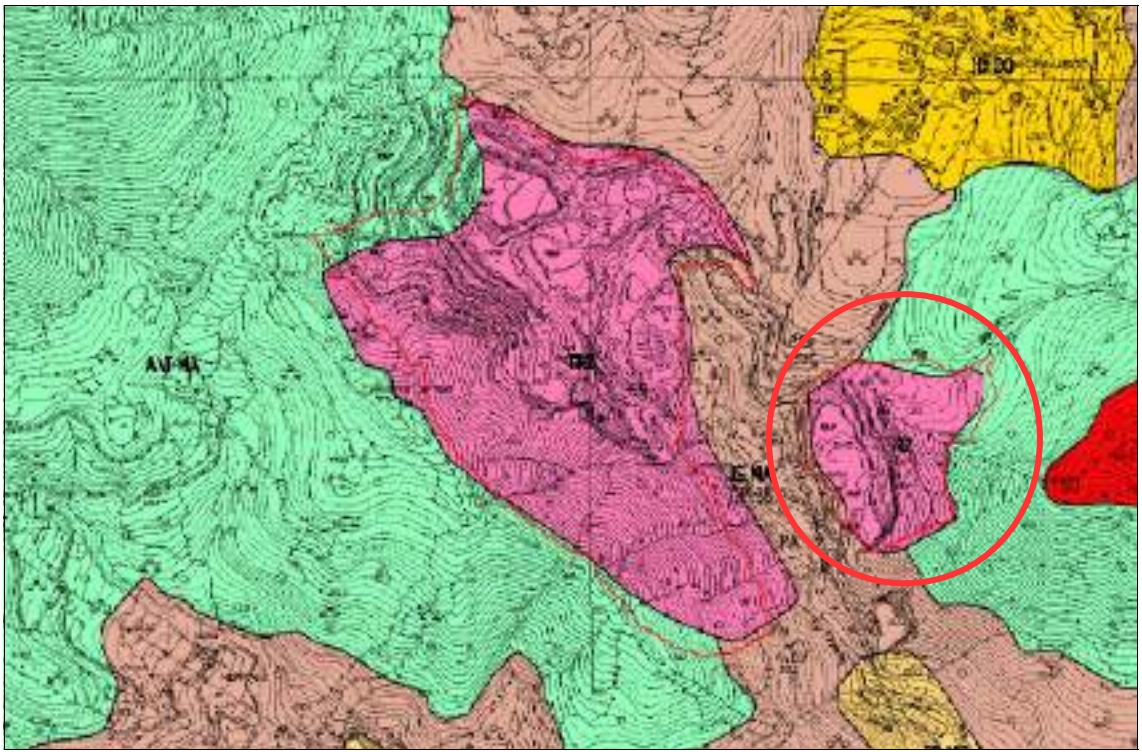
Area di cava

MA - Mantenimento

CO – Consolidamento

MO-A – Modificabilità di tipo A

TRZ - trasformazione



PTCP ASSETTO INSEDIATIVO – DA GEOPORTALE

LEGENDA

Area di cava

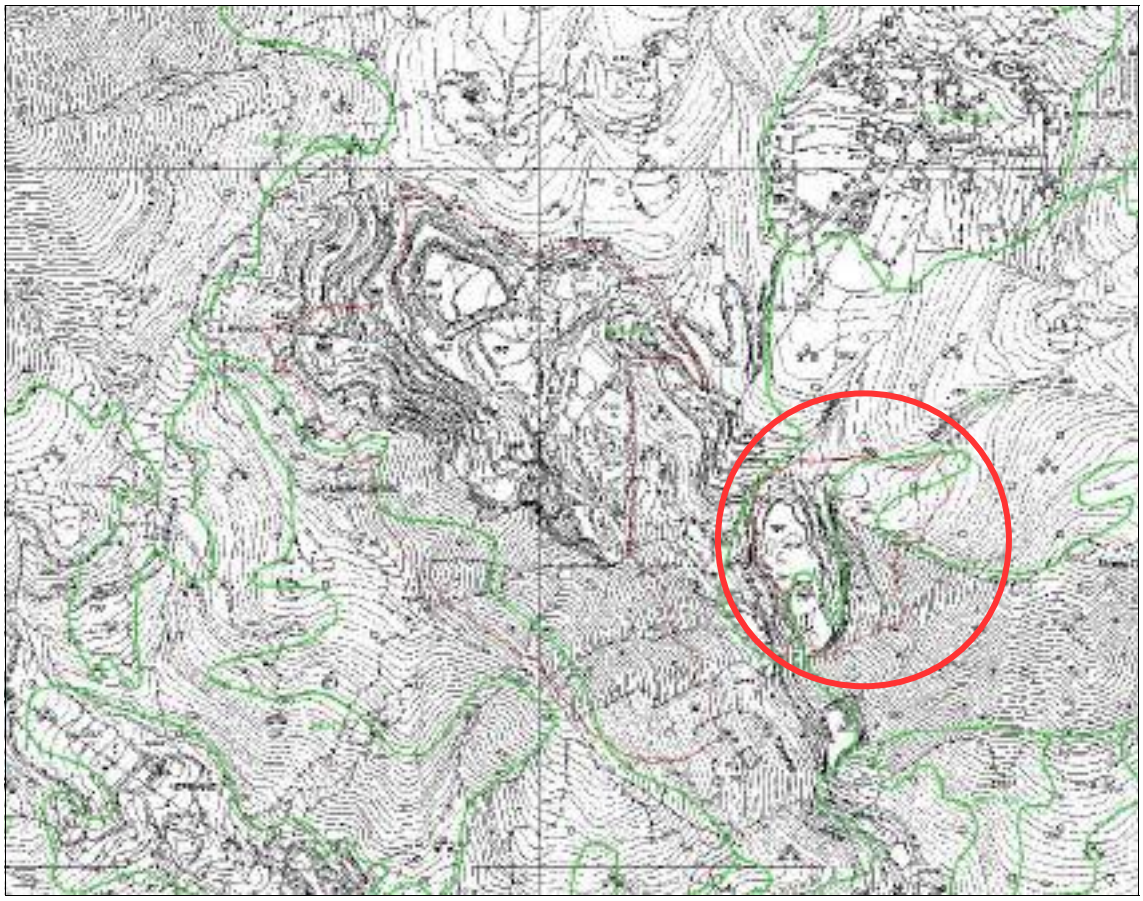
ID-CO – Insediamenti diffusi - Consolidamento

ID-MO-A – Insediamenti diffusi - Modificabilità di tipo A

IS-MA - Insediamenti sparsi - Mantenimento

ANI-MA – Aree non insediative - Mantenimento

TRZ - Trasformabilità

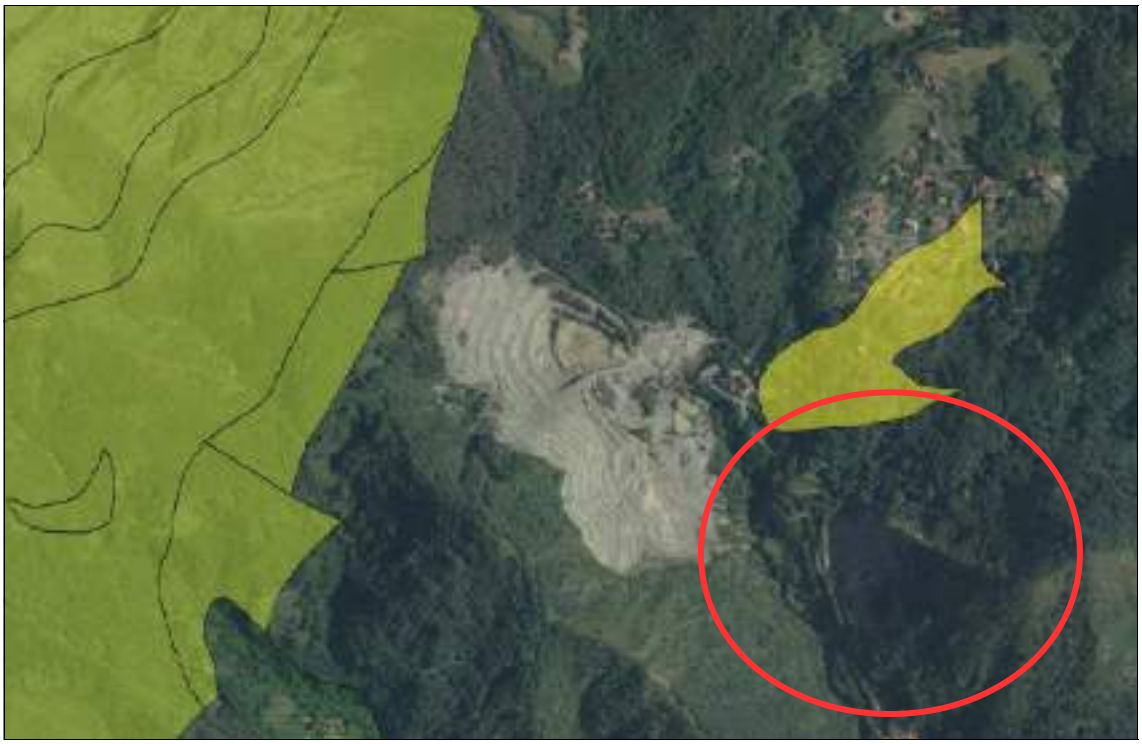


PTCP ASSETTO VEGETAZIONALE – DA GEOPORTALE

LEGENDA

Area di cava

BAM-CO - Boschi di angiosperme mesofile - Consolidamento

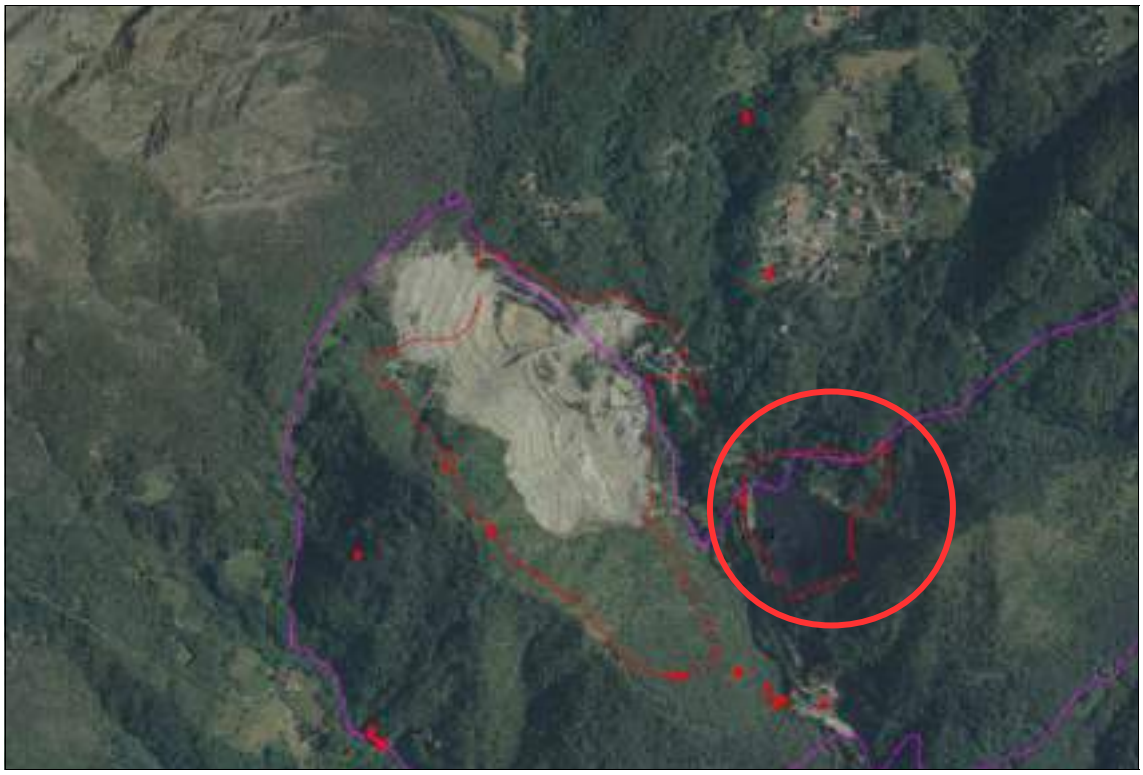


AFFIORAMENTI DI ROCCE VERDI – DA GEOPORTALE

LEGENDA

Area di cava

Rocce verdi



UBICAZIONE CAVITÀ CARSICHE – DA GEOPORTALE

LEGENDA

Area di cava

Grotte

Aree carsiche



RETICOLO IDROGRAFICO – DA GEOPORTALE

LEGENDA

Area di cava

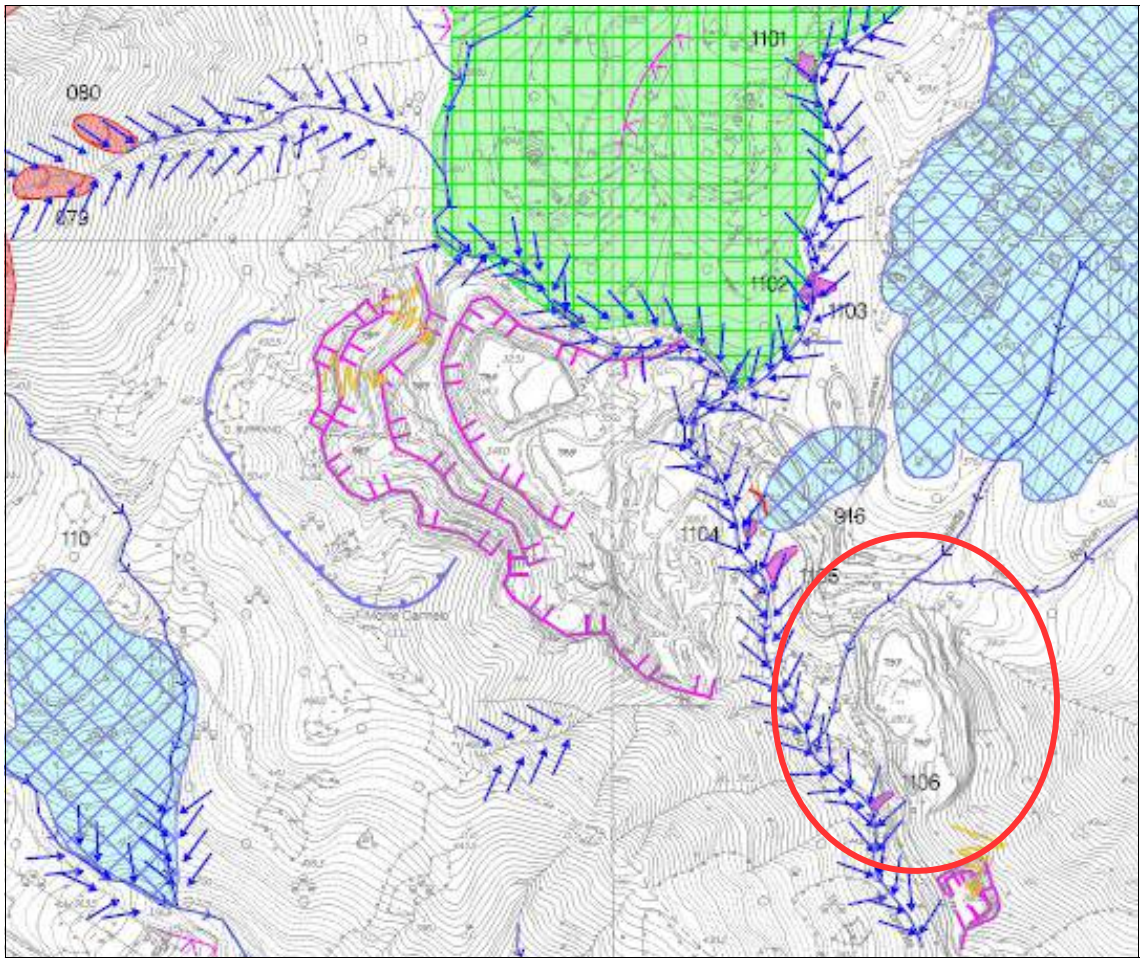
Reticolo idrografico



RETICOLO IDROGRAFICO DI DETTAGLIO – DA GEOPORTALE

LEGENDA

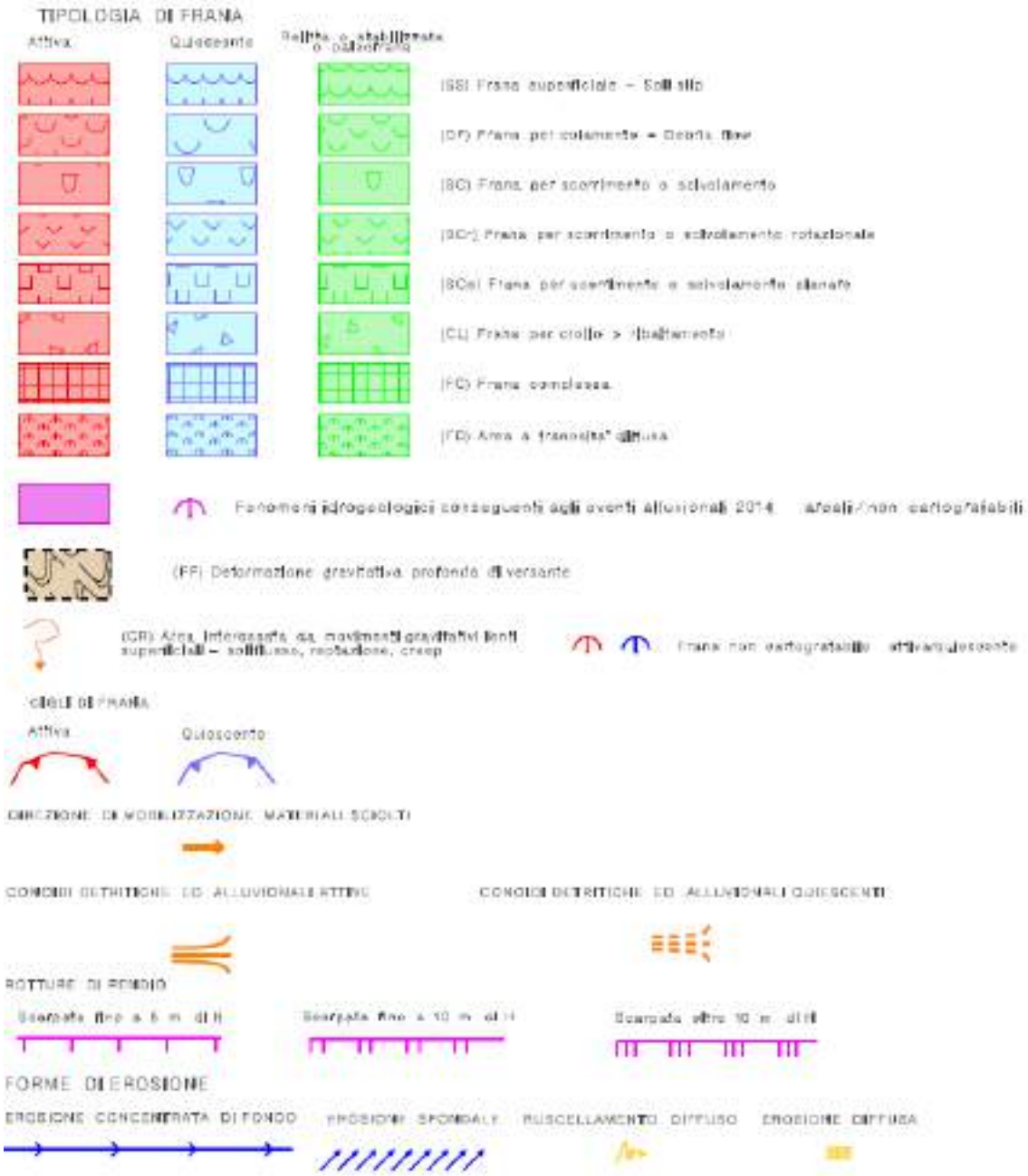
Reticolo idrografico

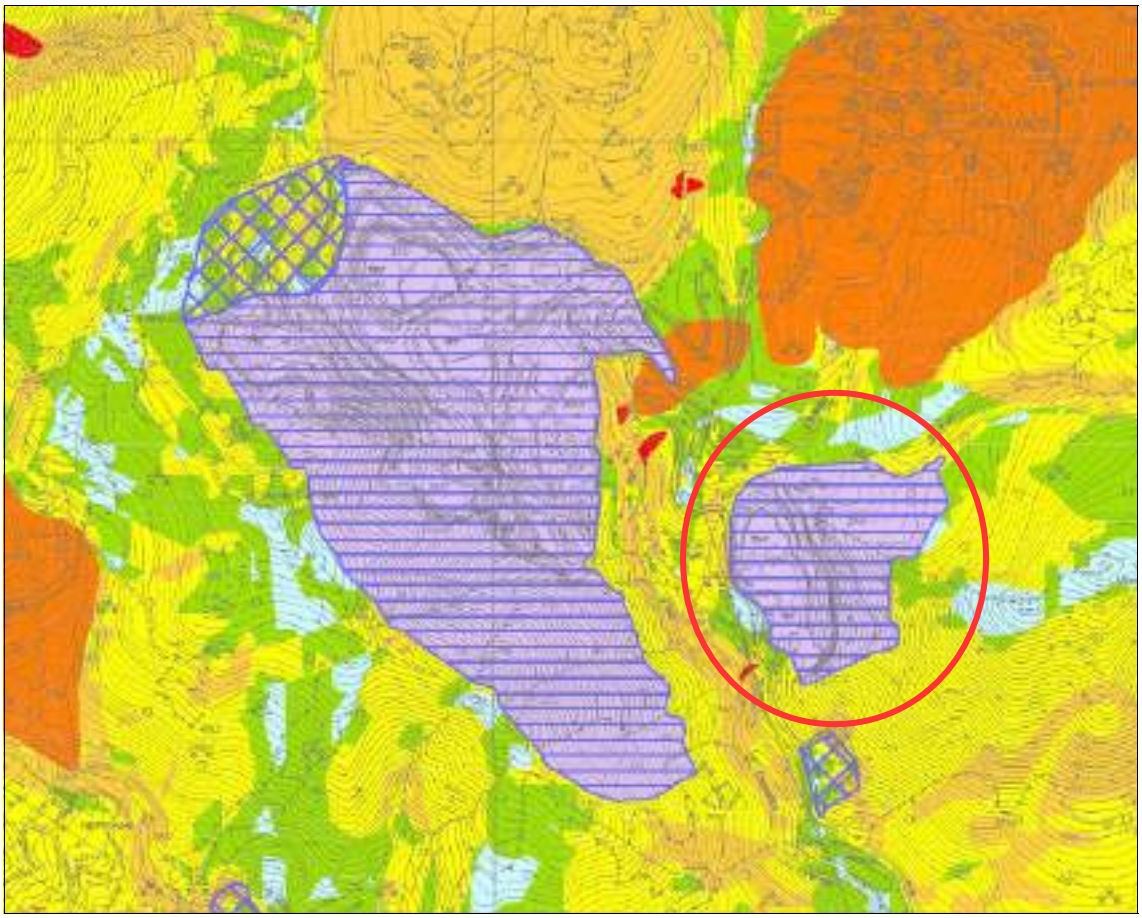


CARTA DELLA FRANOSITÀ REALE DEL PIANO DI BACINO TORRENTE POLCEVERA

LEGENDA

Area di cava


TIPOLOGIA DI FRANA
Attiva
Quiescente
Relitta o stabilizzata
(SS) Frana superficiale – Soil slip
(CF) Frana per colamento – Debris flow
(SC) Frana per scorrimento o scivolamento
(SCr) Frana per scorrimento o scivolamento rotazionale
(SCo) Frana per scorrimento o scivolamento sbarrato
(CL) Frana per crollo – ribaltamento
(FC) Frana complessa
(FD) Area a franosità diffusa
Fenomeni idrogeologici conseguenti agli eventi alluvionali 2014 areali/non cartografabili
(FF) Deformazione gravitativa profonda di versante
(GR) Area interessata da movimenti gravitativi lenti superficiali – soliflusso, reptazione, creep
Frana non cartografabile attiva/quiescente
CIGLI DI FRANA
Attiva
Quiescente
DIREZIONE DI MOBILIZZAZIONE MATERIALI SCIOLTI
CONOIDI DETRITICHE ED ALLUVIONALI ATTIVE
CONOIDI DETRITICHE ED ALLUVIONALI QUIESCENTI
ROTTURE DI PENDIO
Scarpata fino a 5 m di h
Scarpata fino a 10 m di h
Scarpata oltre 10 m di h
FORME DI EROSIONE
EROSIONE CONCENTRATA DI FONDO
EROSIONE SPONDALE
RUSCELLAMENTO DIFFUSO
EROSIONE DIFFUSA



SUSCETTIVITÀ AL DISSESTO DEL PIANO DI BACINO TORRENTE POLCEVERA

LEGENDA

Area di cava

CLASSI SPECIALI

TIPO A – Cave attive, minie discariche in esercizio

TIPO B – Cave inattive e miniere abbandonate

TIPO B_2 – Discariche dismesse e riporti antropici

MOLTO ELEVATA

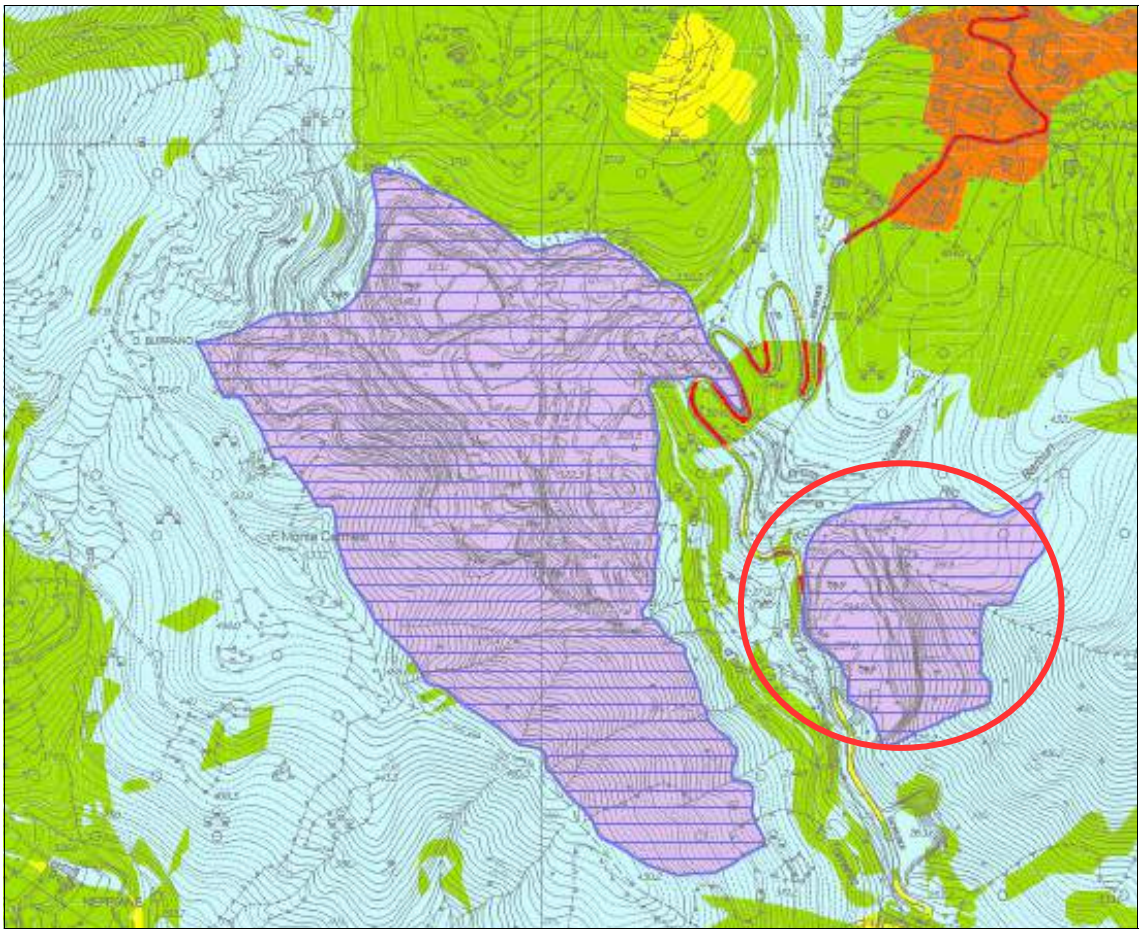
ELEVATA

ELEVATA

MEDIA

BASSA

MOLTO BASSA



RISCHIO GEOLOGICO DEL PIANO DI BACINO TORRENTE POLCEVERA

LEGENDA

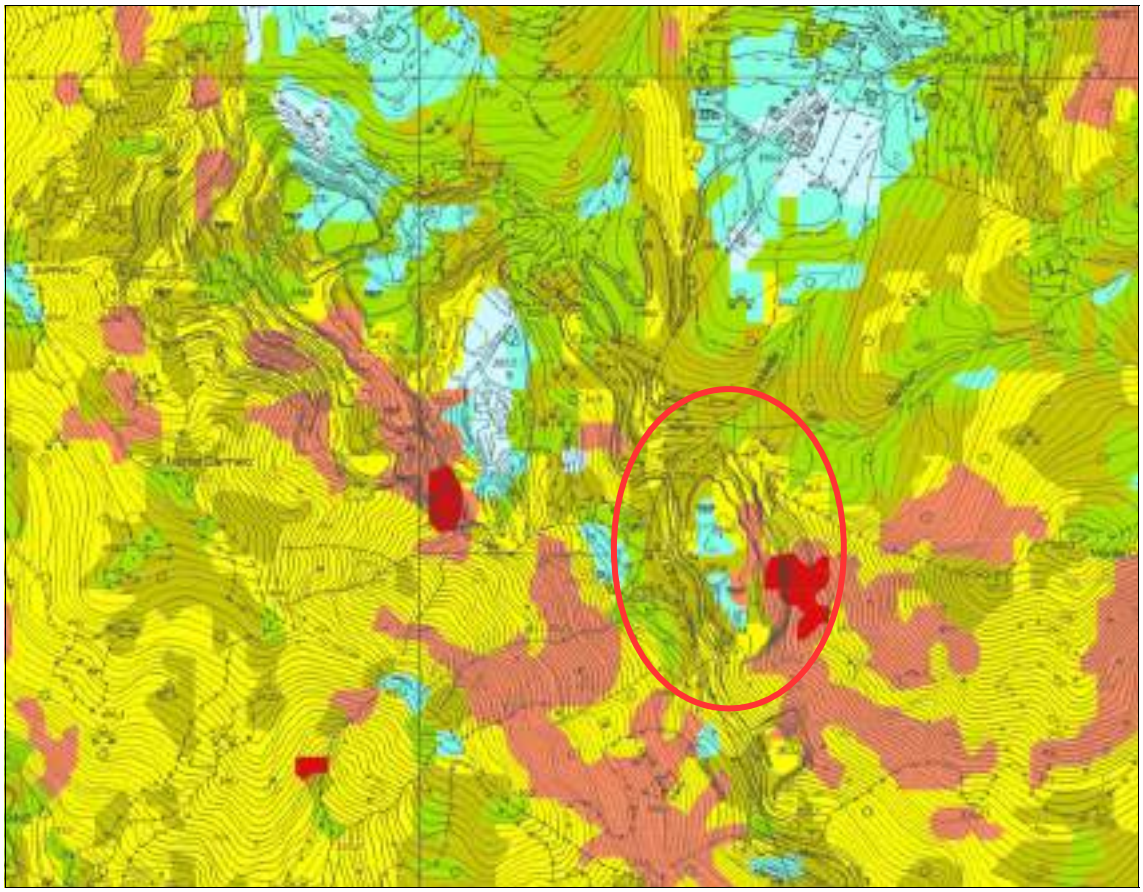
Area di cava

CLASSI DI RISCHIO GEOLOGICO

	RISCHIO MOLTO ELEVATO	R4
	RISCHIO ELEVATO	R3
	RISCHIO MEDIO	R2
	RISCHIO MODERATO	R1
	RISCHIO LIEVE O TRASCURABILE	R0

CLASSI SPECIALI

CAVE ATTIVE, MINIERE ATTIVE E DISCARICHE IN ESERCIZIO



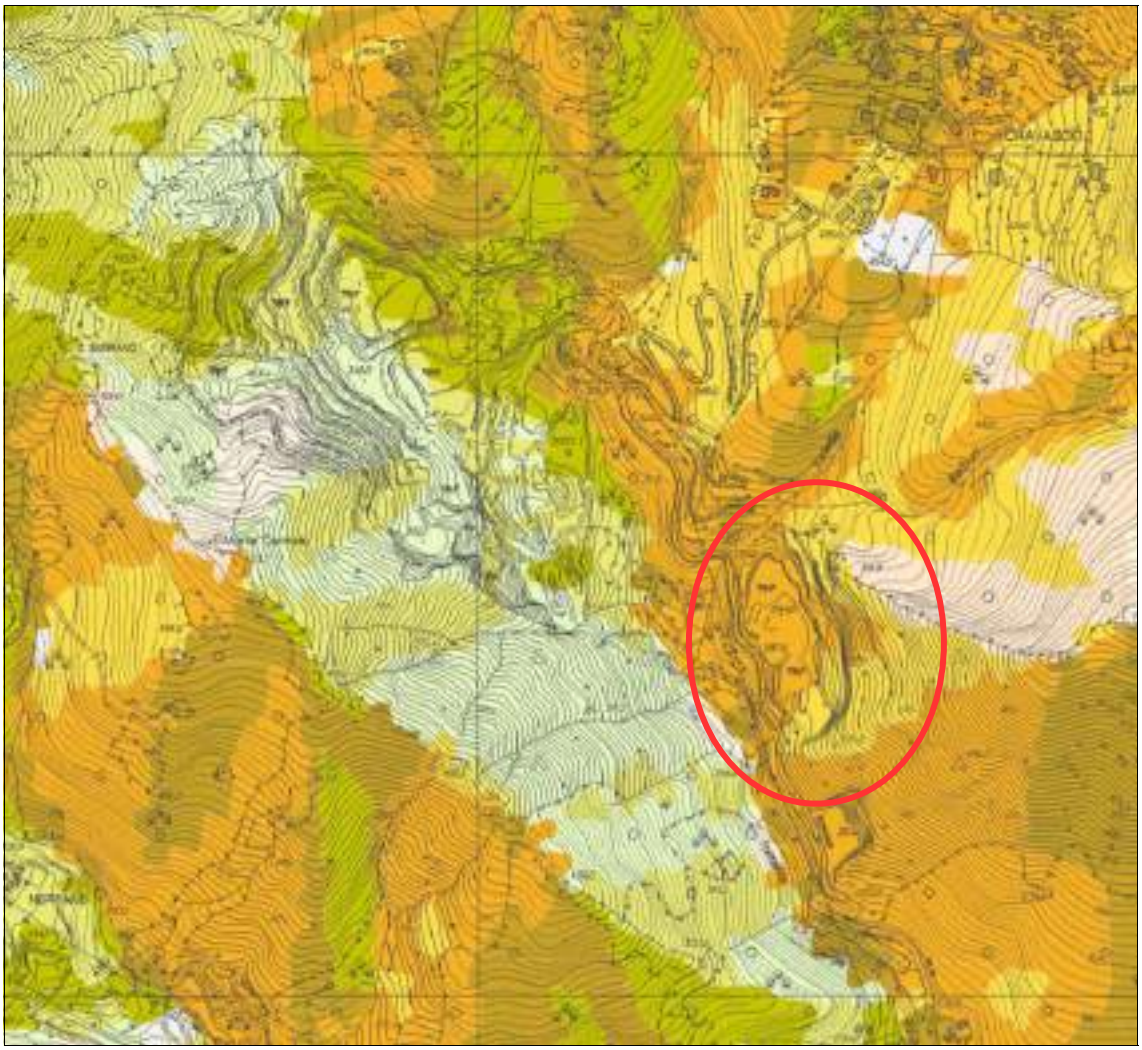
CARTA DELLE ACCLIVITÀ DEL PIANO DI BACINO TORRENTE POLCEVERA – SEZ 213070

LEGENDA

Area di cava

CLASSI DI ACCLIVITA'

classe 1	0% – 10%
classe 2	10% – 20%
classe 3	20% – 35%
classe 4	35% – 50%
classe 5	50% – 75%
classe 6	75% – 100%
classe 7	> 100%



CARTA DELL'ESPOSIZIONE DEI VERSANTI DEL PIANO DI BACINO TORRENTE POLCEVERA

LEGENDA

Area di cava

CLASSI DI ESPOSIZIONE DEI VERSANTI

NORD	337,5° - 22,5°
NORD-EST	22,5° - 67,5°
EST	67,5° - 112,5°
SUD-EST	112,5° - 157,5°
SUD	157,5° - 202,5°
SUD-OVEST	202,5° - 247,5°
OVEST	247,5° - 292,5°
NORD-OVEST	292,5 - 337,5°
ZENITALE	

Studio MM S.r.l.
Consulenza materie prime - Prove materiali
di Michele Mazzoni
Corso Perlasca 12/1 - 16015 Casella (GE) Torriglia (GE)
Tel. [illegible] - Fax [illegible] - [illegible]

rev. 1 del 19/05/19

Laboratorio autorizzato dal Ministero delle Infrastrutture e Trasporti secondo la Direttiva n° 760/2001 – Concessione n° 352

Esame petrografico

(Norma UNI EN 932-3)

Materiale	Blocchi Cava Monte Carlo Camporgrone (GE)
Rapporto di prova N°	GD 2019-347/P1
Esecuzione prova	17/05/2019

Il campione esaminato è costituito da blocchi di rocce sedimentarie triassiche affioranti nella cava Monte Carlo Campo Morone (GE).
Dal punto di vista litogenetico il materiale è costituito da rocce calcaree, nel dettaglio si possono certificare blocchi di colorito di colore grigio scuro, scarsamente reattive al HCl e blocchi di brecce dolomitiche di colore grigio chiaro fortemente fetidizzate, moderatamente reattive al HCl e caratterizzate da cristallizzazioni secondarie localizzate entro le fratture.

Basandosi quindi su quanto osservato nel materiale, è stata assegnata la classe di reattività EP_{NR} ("non reattivo") a causa dell'assenza di frammenti contenenti silice potenzialmente reattiva agli alcali.



Immagine dei blocchi esaminati

Il Tecnico

Dott.ssa Angela Dettori

La Direzione Tecnica

Studio tecnologico M & M
Consulenza materie prime - Prove materiali
Dott. Geol. Mazzoni Michele

Studio MM S.r.l.

Laboratorio autorizzato dal Ministero Infrastrutture e Trasporti con decreto n° 7018/2010 Concessione n° 5953

DETERMINAZIONE DELLA RESISTENZA AL GELO E AL DISGELO (UNI EN 13383-2)

Materiale	Blocchi 200-1000 Cava Monte Cotto Campomarano (CB)
Rapporto di prova N°	GO_2019-347/GD1
Esecuzione prova	09/04/19-15/05/19

Perdita percentuale di massa a seguito dei cicli gelo/disgelo			
Massa secca iniziale della porzione di prova (M1)	Granulometria nominale dell'armaoustione	Massa secca finale della porzione di prova (M2)	Perdita percentuale di massa F = [(M1-M2)/M1]x100
kg		(g)	(%)
11776,8	200/1000 kg	11742,2	0,28

ESAME VISIVO DELLA PORZIONE DI PROVA: il campione sottoposto a 25 cicli di gelo/disgelo non presenta/presenta fessurazioni apparenti e disintegrazioni risultie.

Il Tecnico

La Direzione Tecnica

Strumentazione utilizzata per la prova:	Cella climatica (Controllo CLT 01 Sonda interna Tamagno C3000 0000 [x01 1]

Note

Studio MM S.r.l.

Consulenza materie prime - Prove materiali

Dr. Michele Mazzoni

rev 1 del 19/05/14

Laboratorio autorizzato dal Ministero Infrastrutture e Trasporti secondo la Circolare n° 7618/2010 – Concessione n° 0050

DETERMINAZIONE DELLA RESISTENZA ALL'USURA - PROVA MICRO-DEVAL (UNI EN 1097-1)

Materiale	Blocchi 300-1000 Cava Monte Carlo Camporotondo (GR)
Rapporto di prova N.	GD_2019-347/MD1
Esecuzione prova	08/05/2019

TIPO DI PROVA EFFETTUATA	a umido

Provino	Classe granulometrica	Massa della frazione trattenuta sullo staccio da 1,6 mm = M	Coefficiente micro-Deval	Coefficiente medio
	(mm)	(g)	Mde = (500-M)/5	
1	8-11,2	419,5	16,1	16,0
2	8-11,2	421	15,8	

Il Tecnico

Dott.ssa Laura Nuvoli

La Direzione Tecnica

Studio tecnologico M & M

Strumentazione utilizzata per la prova:	Microdeval Tecnotest (Codice micro:MD01-C)

Note:

Determinazione della resistenza a compressione (UNI EN 1926)

PROVINI	Area A (mm^2)	Carico di rottura F (Newton)	Resistenza a compressione R (Mpa)
Provino 1	2511,3	108213	43,09
Provino 2	2501,0	91921	36,75
Provino 3	2512,0	96708	38,50
Provino 4	2516,0	99235	39,41
Provino 5	2522,0	111632	44,26
Provino 6	2547,0	101878	40,00

Valore medio delle R	40,34
Deviazione standard S	2,84



Particolari dei provini durante la prova di compressione

Il Tecnico

La Direzione Tecnica
Studio tecnologico M & M

Note: *la prova è stata eseguita secondo la Norme UNI EN 13383-1*
Si evidenziano in alcuni campioni prelevati la presenza di piani di discontinuità che contribuiscono a diminuire la resistenza a compressione del materiale testato

Studio MM S.r.l.
di Michele Mazzoni

Laboratorio autorizzato dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti secondo la Direttiva n° 76/532/CEE - Concessione n° 5243

Determinazione della resistenza a compressione (UNI EN 1926)

Committente	Grand. Calcestruzzi sas		
Codice campione	Blocchi sperone: Cava Monte Carlo Campomorone (GE)		
Data	Campionamento	Ritiro campione	Esecuzione prova
	29/03/2019	29/03/2019	16/05/2019
Rapporto di prova n.	GD_2019-347		

MATERIALE	
Nome petrografico della pietra	Roccia calcarea dolomitica
Nome commerciale della pietra	Blocchi spondali
Provenienza	Cava Monte Carlo Campomorone (GE)
Direzione dei piani di anisotropia se pertinenti	N.P.
Finitura superficiale dei provini	Piano sega

PROVINI	
Tipo di provini	cubetti 50x50x50 mm
Numero dei provini	6
Orientazione dell'asse di carico rispetto ai piani di anisotropia	La prova è stata eseguita alla velocità di carico di 1 Mpa/s.
Preparazione dei provini	Le facce attraverso le quali viene applicato il carico risultano essere piane e conformi alle tolleranze previste dalla vigente normativa
Condizionamento dei provini	provini, sono stati essiccati fino a massa costante alla temperatura di (70±5)°C Dopo l'essiccamento i provini sono stati mantenuti a (20±5)°C fino al raggiungimento dell' equilibrio termico, immediatamente dopo è stata eseguita la prova
Dimensione dei provini	50×50×50 mm

Studio MM S.r.l.
Consulenza tecnica prove materiali
di Michele Mariani

rev 1 del 19/05/14

Laboratorio autorizzato dal Ministero Infrastrutture e Trasporti secondo la Circolare n° 7618/2010 – Concessione n° 5950

MASSA VOLUMICA E ASSORBIMENTO D'ACQUA DEI PEZZI (UNI EN 13383-2)

Materiale	Blocchi 300-1000 Cava Monte Carlo Campoincrone (GF)
Rapporto di prova N°	GO_2019-347/MV1
Esecuzione prova	15/04/2019

Massa volumica dell'acqua	0,9991

Granulometria nominale dell' armoustone	Metodo utilizzato	Massa in aria del campione saturo in superficie asciutta	Massa apparente del cestello contenenti il campione di aggregato saturo	Massa apparente del cestello immerso saturo d'acqua, privi del campione	Massa in aria del campione essicato in stufa	Massa volumica apparente dei grani	Massa volumica dei grani saturi a superficie asciutta	Assorbimento in acqua dopo immersione per 24 ore
		M1	M2	M3	M4	ρa	ρssd	WA 24h
		g				(Mg/m³)		(%)
300-1000 kg	cestello ad immersione	5905	4490	579,6	5888	2,83	2,82	0,29

Il Tecnico
Dott.ssa Laura Magri

La Direzione Tecnica
Studio tecnologico M & M
Consulenza tecnica prove materiali
Dott. Geol. Michele Mariani

Strumentazione utilizzata per la prova	Apparecchiatura per massa volumica Cestello- Tecnotest (Codice interno MC01)

Nota:

DETERMINAZIONE DELLA PERCENTUALE DI PEZZI DI ARMOURSTONE CON RAPPORTO LUNGHEZZA-SPESSORE MAGGIORE DI 3 (UNI EN 13383-2)

Committente	Grandi Calcestruzzi sas		
Materiale	Armourstone 1000/3000 kg		
Codice campione	-		
Data di esecuzione prova	29/03/2019	Eseguita in località	Cava Monte Carlo Campomorone (GE)
Rapporto di prova N.	GD_2019-347/LE2		

Numero di pezzi di armourstone testati	91
Numero di pezzi di armourstone con rapporto L/E>3	3
Percentuale di pezzi di armourstone con rapporto L/E>3	3

Il Tecnico	La Direzione Tecnica
Dott. Geol. Alessandro Vignoli	Studio tecnologico M & M Consulenza nel settore prove materiali Dott. Geol. Michele Maccioni

DETERMINAZIONE DELLA PERCENTUALE DI PEZZI DI ARMOURSTONE CON RAPPORTO LUNGHEZZA-SPESSORE MAGGIORE DI 3 (UNI EN 13383-2)

Committente	Grandi Calcestruzzi sas		
Materiale	Armourstone 3000-6000 kg		
Codice campione	-		
Data di esecuzione prova	29/03/2019	Eseguita in località	Cava Monte Caro Campomorone (GE)
Rapporto di prova N.	GD_2019-347/LS3		

Numero di pezzi di armourstone testati	67
Numero di pezzi di armourstone con rapporto L/E>3	3
Percentuale di pezzi di armourstone con rapporto L/E>3	4

Il Tecnico	La Direzione Tecnica
Dott. Geol. Alessandro Vignoli	Studio tecnologico M & M Consulenza, misure prove materiali Dott. Geol. Michele Mazzoni

Studio MM S.r.l.
Consulenza materie prime - Prove materiali
di Michele Mazzoni

DETERMINAZIONE DI DISTRIBUZIONE DI MASSA DI AGGREGATI PER OPERE DI PROTEZIONE (ARMOURSTONE) - UNI EN 13383-2 -

Massa totale della porzione di prova (Kg)	$\Sigma M = M_t$	302986

Massa (kg)		Massa totale dei pezzi di armourstone per ogni classe (Kg)	Valore percentuale %
< 2000 Kg	(M_1)	0	0
< 3000 Kg	$(M_2 - 0)$	8112	3
< 5000 Kg	$(\Sigma M_n + M_1 - 0 - c)$	284154	94
< 5000 Kg	$(\Sigma M_n - M_1 - c)$	302986	100
Totale (kg)	ΣM_n	302986	

Numero di pezzi di armourstone testati	n	67

Massa media dei pezzi di armourstone	M (> M/n)	4522 Kg

Il Tecnico	La Direzione Tecnica Studio Tecnologico M & M

DETERMINAZIONE DELLA PERCENTUALE DI PEZZI DI ARMOURSTONE CON RAPPORTO LUNGHEZZA-SPESSORE MAGGIORE DI 3 (UNI EN 13383-2)

Committente	Grandi Calcestruzzi SpA		
Materiale	Armourstone 300/1000 kg		
Codice campione	-		
Data di esecuzione prova	29/03/2019	Eseguita in località	Cava Monte Carlo Campomorone (GE)
Rapporto di prova N.	GD_2019-347/LE1		

Numero di pezzi di armourstone testati	143
Numero di pezzi di armourstone con rapporto L/E>3	6
Percentuale di pezzi di armourstone con rapporto L/E>3	4

Il Tecnico	La Direzione Tecnica
Dott. Geol. Alessandro Vigolini	Studio tecnologico M & M Consulenza materie prime e prove materiali Dott. Geol. Michele Mazzuoli

Studio MM S.r.l.
Consulenza materie prime - Prove materiali
di Michele Mazzoni

Laboratorio autorizzato dal Ministero Infrastrutture e Trasporti autorizzazione Circolare n° 7619/2015 – Concessione n° 6663

DETERMINAZIONE DI DISTRIBUZIONE DI MASSA DI AGGREGATI PER OPERE DI PROTEZIONE (ARMOURSTONE) - UNI EN 13383-2 -

Codice campione	Armourstone 3000 6000	Data della prova
Materiale	Blocchi sperdali 3000-5000 Kg	25/03/2019
Committente	Grandi Calcestruzzi sas	Eseguita in località
Codice Rapporto	GD_2019-347/DM3	Cava Monte Cero Camporosso (GE)

PIETRA N°	MASSA MI (Kg)	MASSA > 2500 e 3000 (kg)	MASSA ≥ 5000 e 6000 (kg)	MASSA ≥ 6000 (kg)
1	5236	-	-	-
2	5992	-	-	-
3	5056	-	-	-
4	3259	-	-	-
5	2151	2151	-	-
6	5019	-	-	-
7	4863	-	-	-
8	5326	-	-	-
9	5014	-	-	-
10	6025	-	6025	-
11	5744	-	-	-
12	4632	-	-	-
13	4125	-	-	-
14	4015	-	-	-
15	4902	-	-	-
16	3256	-	-	-
17	3025	-	-	-
18	3025	-	-	-
19	4852	-	-	-
20	5030	-	-	-
21	5140	-	-	-
22	5966	-	-	-
23	5871	-	-	-
24	5212	-	-	-
25	4863	-	-	-
26	4012	-	-	-
27	5326	-	-	-
28	5210	-	-	-
29	5022	-	-	-
30	6025	-	6025	-
31	2963	2963	-	-
32	3556	-	-	-
33	3625	-	-	-
34	3809	-	-	-
35	3962	-	-	-
36	4025	-	-	-
37	3695	-	-	-
38	3291	-	-	-
39	3852	-	-	-
40	4214	-	-	-

Studio MM S.r.l.
Consulenza materie prime - Prove meccaniche
di Michele Mazzoni

DETERMINAZIONE DI DISTRIBUZIONE DI MASSA DI AGGREGATI PER OPERE DI PROTEZIONE (ARMOURSTONE) - UNI EN 13383-2 -

PIETRA N°	MASSA M$_i$ (Kg)	MASSA ≥ 2000 < 3000 (kg)	MASSA ≥ 3000 < 4000 (kg)	MASSA ≥ 4000 (kg)
41	3256	-	-	-
42	4160	-	-	-
43	4210	-	-	-
44	4953	-	-	
45	5017	-	-	-
46	5891	-		-
47	2996	2996	-	-
48	4564		-	
49	5303	-	-	-
50	5478	-	-	-
51	5014	-	-	-
52	4983		-	
53	4125	-	-	-
54	5478	-	5478	-
55	3021	-	-	-
56	3886	-	-	-
57	4579	-	-	
58	4125	-	-	-
59	4325	-	-	-
60	3825	-	-	-
61	4125	-	-	
62	4532		-	-
63	4778		-	-
64	4102	-		-
65	4632	-		-
66	5014	-	-	-
67	3022	-	-	
TOTALI	ΣM_i = 202966	a = 9110	b = 18929	c = 0

Studio MM S.r.l.
Consulenza tecnica civile - Prove materiali
[illegible]
Laboratorio autorizzato dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti con Decreto n° 26/5/2016 – Concessione n° 0954

DETERMINAZIONE DI DISTRIBUZIONE DI MASSA DI AGGREGATI PER OPERE DI PROTEZIONE (ARMOURSTONE) - UNI EN 13383-2 -

Massa totale delle porzione di prova (Kg)	$\Sigma M_i + M_r$	171884

Massa (kg)		*Massa totale dei pezzi di armourstone per ogni classe (Kg)*	*Valore percentuale %*
< 650 kg	(M_r)	0	0
<1000 Kg	(M_1 + M_r)	4498	3
<3000 Kg	($\Sigma M_i + M_r$ - b - c)	153197	89
<4500 Kg	($\Sigma M_i + M_r$ - c)	171684	100
Totale (kg)	ΣM	171884	

Numero di pezzi di armourstone testati	n	91

Massa media dei pezzi di armourstone	M (ΣM_i/n)	1889

Il Tecnico	La Direzione Tecnica
Dott. Ing. Alessandro Vignali	Studio tecnologico M & M Consulenza tecnica per l'edilizia e l'ambiente Dott. Ing. Alessandro Vignali

DETERMINAZIONE DI DISTRIBUZIONE DI MASSA DI AGGREGATI PER OPERE DI PROTEZIONE (ARMOURSTONE) - UNI EN 13383-2 -

PIETRA N°	MASSA Mi [Kg]	MASSA ≥ 600 < 1000 [kg]	MASSA ≥ 3000 < 4500 [kg]	MASSA ≥ 4500 [kg]
40	1874	-	-	-
41	1025	-	-	-
42	3359	-	3359	-
43	2523	-	-	-
44	1054	-	-	-
45	2569	-	-	-
46	1423	-	-	-
47	3028	-	3028	-
48	744	744	-	-
49	1563	-	-	-
50	1256	-	-	-
51	1045	-	-	-
52	1647	-	-	-
53	1421	-	-	-
54	1632	-	-	-
55	1089	-	-	-
56	1256	-	-	-
57	1447	-	-	-
58	3025	-	3025	-
59	1268	-	-	-
60	1365	-	-	-
61	1052	-	-	-
62	1541	-	-	-
63	1742	-	-	-
64	1205	-	-	-
65	1627	-	-	-
66	2094	-	-	-
67	2358	-	-	-
68	2541	-	-	-
69	2147	-	-	-
70	2017	-	-	-
71	2963	-	-	-
72	1047	-	-	-
73	1241	-	-	-
74	1036	-	-	-
75	1006	-	-	-
76	2996	-	-	-
77	505	505	-	-
78	1983	-	-	-
79	2410	-	-	-
80	2613	-	-	-
81	2764	-	-	-
82	2105	-	-	-
83	2963	-	-	-
84	1354	-	-	-
85	959	966	-	-
86	1574	-	-	-
87	2710	-	-	-
88	3098	-	3098	-
89	1098	-	-	-
90	1653	-	-	-
91	2714	-	-	-
TOTALI	Σ Mi = 171884	a = 4466	b = 18603	c = 0

Studio MM S.r.l.
Consulenza mineraria, prove e studi di cava
Dr. Michele Marrone
Tel. [illegible]

rev 2 del 02/01/20

Laboratorio autorizzato dal Ministero delle Infrastrutture e Trasporti secondo la Circolare n° 7618/2010 – Concessione n° 9983

DETERMINAZIONE DI DISTRIBUZIONE DI MASSA DI AGGREGATI PER OPERE DI PROTEZIONE (ARMOURSTONE) - UNI EN 13383-2 -

Codice campione	-	Data della prova
Materiale	Armourstone 300/1000 Kg	23/09/2019
Committente	Gruppo Calcestruzzi SpA	Eseguita in loco il
Codice Rapporto	GD_2019-047/DM1	Cava Monte Carlo Campo Marone (GE)

PIETRA N°	MASSA MI (Kg)	MASSA > 200 < 500 (kg)	MASSA ≥ 1000 ≤ 1500 (kg)	MASSA ≥ 1500 (kg)
1	325	-	-	-
2	742	-	-	
3	639	-		
4	285	285	-	-
5	525	-		
6	859	-		-
7	477	-	-	-
8	1095		1095	-
9	865	-	-	-
10	699	-	-	-
11	421		-	-
12	750	-	-	-
13	568	-	-	-
14	411	-	-	
15	305	-	-	-
16	479	-		-
17	508	-	-	-
18	535	-	-	-
19	308	-		-
20	822		-	-
21	962	-	-	-
22	907	-	-	-
23	605	-	-	-
24	427	-	-	-
25	523	-	-	-
26	842	-	-	
27	907	-	-	-
28	729	-	-	-
29	1088	-	1088	-
30	536		-	-
31	476	-	-	-
32	892	-	-	-
33	478		-	-
34	525	-		-
35	506	-	-	-
36	505	-	-	-
37	595	-		-
38	241	241	-	-
39	962	-	-	-
40	489	-	-	-

Studio MM S.r.l.
Consulenza materie prime • Prove materiali
di Michele Mazzoni
Sede Pedemontana 40/a - 43029 Mariano d. Taro/Medesano (PR)
t. 0521/8442?2 - Fax. 0521/344744 - www.studiomm.it - E-mail: info@studiomm.it

cheda Intervento

Ente: GRANDI CAVE COSTRUZZI SAS

Lavoro A.A. 2019 0001?? 20/03/2019

Servizio : Analisi Iniziali blocchi spondali Cava Monte Carlo marzo 2019

Data	Descrizione Attività / Servizio	
	DETERMINAZIONE DELLE DIMENSIONI PER DIFESE SPONDALI (EN 13383-Pt6)	
7/05/2019	0.280	Blocchi 200-1000
7/05/2019	0.280	Blocchi 1000-3000
7/05/2019	0.280	Blocchi 2000-5000
	DETERMINAZIONE DELLA FORMA, PER DIFESE SPONDALI (EN 13383-Pt6)	
7/05/2019	0.280	Blocchi 200-1000
7/05/2019	0.280	Blocchi 1000-3000
7/05/2019	0.280	Blocchi 3000-5000
	MASSA VOLUMICA E ASSORB. D'ACQUA BLOCCHI PER DIFESE SPONDALI (EN 13383-Pt6)	
7/05/2019	0.300	Blocchi 500-1000
	RESIST. ROTTURA PROVINI CUBICI RETTIF. +PREPARAZIONE PROVINI (EN 1926)	
7/05/2019	0.210	Blocchi 500-1000
	DET.COEFF.USURA+RIDUZIONE CAMPIONI ALLA GRANUL.RICHIESTA (EN1097-1)	
Vedi 2019	0.320	Blocchi 500-1000
	DET.PERDITA % IN MASSA DOPO CICLI GEL O/DISGELO - 25 CICLI - (EN 13383-2)	
7/05/2019	0.330	Blocchi 500-1000
	DESCRIZIONE PETROGRAFICA SEMPLIFICATA ILLUSTRATA (EN 932-3)	
7/05/2019	0.910	Blocchi 500-1000
	VACAZIONE TECNICO SENIOR, COMP. ORARIO (ANCHE PER IL TEMPO DI TRASFERIMENTO)	
7/05/2019	10.910	8 ore
	RIMBORSO DI TRASPORTO CON AUTOVETTURA (PREZZO AL KM)	
7/05/2019	10.920	300

DETERMINAZIONE DI DISTRIBUZIONE DI MASSA DI AGGREGATI PER OPERE DI PROTEZIONE (ARMOURSTONE) - UNI EN 13383-2 -

PIETRA N°	MASSA Mi (Kg)	MASSA ≥ 200 < 300 (kg)	MASSA > 1000 < 1500 (kg)	MASSA ≥ 1500 (kg)
97	578	-	-	-
98	502	-	-	-
99	532	-	-	-
100	503	-	-	-
101	402	-	-	-
102	302	-	-	-
103	946	-	-	-
104	520	-	-	-
105	536	-	-	-
106	996	-	-	-
107	504	-	-	-
108	268	268	-	-
109	600	-	-	-
110	427	-	-	-
111	589	-	-	-
112	522	-	-	-
113	555	-	-	-
114	322	-	-	-
115	600	-	-	-
116	503	-	-	-
117	412	-	-	-
118	486	-	-	-
119	472	-	-	-
120	522	-	-	-
121	589	-	-	-
122	712	-	-	-
123	632	-	-	-
124	715	-	-	-
125	804	-	-	-
126	663	-	-	-
127	921	-	-	-
128	547	-	-	-
129	602	-	-	-
130	305	-	-	-
131	307	-	-	-
132	1012	-	1012	-
133	263	263	-	-
134	412	-	-	-
135	508	-	-	-
136	523	-	-	-
137	602	-	-	-
138	562	-	-	-
139	521	-	-	-
140	603	-	-	-
141	701	-	-	-
142	552	-	-	-
143	501	-	-	-
TOTALI	$\sum M_i$ = 83115	s = 1559	u = 5253	v = 0

DETERMINAZIONE DI DISTRIBUZIONE DI MASSA DI AGGREGATI PER OPERE DI PROTEZIONE (ARMOURSTONE) - UNI EN 13383-2 -

PIETRA N°	MASSA MI (Kg)	MASSA ≥ 200 < 300 (kg)	MASSA ≥ 1000 < 1500 (kg)	MASSA ≥ 1500 (kg)
41	374	-	-	-
42	268	296	-	-
43	693	-	-	-
44	504	-	-	-
45	611	-	-	-
46	632	-	-	-
47	628	-	-	-
48	1304	-	1009	-
49	902	-	-	-
50	825	-	-	-
51	600	-	-	-
52	478	-	-	-
53	532	-	-	-
54	551	-	-	-
55	603	-	-	-
56	564	-	-	-
57	565	-	-	-
58	477	-	-	-
59	415	-	-	-
60	256	296	-	-
61	725	-	-	-
62	503	-	-	-
63	455	-	-	-
64	520	-	-	-
65	532	-	-	-
66	522	-	-	-
67	574	-	-	-
68	1154	-	1154	-
69	532	-	-	-
70	533	-	-	-
71	748	-	-	-
72	660	-	-	-
73	552	-	-	-
74	527	-	-	-
75	603	-	-	-
76	515	-	-	-
77	535	-	-	-
78	622	-	-	-
79	847	-	-	-
80	528	-	-	-
81	633	-	-	-
82	595	-	-	-
83	588	-	-	-
84	406	-	-	-
85	384	-	-	-
86	602	-	-	-
87	947	-	-	-
88	553	-	-	-
89	941	-	-	-
90	623	-	-	-
91	622	-	-	-
92	298	298	-	-
93	603	-	-	-
94	521	-	-	-
95	532	-	-	-
96	794	-	-	-

Studio MM S.r.l.
di Michele Marasco
Laboratorio autorizzato dal Ministero Infrastrutture e Trasporti secondo le Circolari n° 7619/2070 - Concessione n° 9983

DETERMINAZIONE DI DISTRIBUZIONE DI MASSA DI AGGREGATI PER OPERE DI PROTEZIONE (ARMOURSTONE) - UNI EN 13383-2 -

Massa totale della porzione di prova (Kg)	$\Sigma M = M_t$	83115

Massa (kg)		*Massa totale dei pezzi di armourstone per ogni classe (Kg)*	*Valore percentuale %*
< 200 Kg	(M_1)	0	0
< 300 Kg	($M_1 + a$)	1969	2
< 1000 Kg	($\Sigma M_1 - M_1 - b - c$)	77762	94
< 1500 Kg	($\Sigma M + M_1 - c$)	83115	100
Totale (kg)	ΣM	83115	

Numero di pezzi di armourstone testati	n	143

Massa media dei pezzi di armourstone	$M (\Sigma M/n)$	581 Kg

Il Tecnico	La Direzione Tecnica
Dott. Geol. Alessandro Vignali	Studio tecnologico M & M Direttore tecnico per prove di laboratorio Dott. Geol. Michele Marasco

Studio MM S.r.l.

di Ing. Carlo Mazzanti

Laboratorio autorizzato dal Ministero delle Infrastrutture e Trasporti con Decreto n° 7915/2015 - Concessione n° 5967

DETERMINAZIONE DI DISTRIBUZIONE DI MASSA DI AGGREGATI PER OPERE DI PROTEZIONE (ARMOURSTONE) - UNI EN 13383-2

Codice campione	-	Data della prova
Materiale	Armourstone 1000-3000 Kg	29/03/2019
Committente	Grand Calcestruzzi s.p.a.	Eseguita in località
Codice Rapporto	GD_2019-347-DM2	Cava Monte Carlo Campomorone (GE)

PIETRA N°	MASSA (kg)	MASSA > 650 < 1000 (kg)	MASSA ≥ 3000 < 4500 (kg)	MASSA > 4500 (kg)
1	2005	-		-
2	2183		-	
3	2874	-	-	
4	3025	-	3025	-
5	1853	-		-
6	1993	-	-	-
7	2014	-	-	
8	2247		-	-
9	2005	-		-
10	2014	-		-
11	1984	-	-	
12	905	905	-	-
13	2963	-	-	-
14	2147	-		-
15	2056	-	-	-
16	2009	-	-	-
17	1993	-	-	
18	2014	-	-	-
19	2365	-	-	-
20	2011	-		-
21	1993	-	-	-
22	1055	-	-	-
23	968	968	-	-
24	2059	-	-	-
25	2014	-	-	-
26	2069	-	-	
27	3158		3158	-
28	1023		-	-
29	1741	-	-	-
30	2056	-		-
31	1268	-	-	-
32	1099	-	-	-
33	2681		-	-
34	2012	-	-	-
35	1892	-	-	-
36	1920		-	-
37	1599	-	-	-
38	2014	-		-
39	2458	-		-

Sezione C - Roccia

Analisi di stabilità dei pendii con: BISHOP (1955)

Lat./Long.	44,536505/8,866559
Calcolo eseguito secondo	NTC 2018
Numero di strati	2,0
Numero dei conci	10,0
Grado di sicurezza ritenuto accettabile	1,0
Coefficiente parziale resistenza	1,0
Parametri geotecnici da usare. Angolo di attrito:	Picco
Analisi	Condizione drenata
Superficie di forma circolare	

Maglia dei Centri

Ascissa vertice sinistro inferiore xi	61,02 m
Ordinata vertice sinistro inferiore yi	58,86 m
Ascissa vertice destro superiore xs	119,28 m
Ordinata vertice destro superiore ys	93,0 m
Passo di ricerca	10,0
Numero di celle lungo x	10,0
Numero di celle lungo y	10,0

Coefficienti sismici [N.T.C.]

Dati generali

Tipo opera:	2 - Opere ordinarie
Classe d'uso:	Classe II
Vita nominale:	50,0 [anni]
Vita di riferimento:	50,0 [anni]

Parametri sismici su sito di riferimento

Categoria sottosuolo:	A
Categoria topografica:	T2

S.L. Stato limite	TR Tempo ritorno [anni]	ag [m/s²]	F0 [-]	TC* [sec]
S.L.O.	30,0	0,24	2,52	0,18
S.L.D.	50,0	0,3	2,51	0,21
S.L.V.	475,0	0,78	2,49	0,28
S.L.C.	975,0	1,05	2,46	0,29

Coefficienti sismici orizzontali e verticali

Opera: Stabilità dei pendii e Fondazioni

S.L. Stato limite	amax [m/s²]	beta [-]	kh [-]	kv [sec]
S.L.O.	0,288	0,2	0,0059	0,0029
S.L.D.	0,36	0,2	0,0073	0,0037
S.L.V.	0,936	0,2	0,0191	0,0095
S.L.C.	1,26	0,27	0,0347	0,0173

Coefficiente azione sismica orizzontale 0,0191

Coefficiente azione sismica verticale 0,0095

Vertici profilo

Nr	X (m)	y (m)
1	0,0	86,28
2	6,05	82,65
3	10,68	82,05
4	17,94	74,19
5	21,16	74,39
6	23,78	69,55
7	28,02	69,15
8	32,85	58,06
9	38,7	58,06
10	49,58	43,95
11	70,55	43,75
12	81,63	28,63
13	139,28	28,43
14	151,98	33,88
15	164,88	28,23
16	174,35	28,43
17	188,26	22,79
18	191,08	22,79
19	203,78	20,17
20	214,46	14,32
21	217,08	14,32

Falda

Nr.	X (m)	y (m)
1	-3,39	86,14
2	10,69	78,4
3	32,86	46,01
4	93,23	20,5
5	219,94	12,22

Vertici strato 1

N	X (m)	y (m)
1	0,0	82,72
2	3,3	82,62
3	11,2	81,49
4	17,94	74,19
5	21,16	74,39
6	23,78	69,55
7	28,02	69,15
8	32,85	58,06
9	38,7	58,06
10	49,58	43,95
11	70,55	43,75
12	81,63	28,63
13	139,28	28,43
14	151,98	33,88
15	164,88	28,23
16	174,35	28,43
17	188,26	22,79
18	191,08	22,79
19	203,78	20,17

20	214,46	14,32
21	217,08	14,32

Coefficienti parziali azioni

Sfavorevoli: Permanenti, variabili	1,0	1,0
Favorevoli: Permanenti, variabili	1,0	1,0

Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

Tangente angolo di resistenza al taglio	1,25
Coesione efficace	1,25
Coesione non drenata	1,4
Riduzione parametri geotecnici terreno	No

Stratigrafia

Strato	Coesione (kg/cm²)	Coesione non drenata (kg/cm²)	Angolo resistenza al taglio (°)	Peso unità di volume (t/m³)	Peso saturo (t/m³)	Litologia
1	0.09		29.26	1,80	2	
2	1.27		31.78	2.7	2.7	

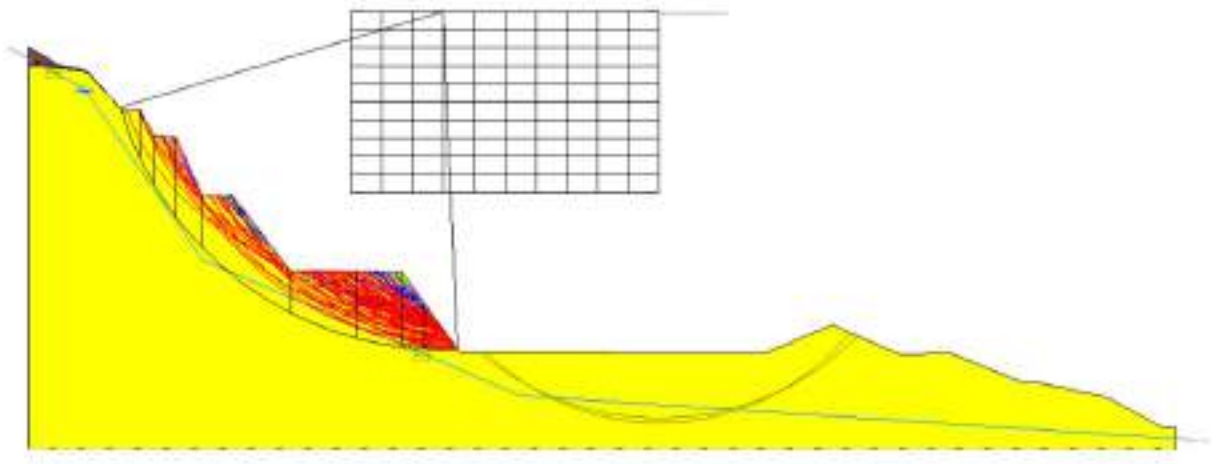
Risultati analisi pendio

Fs minimo individuato	2,25
Ascissa centro superficie	78,5 m
Ordinata centro superficie	93,0 m
Raggio superficie	63,78 m

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

xc = 78,498 yc = 93,005 Rc = 63,781 Fs=2,246

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (Kg)	Kh•Wi (Kg)	Kv•Wi (Kg)	c (kg/cm²)	Fi (°)	Ui (Kg)	N'i (Kg)	Ti (Kg)
1	0,57	72,6	1,9	955,08	18,24	9,07	1,27	31,8	0,0	-16513,9	6187,0
2	3,22	67,9	8,56	49107,3	937,95	466,52	1,27	31,8	0,0	6758,5	50265,3
3	2,62	61,5	5,5	66849,8	1276,83	635,07	1,27	31,8	0,0	54947,9	46258,1
4	4,23	55,7	7,51	141950,2	2711,25	1348,53	1,27	31,8	0,0	135026,6	79723,5
5	4,84	49,0	7,37	163637,5	3125,48	1554,56	1,27	31,8	0,0	152933,7	83892,6
6	16,73	36,3	20,77	611752,4	11684,47	5811,65	1,27	31,8	0,0	559498,1	271767,4
7	12,44	21,0	13,32	352457,8	6731,94	3348,35	1,27	31,8	0,0	315261,4	162291,2
8	8,52	11,1	8,69	308123,3	5885,16	2927,17	1,27	31,8	0,0	288774,8	128776,1
9	4,23	5,3	4,25	130016,6	2483,32	1235,16	1,27	31,8	0,0	125180,2	58575,5
10	6,38	0,5	6,38	75826,49	1448,29	720,35	1,27	31,8	0,0	75357,2	56861,1



Sezione F F - Roccia

Analisi di stabilità dei pendii con: BISHOP (1955)

Lat./Long.	44,536505/8,866559
Calcolo eseguito secondo	NTC 2018
Numero di strati	1,0
Numero dei conci	10,0
Grado di sicurezza ritenuto accettabile	1,0
Coefficiente parziale resistenza	1,0
Parametri geotecnici da usare. Angolo di attrito:	Picco
Analisi	Condizione drenata
Superficie di forma circolare	

Maglia dei Centri

Ascissa vertice sinistro inferiore xi	63,17 m
Ordinata vertice sinistro inferiore yi	126,67 m
Ascissa vertice destro superiore xs	115,3 m
Ordinata vertice destro superiore ys	171,9 m
Passo di ricerca	10,0
Numero di celle lungo x	10,0
Numero di celle lungo y	10,0

Coefficienti sismici [N.T.C.]

Dati generali

Tipo opera:	2 - Opere ordinarie
Classe d'uso:	Classe II
Vita nominale:	50,0 [anni]
Vita di riferimento:	50,0 [anni]

Parametri sismici su sito di riferimento

Categoria sottosuolo:	A
Categoria topografica:	T2

S.L. Stato limite	TR Tempo ritorno [anni]	ag [m/s²]	F0 [-]	TC* [sec]
S.L.O.	30,0	0,24	2,52	0,18
S.L.D.	50,0	0,3	2,51	0,21
S.L.V.	475,0	0,78	2,49	0,28
S.L.C.	975,0	1,05	2,46	0,29

Coefficienti sismici orizzontali e verticali

Opera: Stabilità dei pendii e Fondazioni

S.L. Stato limite	amax [m/s²]	beta [-]	kh [-]	kv [sec]
S.L.O.	0,288	0,2	0,0059	0,0029
S.L.D.	0,36	0,2	0,0073	0,0037
S.L.V.	0,936	0,2	0,0191	0,0095
S.L.C.	1,26	0,27	0,0347	0,0173

Coefficiente azione sismica orizzontale 0,019

Coefficiente azione sismica verticale 0,01

Vertici profilo

Nr	X (m)	y (m)
1	0,0	151,97
2	8,23	148,88
3	11,83	149,39
4	16,72	142,71
5	18,78	136,02
6	22,38	136,27
7	23,67	130,61
8	27,78	130,1
9	29,84	125,98
10	32,41	126,24
11	35,5	120,32
12	38,85	120,84
13	41,68	115,95
14	45,79	115,69
15	47,34	110,81
16	51,45	110,81
17	52,74	105,15
18	58,65	106,18
19	62,0	95,88
20	67,66	95,37
21	72,29	82,25
22	77,69	81,22
23	82,32	67,07
24	88,75	67,07
25	94,41	51,12
26	102,13	51,38
27	106,76	37,23
28	114,22	36,97
29	123,48	21,28
30	159,24	21,28
31	182,91	12,28
32	195,0	21,28
33	204,26	21,28
34	212,24	35,43
35	218,67	35,43
36	227,41	29,0

Falda

Nr.	X (m)	y (m)
1	-9,71	131,35
2	54,99	61,25
3	102,02	20,51
4	161,04	10,32
5	242,82	12,42

Coefficienti parziali azioni

Sfavorevoli: Permanenti, variabili	1,0	0,0
Favorevoli: Permanenti, variabili	1,0	0,0

Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

Tangente angolo di resistenza al taglio	1,25
Coesione efficace	1,25
Coesione non drenata	1,4
Riduzione parametri geotecnici terreno	No

Stratigrafia

Strato	Coesione (kg/cm²)	Coesione non drenata (kg/cm²)	Angolo resistenza al taglio (°)	Peso unità di volume (Kg/m³)	Peso saturo (Kg/m³)	Litologia
1	1,24		31,78	2700	2700	

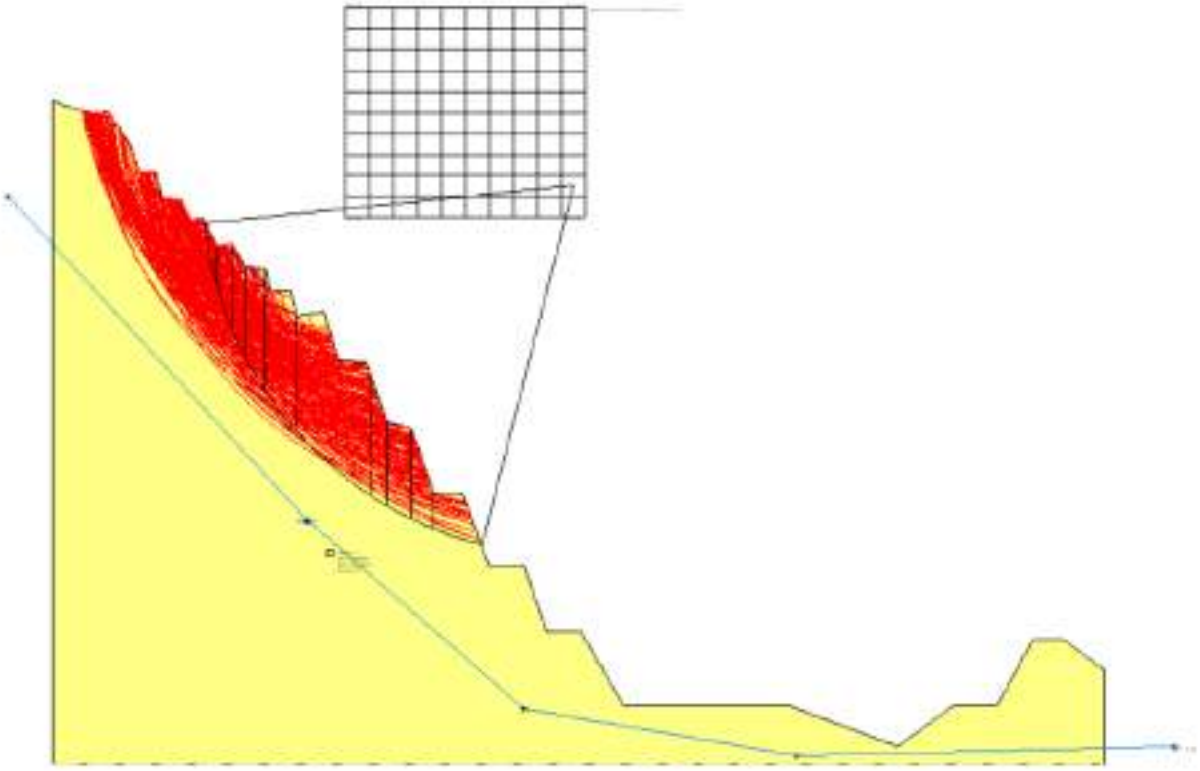
Risultati analisi pendio

Fs minimo individuato	1,23
Ascissa centro superficie	112,69 m
Ordinata centro superficie	133,45 m
Raggio superficie	80,19 m

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

xc = 112,691 yc = 133,451 Rc = 80,186 Fs=1,229

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (Kg)	Kh•Wi (Kg)	Kv•Wi (Kg)	c (kg/cm²)	Fi (°)	Ui (Kg)	N'i (Kg)	Ti (Kg)
1	2,58	79,2	13,77	40368,56	767,0	403,69	1,24	31,8	0,0	-140818,0	67921,4
2	3,34	70,7	10,11	127232,6	2417,42	1272,33	1,24	31,8	0,0	38473,5	121337,3
3	2,83	64,7	6,62	147820,9	2808,6	1478,21	1,24	31,8	0,0	99021,3	116693,9
4	4,12	59,4	8,09	258868,3	4918,5	2588,68	1,24	31,8	0,0	200068,0	182490,0
5	6,95	52,5	11,44	95370,1	9412,03	4953,7	1,24	31,8	0,0	400605,1	316914,9
6	16,09	40,8	21,25	1185638,0	22527,12	11856,38	1,24	31,8	0,0	962483,3	699402,9
7	3,46	31,7	4,07	205063,9	3896,21	2050,64	1,24	31,8	0,0	164461,6	123954,9
8	5,4	28,1	6,12	277943,7	5280,93	2779,44	1,24	31,8	0,0	222311,8	173804,4
9	4,63	24,1	5,07	174012,8	3306,24	1740,13	1,24	31,8	0,0	136911,3	120161,7
10	10,44	18,3	11,02	75078,9	5226,5	2750,79	1,24	31,8	0,0	216844,3	220203,2



Sezione 7 - Roccia

Analisi di stabilità dei pendii con: BISHOP (1955)

Lat./Long.	44,536505/8,866559
Calcolo eseguito secondo	NTC 2018
Numero di strati	2,0
Numero dei conci	10,0
Grado di sicurezza ritenuto accettabile	1,0
Coefficiente parziale resistenza	1,0
Parametri geotecnici da usare. Angolo di attrito:	Picco
Analisi	Condizione drenata
Superficie di forma circolare	

Maglia dei Centri

Ascissa vertice sinistro inferiore xi	87,88 m
Ordinata vertice sinistro inferiore yi	64,16 m
Ascissa vertice destro superiore xs	146,44 m
Ordinata vertice destro superiore ys	102,74 m
Passo di ricerca	10,0
Numero di celle lungo x	10,0
Numero di celle lungo y	10,0

Coefficienti sismici [N.T.C.]

Dati generali

Tipo opera:	2 - Opere ordinarie
Classe d'uso:	Classe II
Vita nominale:	50,0 [anni]
Vita di riferimento:	50,0 [anni]

Parametri sismici su sito di riferimento

Categoria sottosuolo:	A
Categoria topografica:	T2

S.L. Stato limite	TR Tempo ritorno [anni]	ag [m/s²]	F0 [-]	TC* [sec]
S.L.O.	30,0	0,24	2,52	0,18
S.L.D.	50,0	0,3	2,51	0,21
S.L.V.	475,0	0,78	2,49	0,28
S.L.C.	975,0	1,05	2,46	0,29

Coefficienti sismici orizzontali e verticali

Opera: Stabilità dei pendii e Fondazioni

S.L. Stato limite	amax [m/s²]	beta [-]	kh [-]	kv [sec]
S.L.O.	0,288	0,2	0,0059	0,0029
S.L.D.	0,36	0,2	0,0073	0,0037
S.L.V.	0,936	0,2	0,0191	0,0095
S.L.C.	1,26	0,27	0,0347	0,0173

Coefficiente azione sismica orizzontale 0,019

Coefficiente azione sismica verticale 0,01

Vertici profilo

Nr	X (m)	y (m)
1	0,0	107,97
2	3,7	107,51
3	11,09	105,2
4	14,78	99,89
5	22,17	99,66
6	30,03	89,73
7	35,57	89,5
8	41,34	74,94
9	49,2	74,71
10	54,74	60,39
11	67,67	59,7
12	75,99	45,38
13	86,15	44,46
14	93,54	30,14
15	101,4	30,6
16	107,4	17,43
17	114,79	17,66
18	121,49	5,88
19	163,99	5,65
20	165,14	7,04
21	170,23	7,04
22	177,85	17,2
23	185,47	17,66
24	191,01	27,83
25	194,94	27,83
26	198,87	28,52
27	200,25	23,67
28	209,03	24,13

Falda

Nr.	X (m)	y (m)
1	-2,5	108,61
2	11,14	103,04
3	74,51	24,91
4	123,66	3,74
5	211,0	5,25

Vertici strato 1

N	X (m)	y (m)
1	0,0	105,0
2	12,68	102,46
3	14,7	100,25
4	22,4	99,64
5	30,16	89,4
6	35,73	89,59
7	41,72	74,89
8	49,57	74,6
9	54,56	60,19
10	67,82	59,62
11	76,08	45,4
12	86,07	44,25

13	93,37	30,22
14	101,44	30,22
15	107,4	17,16
16	114,51	17,54
17	121,61	6,01
18	163,69	5,82
19	164,84	6,78
20	170,61	6,78
21	177,71	16,97
22	185,59	17,73
23	190,78	27,92
24	198,46	28,3
25	200,38	23,69
26	209,03	24,07

Coefficienti parziali azioni

Sfavorevoli: Permanenti, variabili	1,0	1,0
Favorevoli: Permanenti, variabili	1,0	1,0

Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

Tangente angolo di resistenza al taglio	1,25
Coesione efficace	1,25
Coesione non drenata	1,4
Riduzione parametri geotecnici terreno	No

Stratigrafia

Strato	Coesione (kg/cm²)	Coesione non drenata (kg/cm²)	Angolo resistenza al taglio (°)	Peso unità di volume (t/m³)	Peso saturo (t/m³)	Litologia
1	0.09		29.26	1.8	2	
2	1.27		31.78	2.7	2.7	

Risultati analisi pendio

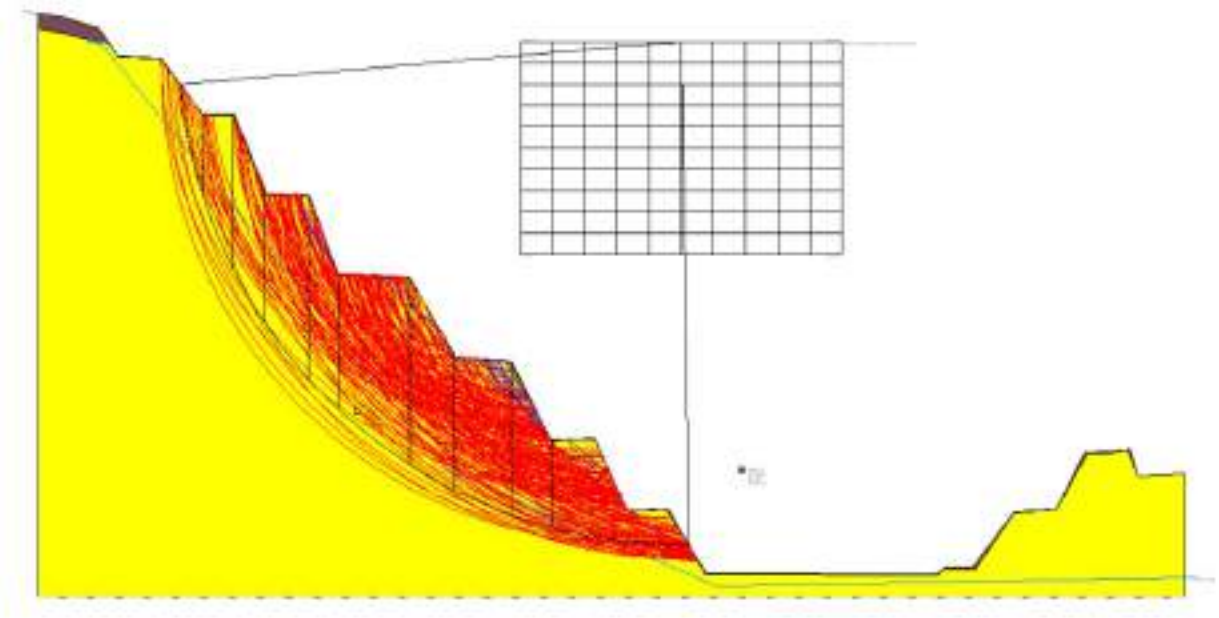
Fs minimo individuato	1,45
Ascissa centro superficie	117,16 m
Ordinata centro superficie	102,74 m
Raggio superficie	91,59 m

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

xc = 117,16 yc = 102,745 Rc = 91,587 Fs=1,447

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (Kg)	Kh•Wi (Kg)	Kv•Wi (Kg)	c (kg/cm²)	Fi (°)	Ui (Kg)	N'i (Kg)	Ti (Kg)
1	4,12	78,6	20,82	115476,0	2194,04	1154,76	1,27	31,8	0,0	-103027,9	138610,0

2	5,54	67,5	14,5336483,0	6393,18	3364,83	1,27	31,8	0,0281414,7	247698,4
3	5,77	59,4	11,35413857,8	7863,3	4138,58	1,27	31,8	0,0373993,2	259736,6
4	7,85	51,9	12,72610830,1	11605,77	6108,3	1,27	31,8	0,0548170,4	346343,9
5	5,54	45,4	7,9436742,3	8298,1	4367,42	1,27	31,8	0,0384761,2	234047,1
6	12,93	37,8	16,381039459,0	19749,71	10394,58	1,27	31,8	0,0903948,7	530713,6
7	8,32	29,7	9,57660877,8	12556,68	6608,78	1,27	31,8	0,0572986,9	329317,1
8	10,16	23,3	11,06722203,5	13721,87	7222,04	1,27	31,8	0,0628694,3	366222,1
9	7,39	17,4	7,74436443,3	8292,42	4364,43	1,27	31,8	0,0384550,1	232591,5
10	24,94	7,1	25,13575119,4	10927,27	5751,19	1,27	31,8	0,0524417,7	445083,4



Sezione 9 - Roccia

Analisi di stabilità dei pendii con: BISHOP (1955)

Lat./Long.	44,536505/8,866559
Calcolo eseguito secondo	NTC 2018
Numero di strati	2,0
Numero dei conci	10,0
Grado di sicurezza ritenuto accettabile	1,0
Coefficiente parziale resistenza	1,0
Parametri geotecnici da usare. Angolo di attrito:	Picco
Analisi	Condizione drenata
Superficie di forma circolare	

Maglia dei Centri

Ascissa vertice sinistro inferiore xi	83,3 m
Ordinata vertice sinistro inferiore yi	87,96 m
Ascissa vertice destro superiore xs	151,41 m
Ordinata vertice destro superiore ys	128,69 m
Passo di ricerca	10,0
Numero di celle lungo x	10,0
Numero di celle lungo y	10,0

Coefficienti sismici [N.T.C.]

Dati generali

Tipo opera:	2 - Opere ordinarie
Classe d'uso:	Classe II
Vita nominale:	50,0 [anni]
Vita di riferimento:	50,0 [anni]

Parametri sismici su sito di riferimento

Categoria sottosuolo:	A
Categoria topografica:	T2

S.L. Stato limite	TR Tempo ritorno [anni]	ag [m/s²]	F0 [-]	TC* [sec]
S.L.O.	30,0	0,24	2,52	0,18
S.L.D.	50,0	0,3	2,51	0,21
S.L.V.	475,0	0,78	2,49	0,28
S.L.C.	975,0	1,05	2,46	0,29

Coefficienti sismici orizzontali e verticali

Opera: Stabilità dei pendii e Fondazioni

S.L. Stato limite	amax [m/s²]	beta [-]	kh [-]	kv [sec]
S.L.O.	0,288	0,2	0,0059	0,0029
S.L.D.	0,36	0,2	0,0073	0,0037
S.L.V.	0,936	0,2	0,0191	0,0095
S.L.C.	1,26	0,27	0,0347	0,0173

Coefficiente azione sismica orizzontale 0,0191

Coefficiente azione sismica verticale 0,0095

Vertici profilo

Nr	X (m)	y (m)
1	-10,28	134,44
2	0,0	130,38
3	3,23	128,3
4	5,31	123,68
5	11,32	123,22
6	12,7	119,52
7	18,25	119,98
8	24,48	105,9
9	30,29	105,77
10	36,96	91,34
11	44,96	91,44
12	52,2	76,33
13	63,29	76,1
14	73,68	62,24
15	85,46	62,24
16	95,85	47,46
17	105,09	47,69
18	112,25	34,76
19	120,57	34,52
20	126,57	22,75
21	180,85	22,98
22	182,7	29,21
23	188,7	29,67
24	191,94	34,76
25	197,94	34,76
26	200,71	39,38
27	204,64	39,61
28	209,26	43,07
29	212,96	44,46
30	215,73	38,45
31	224,04	39,14

Falda

Nr.	X (m)	y (m)
1	-0,57	129,9
2	40,1	77,56
3	71,15	45,1
4	115,45	23,66
5	134,74	20,57
6	232,14	21,28

Vertici strato 1

N	X (m)	y (m)
1	-10,28	130,14
2	3,88	126,01
3	5,43	123,68
4	11,06	123,1
5	12,61	119,61
6	18,44	119,8
7	24,26	105,82
8	27,05	105,95

9	30,46	106,29
10	37,08	91,45
11	45,14	91,56
12	52,22	76,31
13	63,05	76,09
14	73,29	62,44
15	85,81	62,01
16	95,91	47,38
17	105,03	47,57
18	112,02	34,76
19	120,95	34,37
20	126,58	22,72
21	180,75	22,92
22	182,86	29,42
23	188,29	29,68
24	191,85	35,02
25	198,42	34,76
26	200,49	39,47
27	205,02	39,42
28	209,1	43,5
29	213,37	44,47
30	215,51	38,45
31	224,04	38,84

Coefficienti parziali azioni

Sfavorevoli: Permanenti, variabili	1,0	1,0
Favorevoli: Permanenti, variabili	1,0	1,0

Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

Tangente angolo di resistenza al taglio	1,25
Coesione efficace	1,25
Coesione non drenata	1,4
Riduzione parametri geotecnici terreno	No

Stratigrafia

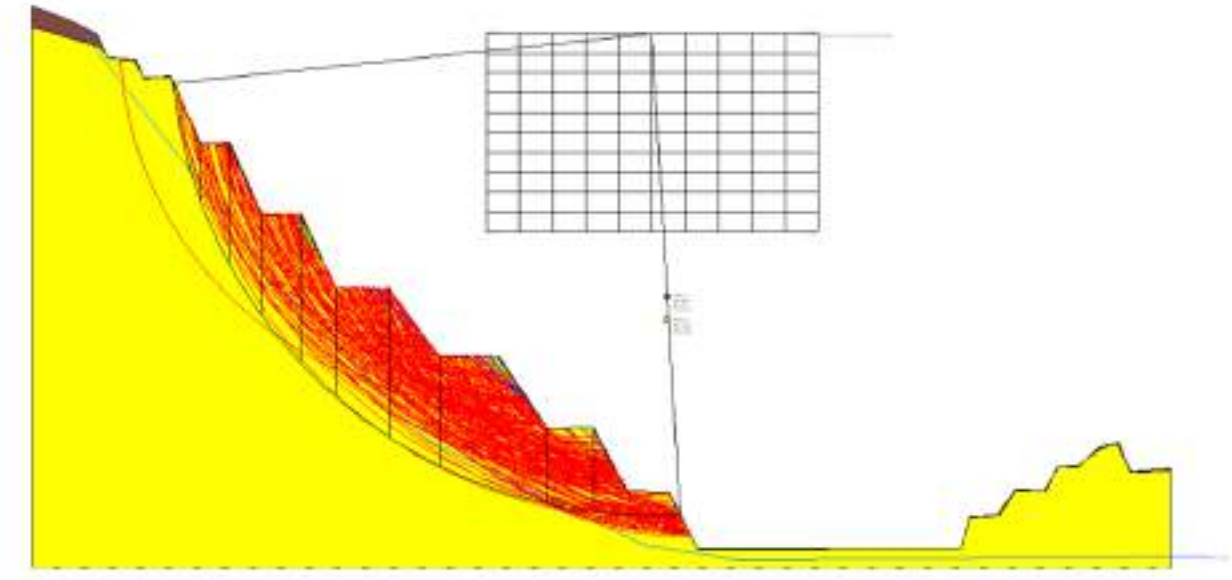
Strato	Coesione (kg/cm²)	Coesione non drenata (kg/cm²)	Angolo resistenza al taglio (°)	Peso unità di volume (t/m³)	Peso saturo (t/m³)	Litologia
1	0.09		29.26	1.8	2	
2	1.27		31.78	2.7	2.7	

Risultati analisi pendio

Fs minimo individuato	1,6
Ascissa centro superficie	117,35 m
Ordinata centro superficie	128,69 m
Raggio superficie	98,99 m

xc = 117,353 yc = 128,686 Rc = 98,991 Fs=1,599

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (Kg)	Kh•Wi (Kg)	Kv•Wi (Kg)	c (kg/cm²)	Fi (°)	Ui (Kg)	N'i (Kg)	Ti (Kg)
1	5,6	76,9	24,77	134418,8	2567,4	1276,98	1,27	31,8	0,0	-94871,9	160009,9
2	5,81	65,7	14,09	289970,0	5538,43	2754,72	1,27	31,8	0,0	245649,6	207147,3
3	6,66	57,9	12,56	411934,6	7867,95	3913,38	1,27	31,8	0,0	381055,6	247418,7
4	8,01	50,7	12,63	555737,2	10614,58	5279,5	1,27	31,8	0,0	512087,9	298785,2
5	7,23	44,1	10,07	517445,0	9883,2	4915,73	1,27	31,8	0,0	467418,4	261129,9
6	11,09	37,1	13,91	794833,7	15181,32	7550,92	1,27	31,8	0,0	706140,6	384107,5
7	10,39	29,6	11,96	742605,6	14183,77	7054,75	1,27	31,8	0,0	655759,3	349113,0
8	22,17	19,4	23,51	614283,0	30832,81	15335,69	1,27	31,8	0,0	1448234,0	747907,9
9	9,24	9,8	9,38	409023,6	7812,35	3885,72	1,27	31,8	0,0	376906,3	220540,7



10	17,86	1,9	17,87	238364,0	4552,75	2264,46	1,27	31,8	0,0	230675,9	231318,0

Sezione 9 interfaccia roccia - detrito

Analisi di stabilità dei pendii con: BISHOP (1955)

Lat./Long.	44,536505/8,866559
Calcolo eseguito secondo	NTC 2018
Numero di strati	2,0
Numero dei conci	10,0
Grado di sicurezza ritenuto accettabile	1,0
Coefficiente parziale resistenza	1,0
Parametri geotecnici da usare. Angolo di attrito:	Picco
Analisi	Condizione drenata
Superficie di forma circolare	

Maglia dei Centri

Ascissa vertice sinistro inferiore xi	19,94 m
Ordinata vertice sinistro inferiore yi	138,66 m
Ascissa vertice destro superiore xs	40,07 m
Ordinata vertice destro superiore ys	154,02 m
Passo di ricerca	10,0
Numero di celle lungo x	10,0
Numero di celle lungo y	10,0

Coefficienti sismici [N.T.C.]

Dati generali

Tipo opera:	2 - Opere ordinarie
Classe d'uso:	Classe II
Vita nominale:	50,0 [anni]
Vita di riferimento:	50,0 [anni]

Parametri sismici su sito di riferimento

Categoria sottosuolo:	A
Categoria topografica:	T2

S.L. Stato limite	TR Tempo ritorno [anni]	ag [m/s²]	F0 [-]	TC* [sec]
S.L.O.	30,0	0,24	2,52	0,18
S.L.D.	50,0	0,3	2,51	0,21
S.L.V.	475,0	0,78	2,49	0,28
S.L.C.	975,0	1,05	2,46	0,29

Coefficienti sismici orizzontali e verticali

Opera: Stabilità dei pendii e Fondazioni

S.L. Stato limite	amax [m/s²]	beta [-]	kh [-]	kv [sec]
S.L.O.	0,288	0,2	0,0059	0,0029
S.L.D.	0,36	0,2	0,0073	0,0037
S.L.V.	0,936	0,2	0,0191	0,0095
S.L.C.	1,26	0,27	0,0347	0,0173

Coefficiente azione sismica orizzontale 0,0191

Coefficiente azione sismica verticale 0,0095

Vertici profilo

Nr	X (m)	y (m)
1	-10,28	134,44
2	0,0	130,38
3	3,23	128,3
4	5,31	123,68
5	11,32	123,22
6	12,7	119,52
7	18,25	119,98
8	24,48	105,9
9	30,29	105,77
10	36,96	91,34
11	44,96	91,44
12	52,2	76,33
13	63,29	76,1
14	73,68	62,24
15	85,46	62,24
16	95,85	47,46
17	105,09	47,69
18	112,25	34,76
19	120,57	34,52
20	126,57	22,75
21	180,85	22,98
22	182,7	29,21
23	188,7	29,67
24	191,94	34,76
25	197,94	34,76
26	200,71	39,38
27	204,64	39,61
28	209,26	43,07
29	212,96	44,46
30	215,73	38,45
31	224,04	39,14

Falda

Nr.	X (m)	y (m)
1	-11,84	132,62
2	-0,57	129,9
3	40,1	77,56
4	71,15	45,1
5	115,45	23,66
6	134,74	20,57
7	232,14	21,28

Vertici strato 1

N	X (m)	y (m)
1	-10,28	130,14
2	3,88	126,01
3	5,43	123,68
4	11,06	123,1
5	12,61	119,61
6	18,44	119,8
7	24,26	105,82

8	27,05	105,95
9	30,46	106,29
10	37,08	91,45
11	45,14	91,56
12	52,22	76,31
13	63,05	76,09
14	73,29	62,44
15	85,81	62,01
16	95,91	47,38
17	105,03	47,57
18	112,02	34,76
19	120,95	34,37
20	126,58	22,72
21	180,75	22,92
22	182,86	29,42
23	188,29	29,68
24	191,85	35,02
25	198,42	34,76
26	200,49	39,47
27	205,02	39,42
28	209,1	43,5
29	213,37	44,47
30	215,51	38,45
31	224,04	38,84

Coefficienti parziali azioni

Sfavorevoli: Permanenti, variabili	1,0	1,0
Favorevoli: Permanenti, variabili	1,0	1,0

Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

Tangente angolo di resistenza al taglio	1,25
Coesione efficace	1,25
Coesione non drenata	1,4
Riduzione parametri geotecnici terreno	No

Stratigrafia

Strato	Coesione (kg/cm²)	Coesione non drenata (kg/cm²)	Angolo resistenza al taglio (°)	Peso unità di volume (t/m³)	Peso saturo (t/m³)	Litologia
1	0,07		26,6	1.8	2	
2	1.27		31.78	2.7	2.7	

Risultati analisi pendio

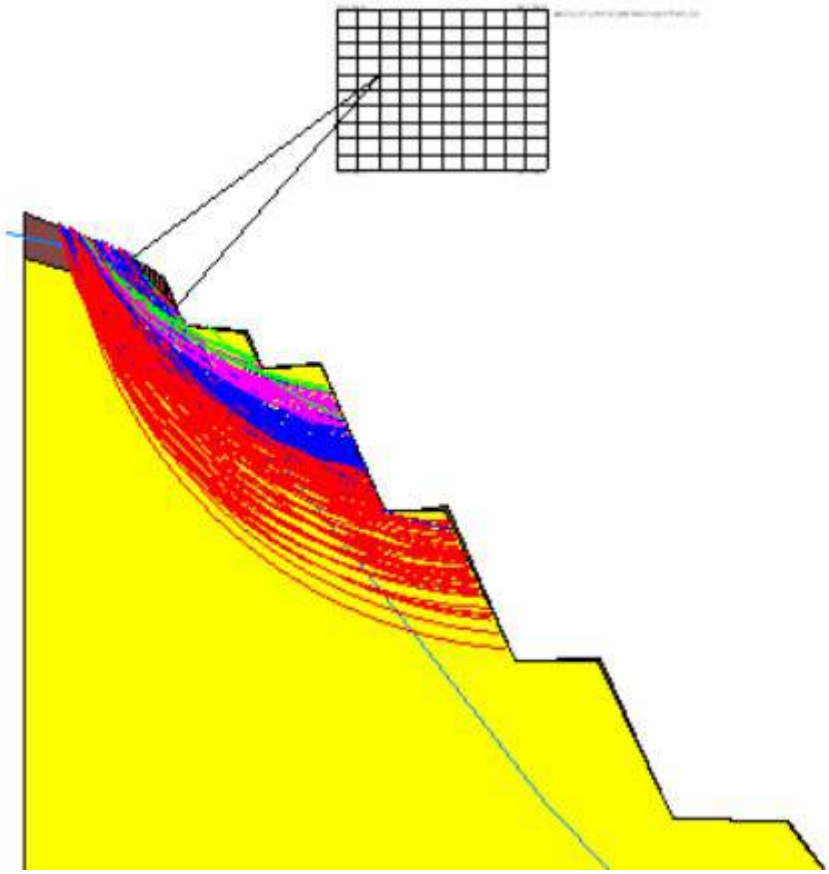
Fs minimo individuato	1,33
Ascissa centro superficie	23,97 m
Ordinata centro superficie	147,88 m
Raggio superficie	29,64 m

B: Larghezza del concio; Alfa: Angolo di inclinazione della base del concio; Li: Lunghezza della base del concio;

Wi: Peso del concio; Ui: Forze derivanti dalle pressioni neutre; Ni: forze agenti normalmente alla direzione di scivolamento; Ti: forze agenti parallelamente alla superficie di scivolamento; Fi: Angolo di attrito; c: coesione.

xc = 23,965 yc = 147,876 Rc = 29,637 Fs=1,326

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (Kg)	Kh•Wi (Kg)	Kv•Wi (Kg)	c (kg/cm²)	Fi (°)	Ui (Kg)	N'i (Kg)	Ti (Kg)
1	0,44	53,0	0,73	121,18	2,31	1,15	0,07	26,6	0,0	-205,5	306,8
2	0,44	51,6	0,71	346,2	6,61	3,29	0,07	26,6	0,0	59,2	394,9
3	0,44	50,3	0,69	549,86	10,5	5,22	0,07	26,6	0,0	292,1	472,2
4	0,44	48,9	0,67	733,91	14,02	6,97	0,07	26,6	0,0	497,3	540,1
5	0,44	47,7	0,65	899,88	17,19	8,55	0,07	26,6	0,0	678,0	599,7
6	0,44	46,4	0,64	1049,07	20,04	9,97	0,07	26,6	0,0	836,9	651,7
7	0,52	45,1	0,73	1411,7	26,96	13,41	0,07	26,6	0,0	1168,3	828,7
8	0,36	43,9	0,5	889,82	17,0	8,45	0,07	26,6	0,0	720,4	534,7
9	0,44	42,9	0,6	686,37	13,11	6,52	0,07	26,6	0,0	476,5	495,6
10	0,44	41,7	0,59	231,9	4,43	2,2	0,07	26,6	0,0	25,7	319,7



Indice

1.Dati generali 1
2.Vertici profilo 2
3.Falda 2
4.Vertici strato 1 2
5.Coefficienti parziali azioni 3
6.Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno 3
7.Stratigrafia 3
8.Risultati analisi pendio 3
Indice 5

Sezione 12 - Roccia

Analisi di stabilità dei pendii con: BISHOP (1955)

Lat./Long.	44,536505/8,866559
Calcolo eseguito secondo	NTC 2018
Numero di strati	2,0
Numero dei conci	10,0
Grado di sicurezza ritenuto accettabile	1,0
Coefficiente parziale resistenza	1,0
Parametri geotecnici da usare. Angolo di attrito:	Picco
Analisi	Condizione drenata
Superficie di forma circolare	

Maglia dei Centri

Ascissa vertice sinistro inferiore xi	159,53 m
Ordinata vertice sinistro inferiore yi	76,42 m
Ascissa vertice destro superiore xs	230,4 m
Ordinata vertice destro superiore ys	111,97 m
Passo di ricerca	10,0
Numero di celle lungo x	10,0
Numero di celle lungo y	10,0

Coefficienti sismici [N.T.C.]

Dati generali

Tipo opera:	2 - Opere ordinarie
Classe d'uso:	Classe II
Vita nominale:	50,0 [anni]
Vita di riferimento:	50,0 [anni]

Parametri sismici su sito di riferimento

Categoria sottosuolo:	A
Categoria topografica:	T2

S.L. Stato limite	TR Tempo ritorno [anni]	ag [m/s²]	F0 [-]	TC* [sec]
S.L.O.	30,0	0,24	2,52	0,18
S.L.D.	50,0	0,3	2,51	0,21
S.L.V.	475,0	0,78	2,49	0,28
S.L.C.	975,0	1,05	2,46	0,29

Coefficienti sismici orizzontali e verticali

Opera: Stabilità dei pendii e Fondazioni

S.L. Stato limite	amax [m/s²]	beta [-]	kh [-]	kv [sec]
S.L.O.	0,288	0,2	0,0059	0,0029
S.L.D.	0,36	0,2	0,0073	0,0037
S.L.V.	0,936	0,2	0,0191	0,0095
S.L.C.	1,26	0,27	0,0347	0,0173

Coefficiente azione sismica orizzontale 0,0191

Coefficiente azione sismica verticale 0,0095

Vertici profilo

Nr	X (m)	y (m)
1	0,0	119,52
2	3,23	118,37
3	4,85	117,21
4	7,83	117,32
5	11,01	112,41
6	15,48	112,36
7	19,17	102,2
8	24,71	101,74
9	29,8	88,8
10	51,04	88,57
11	62,13	91,81
12	71,14	88,57
13	82,0	88,34
14	90,77	74,02
15	100,93	73,56
16	108,79	59,01
17	117,33	59,01
18	124,72	43,99
19	132,35	43,99
20	139,74	29,67
21	146,21	29,44
22	151,52	16,51
23	212,96	16,51
24	216,65	22,98
25	217,58	26,44
26	221,73	28,75
27	225,2	25,98
28	227,51	17,89
29	235,82	17,66

Falda

Nr.	X (m)	y (m)
1	-4,33	123,02
2	39,45	75,34
3	92,33	45,42
4	148,91	15,3
5	241,89	14,86

Vertici strato 1

N	X (m)	y (m)
1	0,0	119,52
2	0,03	117,06
3	7,83	117,26
4	10,67	112,41
5	15,88	112,13
6	16,49	109,58
7	19,17	102,2
8	24,71	101,74
9	29,8	88,8
10	51,04	88,57
11	62,13	91,81

12	71,14	88,57
13	82,0	88,34
14	90,77	74,02
15	100,93	73,56
16	108,79	59,01
17	117,33	59,01
18	124,72	43,99
19	132,35	43,99
20	139,74	29,67
21	146,21	29,44
22	151,52	16,51
23	212,96	16,51
24	216,65	22,98
25	217,58	26,44
26	221,73	28,75
27	225,2	25,98
28	227,51	17,89
29	235,82	17,66

Coefficienti parziali azioni

Sfavorevoli: Permanenti, variabili	1,0 1,0
Favorevoli: Permanenti, variabili	1,0 1,0

Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

Tangente angolo di resistenza al taglio	1,25
Coesione efficace	1,25
Coesione non drenata	1,4
Riduzione parametri geotecnici terreno	No

Stratigrafia

Strato	Coesione (kg/cm²)	Coesione non drenata (kg/cm²)	Angolo resistenza al taglio (°)	Peso unità di volume (t/m³)	Peso saturo (t/m³)	Litologia
1	0.09		29.26	1.8	2	
2	1.27		31.78	2.7	2.7	

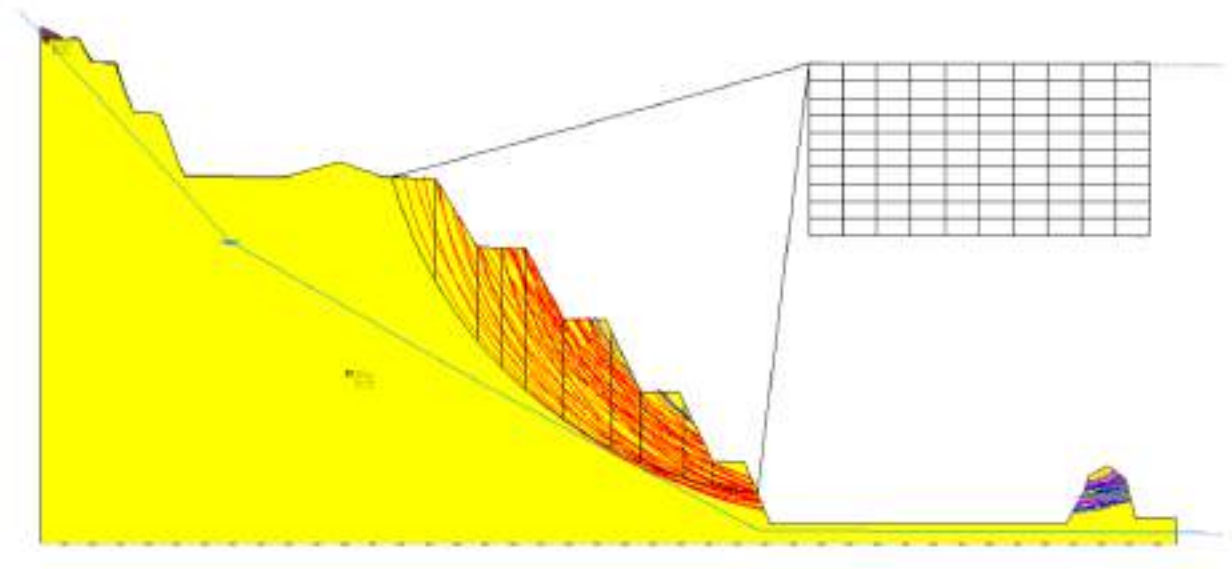
Risultati analisi pendio

Fs minimo individuato	1,44
Ascissa centro superficie	159,53 m
Ordinata centro superficie	111,97 m
Raggio superficie	89,61 m

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

xc = 159,527 yc = 111,967 Rc = 89,614 Fs=1,442

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (Kg)	Kh•Wi (Kg)	Kv•Wi (Kg)	c (kg/cm²)	Fi (°)	Ui (Kg)	N'i (Kg)	Ti (Kg)
1	8,96	67,4	23,33	04626,3	5818,36	2893,95	1,27	31,8	0,01	47551,0	268527,0
2	8,78	55,0	15,34	97418,8	9500,7	4725,48	1,27	31,8	0,04	18224,2	314408,1
3	5,01	47,7	7,44	301244,1	5753,76	2861,82	1,27	31,8	0,02	55168,6	175147,9
4	5,16	43,1	7,06	378654,0	7232,29	3597,21	1,27	31,8	0,03	28388,4	203230,5
5	7,85	37,7	9,92	537001,2	10256,72	5101,51	1,27	31,8	0,04	58811,7	284432,4
6	9,74	30,9	11,34	631709,6	12065,65	6001,24	1,27	31,8	0,05	38092,9	331029,0
7	6,2	25,0	6,84	326846,8	6242,77	3105,05	1,27	31,8	0,02	77018,7	179242,2
8	8,97	19,8	9,53	395980,9	7563,23	3761,82	1,27	31,8	0,03	38322,0	229240,9
9	6,05	14,8	6,25	166995,4	3189,61	1586,46	1,27	31,8	0,01	42107,8	116108,3
10	9,12	9,8	9,25	144145,4	2753,18	1369,38	1,27	31,8	0,01	23078,7	134342,8



Sezione A-A Ripristino ambientale

Analisi di stabilità dei pendii con: BISHOP (1955)

Lat./Long.	44,536505/8,866559
Calcolo eseguito secondo	NTC 2018
Numero di strati	2,0
Numero dei conci	10,0
Grado di sicurezza ritenuto accettabile	1,0
Coefficiente parziale resistenza	1,0
Parametri geotecnici da usare. Angolo di attrito:	Picco
Analisi	Condizione drenata
Superficie di forma circolare	

Maglia dei Centri

Ascissa vertice sinistro inferiore xi	61,39 m
Ordinata vertice sinistro inferiore yi	85,24 m
Ascissa vertice destro superiore xs	137,21 m
Ordinata vertice destro superiore ys	135,78 m
Passo di ricerca	10,0
Numero di celle lungo x	10,0
Numero di celle lungo y	10,0

Coefficienti sismici [N.T.C.]

Dati generali

Tipo opera:	2 - Opere ordinarie
Classe d'uso:	Classe III
Vita nominale:	50,0 [anni]
Vita di riferimento:	75,0 [anni]

Parametri sismici su sito di riferimento

Categoria sottosuolo:	B
Categoria topografica:	T2

S.L. Stato limite	TR Tempo ritorno [anni]	ag [m/s²]	F0 [-]	TC* [sec]
S.L.O.	45,0	0,29	2,51	0,2
S.L.D.	75,0	0,36	2,53	0,23
S.L.V.	712,0	0,92	2,48	0,28
S.L.C.	1462,0	1,22	2,47	0,29

Coefficienti sismici orizzontali e verticali

Opera: Stabilità dei pendii e Fondazioni

S.L. Stato limite	amax [m/s²]	beta [-]	kh [-]	kv [sec]
S.L.O.	0,4176	0,2	0,0085	0,0043
S.L.D.	0,5184	0,2	0,0106	0,0053
S.L.V.	1,3248	0,2	0,027	0,0135
S.L.C.	1,7568	0,24	0,043	0,0215

Coefficiente azione sismica orizzontale 0,027

Coefficiente azione sismica verticale 0,0135

Vertici profilo

Nr	X (m)	y (m)
1	-35,05	59,24
2	-33,2	60,35
3	-8,79	60,54
4	50,92	41,31
5	65,9	41,68
6	97,33	23,19
7	121,0	23,19

Falda

Nr.	X (m)	y (m)
1	-45,59	59,06
2	-4,91	50,0
3	44,27	33,55
4	91,6	20,23
5	136,16	18,01

Vertici strato 1

N	X (m)	y (m)
1	-35,05	58,89
2	-34,12	58,5
3	-27,84	51,11
4	-21,92	51,29
5	-13,79	36,13
6	-6,21	36,13
7	-1,4	23,38
8	6,74	23,38
9	13,58	11,17
10	83,65	11,36
11	89,57	23,75
12	96,53	23,66
13	97,33	23,19
14	121,0	23,19

Coefficienti parziali azioni

Sfavorevoli: Permanenti, variabili	1,0	0,0
Favorevoli: Permanenti, variabili	1,0	0,0

Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

Tangente angolo di resistenza al taglio	1,0
Coesione efficace	1,0
Coesione non drenata	1,0
Riduzione parametri geotecnici terreno	No

Stratigrafia

Strato	Coesione (kg/cm²)	Coesione non drenata (kg/cm²)	Angolo resistenza al taglio	Peso unità di volume (Kg/m³)	Peso saturo (Kg/m³)	Litologia

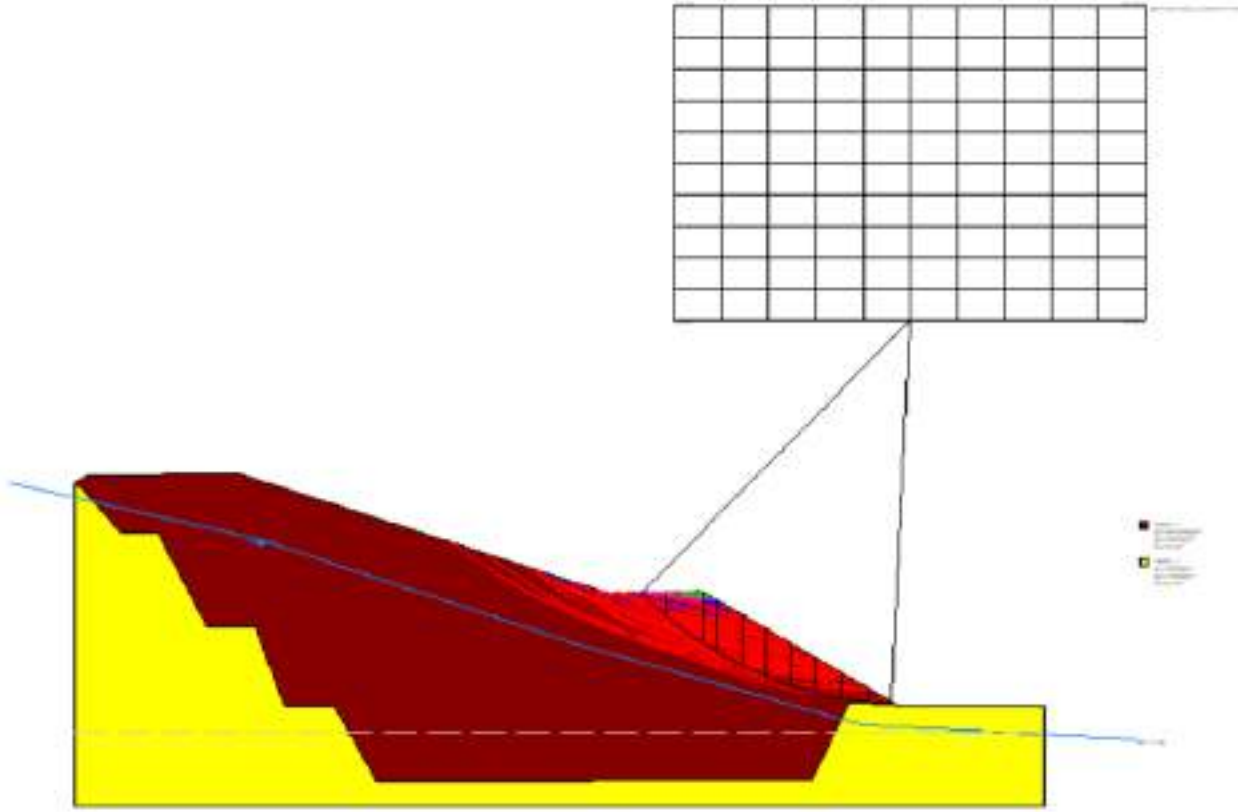
		(°)			
1	0,09	29,26	1800,00	2000	
2	1,27	31,78	2700	2700	

Risultati analisi pendio

Fs minimo individuato	1,42
Ascissa centro superficie	99,3 m
Ordinata centro superficie	85,24 m
Raggio superficie	61,55 m

xc = 99,298 yc = 85,238 Rc = 61,547 Fs=1,42

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (Kg)	Kh•Wi (Kg)	Kv•Wi (Kg)	c (kg/cm²)	Fi (°)	Ui (Kg)	N'i (Kg)	Ti (Kg)
1	4,03	42,1	5,43	14154,64	382,18	191,09	0,09	29,3	0,0	11769,9	8086,9
2	5,81	36,2	7,26	3482,17	1714,02	857,01	0,09	29,3	0,0	58452,2	27628,0
3	2,25	31,6	2,64	33165,86	895,48	447,74	0,09	29,3	0,0	30506,5	13712,5
4	4,03	28,3	4,58	59108,79	1595,94	797,97	0,09	29,3	0,0	54079,1	24238,7
5	4,03	24,1	4,41	56271,86	1519,34	759,67	0,09	29,3	0,0	51333,2	23052,8
6	4,03	20,0	4,29	50913,53	1374,67	687,33	0,09	29,3	0,0	46509,6	21070,5
7	4,03	16,1	4,19	43242,44	1167,55	583,77	0,09	29,3	0,0	39718,8	18330,5
8	4,03	12,2	4,12	33410,2	902,08	451,04	0,09	29,3	0,0	30973,1	14834,8
9	4,03	8,4	4,07	21524,77	581,17	290,58	0,09	29,3	0,0	20200,5	10552,7
10	4,03	4,6	4,04	7659,91	206,82	103,41	0,09	29,3	0,0	7247,0	5422,3



Sezione D-D ripristino ambientale

Analisi di stabilità dei pendii con: BISHOP (1955)

Lat./Long.	44,536505/8,866559
Calcolo eseguito secondo	NTC 2018
Numero di strati	2,0
Numero dei conci	10,0
Grado di sicurezza ritenuto accettabile	1,0
Coefficiente parziale resistenza	1,0
Parametri geotecnici da usare. Angolo di attrito:	Picco
Analisi	Condizione drenata
Superficie di forma circolare	

Maglia dei Centri

Ascissa vertice sinistro inferiore xi	36,65 m
Ordinata vertice sinistro inferiore yi	50,87 m
Ascissa vertice destro superiore xs	94,1 m
Ordinata vertice destro superiore ys	105,13 m
Passo di ricerca	10,0
Numero di celle lungo x	10,0
Numero di celle lungo y	10,0

Coefficienti sismici [N.T.C.]

Dati generali

Tipo opera:	2 - Opere ordinarie
Classe d'uso:	Classe III
Vita nominale:	50,0 [anni]
Vita di riferimento:	75,0 [anni]

Parametri sismici su sito di riferimento

Categoria sottosuolo:	B
Categoria topografica:	T2

S.L. Stato limite	TR Tempo ritorno [anni]	ag [m/s²]	F0 [-]	TC* [sec]
S.L.O.	45,0	0,29	2,51	0,2
S.L.D.	75,0	0,36	2,53	0,23
S.L.V.	712,0	0,92	2,48	0,28
S.L.C.	1462,0	1,22	2,47	0,29

Coefficienti sismici orizzontali e verticali

Opera: Stabilità dei pendii e Fondazioni

S.L. Stato limite	amax [m/s²]	beta [-]	kh [-]	kv [sec]
S.L.O.	0,4176	0,2	0,0085	0,0043
S.L.D.	0,5184	0,2	0,0106	0,0053
S.L.V.	1,3248	0,2	0,027	0,0135
S.L.C.	1,7568	0,24	0,043	0,0215

Coefficiente azione sismica orizzontale	0,027
Coefficiente azione sismica verticale	0,014

Vertici profilo

Nr	X (m)	y (m)
1	-30,06	79,24
2	-22,57	78,71
3	-17,22	65,16
4	-9,56	64,98
5	-1,17	58,2
6	17,37	58,02
7	53,74	41,26
8	70,51	41,08
9	106,17	25,57
10	110,62	25,39

Falda

Nr.	X (m)	y (m)
1	-38,08	68,01
2	2,93	52,5
3	37,16	40,73
4	77,28	27,18
5	116,51	20,04

Vertici strato 1

N	X (m)	y (m)
1	-30,06	78,88
2	-22,75	78,53
3	-17,04	64,8
4	-9,73	64,98
5	-5,1	50,71
6	2,21	50,71
7	6,14	36,63
8	13,09	36,63
9	18,08	24,5
10	24,15	24,5
11	29,49	12,38
12	88,69	11,84
13	93,33	23,08
14	97,43	22,9
15	99,03	23,97
16	103,14	24,32
17	106,52	25,39
18	110,62	25,21

Coefficienti parziali azioni

Sfavorevoli: Permanenti, variabili	1,0	0,0
Favorevoli: Permanenti, variabili	1,0	0,0

Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

Tangente angolo di resistenza al taglio	1,25
Coesione efficace	1,25
Coesione non drenata	1,4
Riduzione parametri geotecnici terreno	No

Stratigrafia

Strato	Coesione (kg/cm²)	Coesione non drenata (kg/cm²)	Angolo resistenza al taglio (°)	Peso unità di volume (Kg/m³)	Peso saturo (Kg/m³)	Litologia
1	0,09		29,26	1800,00	2000	
2	1,27		31,78	2700	2700	

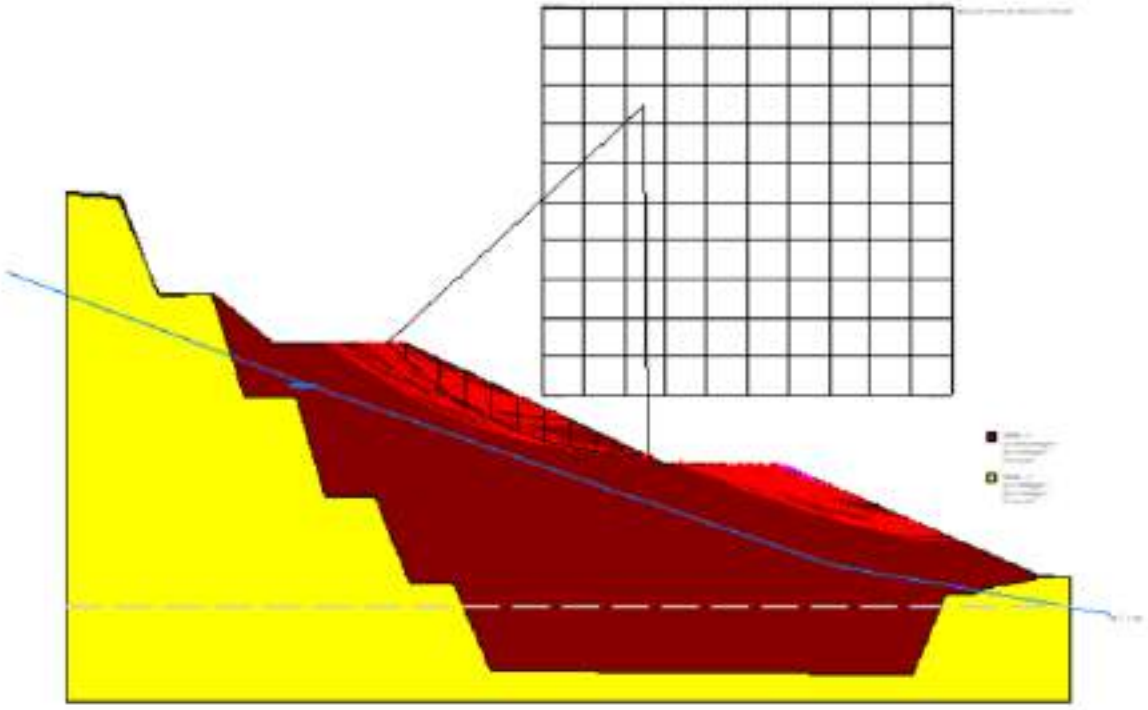
Risultati analisi pendio

Fs minimo individuato	1,61
Ascissa centro superficie	51,02 m
Ordinata centro superficie	91,56 m
Raggio superficie	49,22 m

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

xc = 51,016 yc = 91,564 Rc = 49,222 Fs=1,613

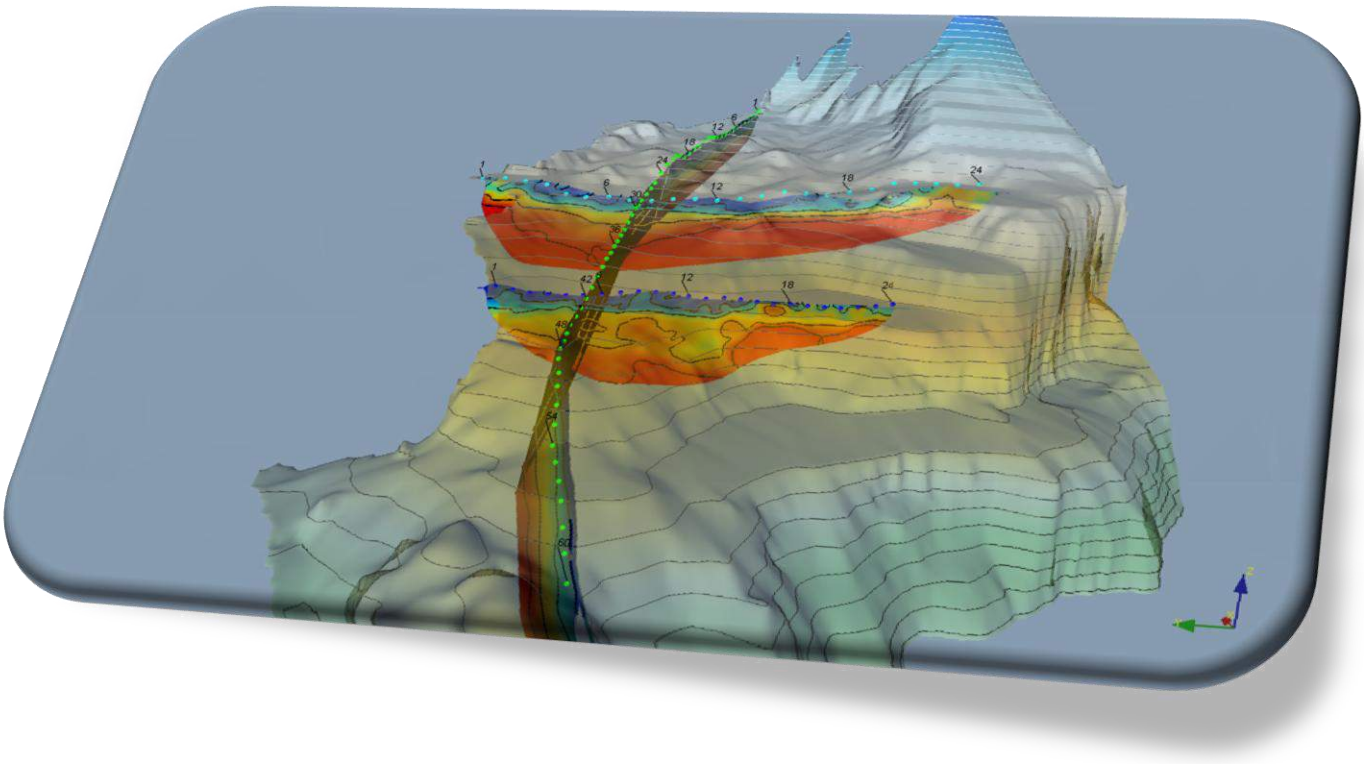
Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (Kg)	Kh•Wi (Kg)	Kv•Wi (Kg)	c (kg/cm²)	Fi (°)	Ui (Kg)	N'i (Kg)	Ti (Kg)
1	2,4	45,1	3,4	5338,8	144,15	74,74	0,09	29,3	0,0	4195,8	3355,9
2	4,88	39,4	6,32	29913,2	807,66	418,78	0,09	29,3	0,0	27867,2	13209,2
3	3,64	33,2	4,352	9936,15	808,28	419,11	0,09	29,3	0,0	27856,2	12106,0
4	3,64	28,3	4,143	3121,59	894,28	463,7	0,09	29,3	0,0	30642,3	12952,1
5	3,64	23,6	3,973	3709,05	910,14	471,93	0,09	29,3	0,0	31097,2	13019,5
6	3,64	19,0	3,853	1994,78	863,86	447,93	0,09	29,3	0,0	29562,4	12418,7
7	3,64	14,6	3,762	8184,31	760,98	394,58	0,09	29,3	0,0	26209,1	11204,3
8	3,64	10,2	3,722	420,03	605,34	313,88	0,09	29,3	0,0	21088,8	9391,0
9	3,64	5,9	3,661	4797,85	399,54	207,17	0,09	29,3	0,0	14154,6	6960,5
10	3,64	1,7	3,64	5376,14	145,16	75,27	0,09	29,3	0,0	5265,5	3862,7



Richiedente: **Dott. Geol. Luca Piaggi**
Committente: **Grandi Calcestruzzi S.a.s.**
Via Canepa, 3
16010 Serra Riccò (GE)- Italy

INDAGINI SISMICHE E GEOELETTRICHE PER LA VALUTAZIONE DEGLI SPESSORI DELLE COLTRI DI COPERTURA

Cave Grandi, Strada Provinciale n.6, Comune di Campomorone (GE)



First Break
near surface imaging
impresa individuale di Luigi Allacorta
Viale della Repubblica, 70
54100 Massa (MS) - ITALY
mob. 3208547970
luigi@near-surface.com
luigi@pec.near-surface.com

Dott. Geol. Doriano Caputo
First Break partner
Via Ratti 64/A
19030 Ameglia (SP) - ITALY
mob. 3489226718
doriano@near-surface.com
dorianocaputo@epap.sicurezzapostale.it

SOMMARIO

PREMESSA **3**

PROGRAMMA INDAGINI E UBICAZIONE **3**
Linee sismiche 3
Linee per tomografia di resistività 4

INDAGINI GEOFISICHE **5**
Sismica a rifrazione 5
Strumentazione 6
Sismografo 6
Sorgente onde sismiche 6
Processing 7
Metodi tradizionali 7
Elaborazione tomografica 7
Modellazione tomografica vincolata 8
Indagini Geoelettriche (ERT) 8
Il metodo geoelettrico 8
Schema di acquisizione 9
Processing 9
Strumentazione e specifiche tecniche 9

RISULTATI INDAGINI (*A CURA DEL DOTT. GEOL. DORIANO CAPUTO*) **11**

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA **16**

ALLEGATI **17**

Premessa

A seguito di formale accettazione dell'offerta economica, **First Break** impresa individuale del Dott. Luigi Allacorta, è stata incaricata dal Dott. Geol. Luca Piaggi, per conto della Proprietà, di eseguire una campagna di indagini geofisiche presso una cava di inerti la cui porzione Nord a seguito di intense piogge è stata interessata da un movimento gravitativo che ha coinvolto sia materiali di copertura, sia terreni di riporto. Detta cava è situata lungo la Strada Provinciale n.6, presso l'abitato di Isola Verde, frazione del Comune di Campomorone (GE).

A tale scopo è stata richiesta la realizzazione di indagini geofisiche con il metodo sismico a rifrazione tomografica in onde di compressione, e della resistività elettrica (ERT). Secondo quanto previsto dal programma approvato dalla Committenza, sono state realizzate le seguenti indagini:

- n.3 Indagine sismica a rifrazione in onde P;
- n.2 tomografia elettrica ERT;

Questo documento costituisce la relazione tecnica redatta a chiusura della commessa e riporta la descrizione delle attività svolte in cantiere, le specifiche tecniche delle attrezzature impiegate, i dati di campagna ed i risultati delle indagini eseguite in sito.

Programma indagini e ubicazione

Il sito di indagine è costituito dal margine settentrionale dell'area destinata all'estrazione di inerti, Cava Grandi, ubicata lungo la provinciale n.6 che collega gli abitati di Isola Verde e Cravasco, nel comune di Campomorone (GE) (Fig. 1). Esso va a caratterizzare una porzione di versante oggetto di escavazioni tuttora attive, pertanto l'assetto geomorfologico risulta ampiamente modificato. Al di sopra e nei dintorni del sito di indagine si osservano versanti aspri e piuttosto acclivi, caratterizzati da estesi affioramenti di dolomie e calcari dolomitici dall'aspetto massivo, appartenenti alla formazione delle Dolomie del Monte Gazzo (Carnico sup.?-Norico), (Geoportale Regione Liguria: CARG - Carte Geologiche sc. 1:10000 riferite al Foglio 213 Genova sc. 1:50000).

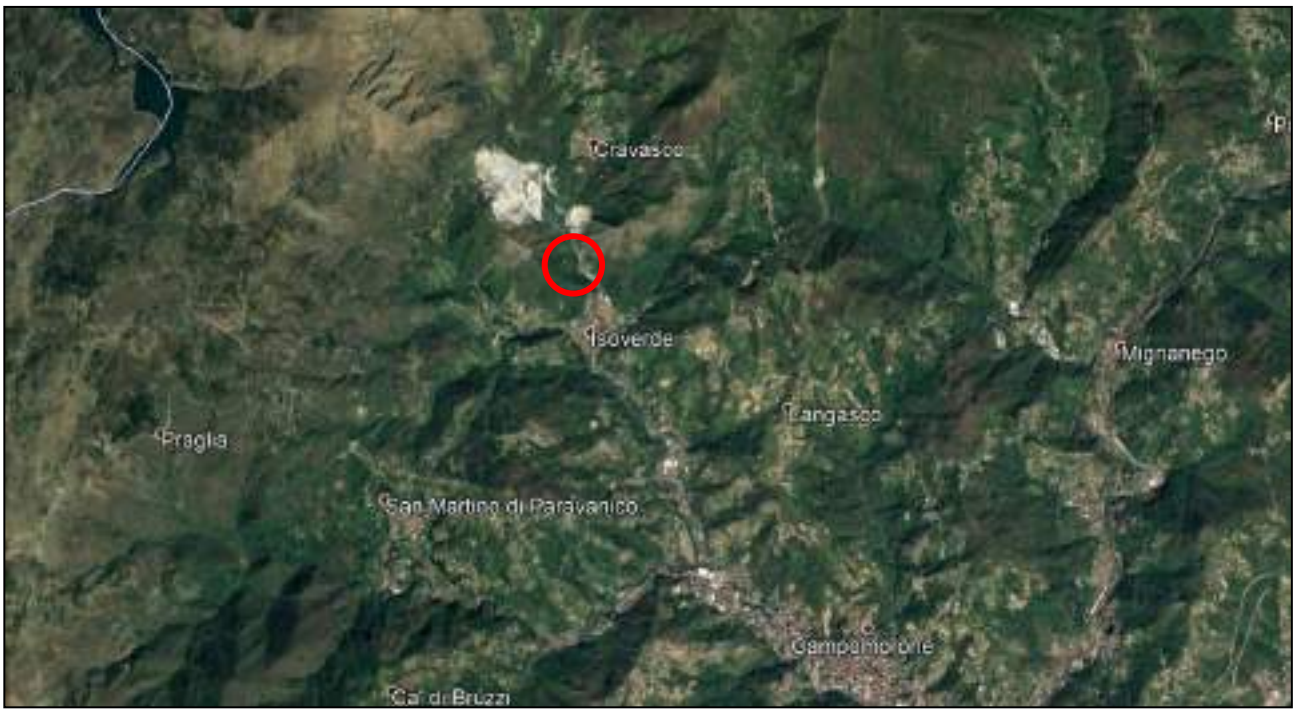


Fig. 1 Vista aerea del sito di indagine. Ripresa satellitare da Google Earth. Coordinate del sito: 44°32'12.12"N, 8°51'58.21"E

Il lavoro è stato organizzato in due differenti giornate lavorative. Durante la prima è stata acquisita la linea sismica di maggiore sviluppo lineare, orientata circa secondo la massima pendenza, approssimativamente in asse al corpo di frana, e realizzata in modalità *roll-along*. La sezione risultante composta di 3 basi da 24 canali attivi adottando una sovrapposizione del 25% (6 ricevitori), conta un totale di 60 ricevitori complessivi. La seconda giornata ha visto la realizzazione di n.2 linee sismiche e n.2 ERT disposte con direzione circa ortogonale alla prima linea sismica, che dal corpo di frana si estendono fino ai limitrofi piani di escavazione. L'ubicazione di dettaglio è riportata nelle figure successive (Fig. 2), e nelle tavole allegate.

Linee sismiche

L'elenco completo delle indagini sismiche eseguite è riportato nella tabella successiva (Tab. 1). In essa vengono indicate le caratteristiche specifiche, compresi i parametri di acquisizione, mentre i risultati vengono presentati nelle pagine successive in apposite tavole grafiche, cui si rimanda per l'analisi di dettaglio delle singole stese. Posizione e orientazione di tutti gli stendimenti, riportati in figura seguente (Fig. 2) e tavole allegate, sono stati concordati con il geologo incaricato presente in sito.

Linea	Lunghezza	Geofoni	Array	Passo	Shots	Energizzazione	Acquisizione	Campionamento
Line 1	170 m	Vert. 60	Onde P	3.00 m	21	Mazza 8 kg su piastra	1000 ms	250.0 µs
Line 2	96 m	Vert. 24	Onde P	4.00 m	9	Mazza 8 kg su piastra	1000 ms	250.0 µs
Line 3	60 m.	Vert. 24	Onde P	2.50 m	9	Mazza 8 kg su piastra	1000 ms	250.0 µs

Tab. 1 Elenco delle linee sismiche realizzate e relative caratteristiche geometrie e parametri di acquisizione.

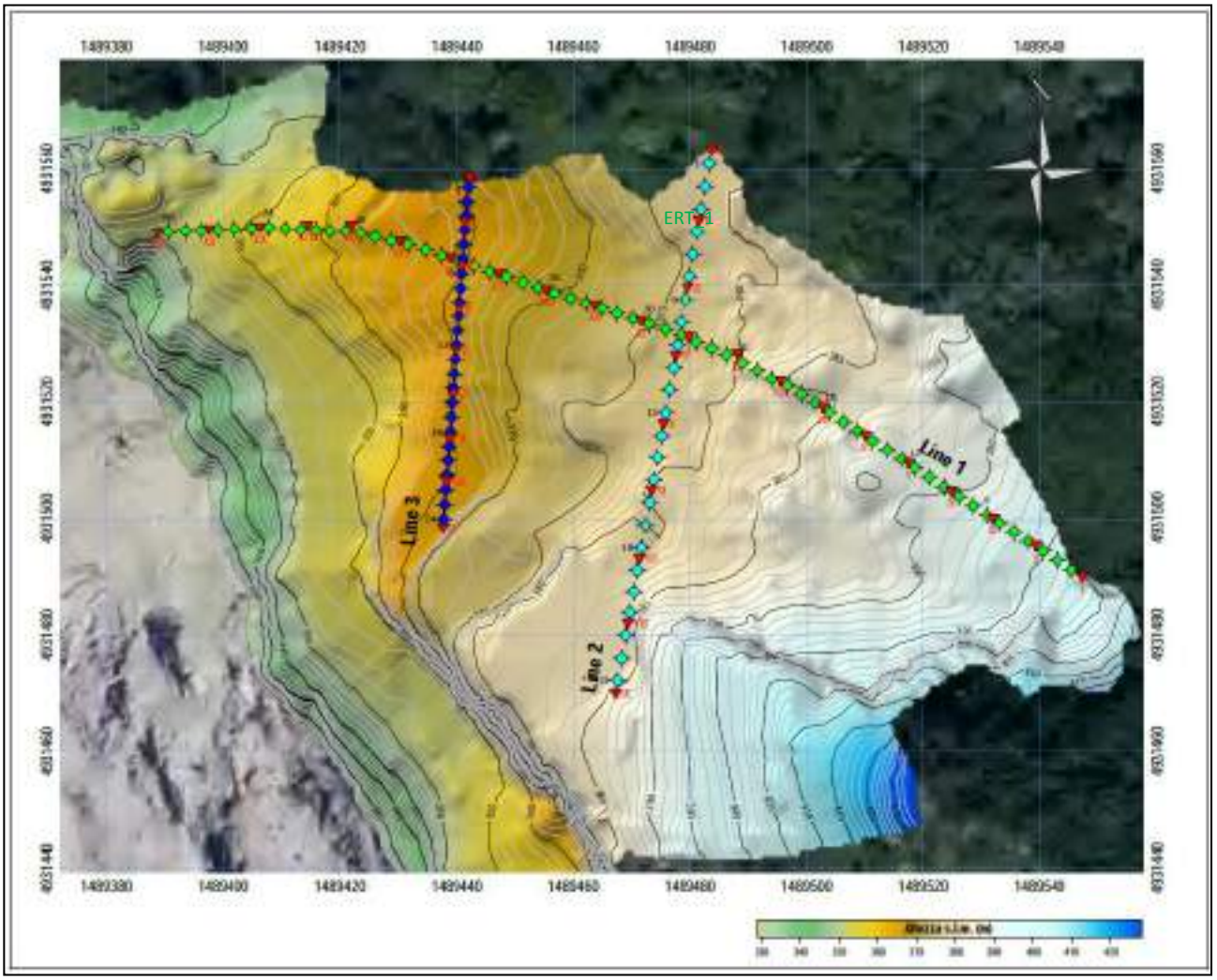


Fig. 2 Porzione settentrionale dell'area di escavazione con la posizione delle linee sismiche a rifrazione: Linea 1, Linea 2 e Linea 3. Modello plano-altrimetrico di dettaglio fornito dalla Committenza; altitudine espressa in scala colore; isolinee principali ogni 5.0m.

Linee per tomografia di resistività

L'elenco completo delle indagini ERT eseguite è riportato nella tabella successiva (Tab. 2). In essa vengono indicate le caratteristiche specifiche, compresi i parametri di acquisizione, mentre i risultati vengono presentati nelle pagine successive in apposite tavole grafiche, cui si rimanda per l'analisi di dettaglio delle singole stese. L'ubicazione dello stendi mento elettrodico, concordato con il geologo incaricato, è riportato nella planimetria sotto (Fig. 3) e nelle tavole in allegato alla presente relazione. Le 2 linee di tomografia elettrica sono state eseguite sulla medesima linea delle tomografie sismiche SRT2 e SRT3.

Linea	Passo	Elettrodi	Lunghezza	Array	Tx max	Vp req	Misura	Durata	Stack (min-max)	Q
ERT1 line 2	2.0 m	48	96 m.	Wenner+Dipolo-Dipolo	800mV	200mV	***Rho***	250 ms	2-5	2%
ERT2 line 3	2.0 m	31	62 m.	Wenner+Dipolo-Dipolo	800mV	200mV	***Rho***	250 ms	2-5	2%

Tab. 2 Tabella riepilogativa delle linee ERT allestite e delle relative impostazioni di acquisizione.

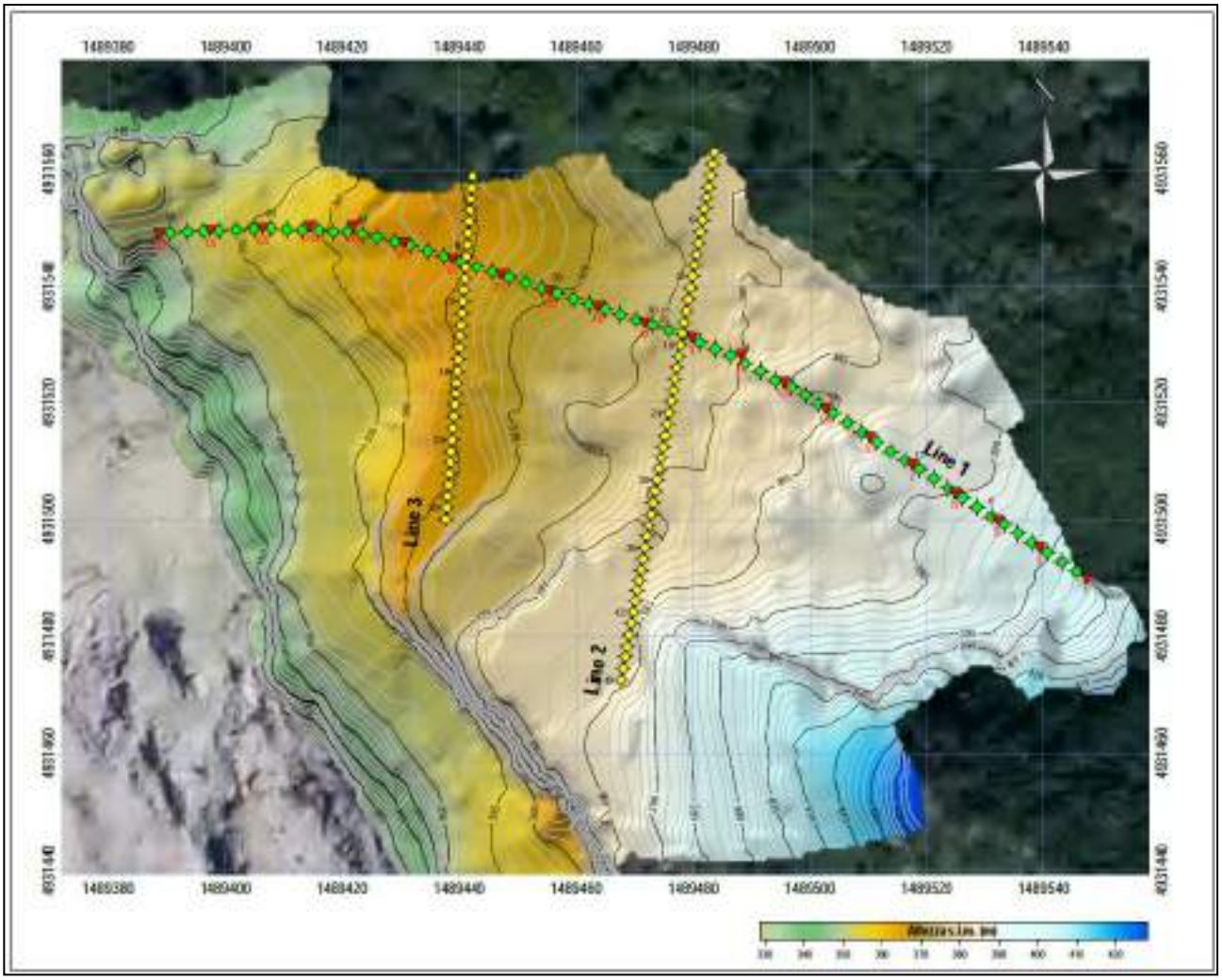


Fig. 3 Porzione settentrionale dell'area di escavazione con la posizione degli stendimenti geoelettrici (linea 2 e linea 3), mentre in verde la Line 1 (acquisita solo sismica), è mantenuta come riferimento. Modello plano-altrimetrico di dettaglio fornito dalla Committenza; altitudine espressa in scala colore; isolinee principali ogni 5.0m.

Indagini geofisiche

Sismica a rifrazione

Il metodo sismico a rifrazione è finalizzato alla determinazione diretta e continua lungo la verticale d'esplorazione della velocità di propagazione delle onde sismiche all'interno del mezzo preso in esame. Dall'analisi dei valori di velocità è possibile ricostruire le geometrie del sottosuolo e ricavare informazioni circa le condizioni meccaniche dei materiali attraversati (addensamento, rigidità, stato di fratturazione, alterazione, etc.).
Il metodo considera il fenomeno della rifrazione di onde elastiche generate artificialmente in superficie in corrispondenza di interfacce che separano mezzi a differenti condizioni di densità, assumendo che il terreno esplorato abbia un comportamento tensione-deformazione di tipo elastico lineare[1].

L'energia acustica viene immessa nel sottosuolo dalla fonte di energia, sia essa una mazza, un grave in caduta libera o una carica esplosiva. Le onde acustiche si propagano nel sottosuolo ad una velocità che è funzione delle proprietà elastiche del materiale attraverso cui viaggiano. Quando le onde raggiungono un'interfaccia che separa mezzi a densità o velocità significativamente differenti, una parte dell'energia viene riflessa verso la superficie e il resto viene trasmessa nello strato inferiore. Se, e solo se, la velocità dello strato inferiore è maggiore di quella dello strato superiore, una parte dell'energia viene anche criticamente rifratta lungo l'interfaccia stessa (Fig. 4).

1 Le deformazioni tangenziali prodotte dalle onde sismiche sono spesso inferiori a 3÷10 %, quindi al di sotto della soglia di linearità.

Le onde criticamente rifratte viaggiano lungo l'interfaccia alla velocità dello strato inferiore e continuamente rifrangono energia verso la superficie, dove si dispongono appositi sensori (velocimetri o accelerometri) in grado di avvertire la perturbazione propagatasi nel terreno a seguito

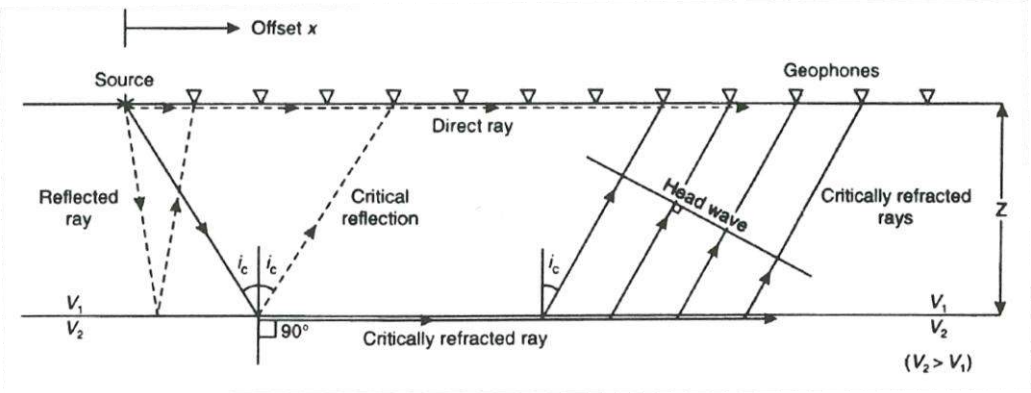


Fig. 4 Percorso dei raggi sismici diretti, riflessi e criticamente rifratti. Lungo l'interfaccia posta a profondità Z la perturbazione elastica si propaga alla velocità maggiore, e durante questo percorso ciascun punto investito dal fronte d'onda emette energia verso la superficie con angolo di incidenza critico.

della generazione dell'onda elastica. Tali sensori traducono la sollecitazione in un segnale elettrico che attraverso un cavo multipolare viene trasferito ad uno strumento di registrazione (sismografo multicanale). Il sismografo digitalizza i segnali ricevuti dai geofoni sotto forma di "sismogrammi", dove, per ogni canale vengono rappresentati il dominio dei tempi sull'asse verticale e l'ampiezza del segnale elettrico (± mV) sull'asse orizzontale.

La prima perturbazione elastica (primo arrivo) ricevuta da ogni geofono a seguito della generazione dell'impulso (*shot*) può avere seguito un percorso "diretto" (ossia il tragitto più breve tra sorgente e ricevitore), oppure avere subito una o più "rifrazioni totali" presso superfici di discontinuità. Oltre una certa distanza definita "critica"(*cross-over distance*), i raggi rifratti raggiungono i geofoni in superficie prima dei raggi diretti, malgrado il tragitto più lungo, in virtù del tratto percorso a velocità più elevata presso l'interfaccia. Il metodo presuppone un incremento della velocità di propagazione delle onde elastiche con la profondità. Ne segue una implicita difficoltà nel risolvere adeguatamente eventuali inversioni di velocità (*velocity inversion channel*).

I tempi di primo arrivo (*first break*) identificati sui sismogrammi e riportati in diagrammi tempo-distanza, vanno a costituire le dromocrone (*traveltimes*), e sono la base dei più comuni processi di inversione.

Strumentazione

Sismografo

L'apparecchiatura d'indagine, per l'esecuzione di indagini sismiche a rifrazione è costituita da: sismografo **Seismic Source**, Modello **DAQLink III**, 24 canali, con risoluzione di acquisizione a 24 bit, avente le seguenti caratteristiche tecniche:

- *Conversion A/D: convertitori sigma delta ad alta velocità a 24 bit;*
- *Rumore di fondo: 0.2 microVolt RMS (a 2 msec);*
- *Precisione trigger: +/- 1 microsecondo a qualsiasi frequenza di campionamento;*
- *Intervallo di campionamento: da 0.0208 a 16,0 millisecondi;*
- *Frequenza di campionamento: da 48.000 a 62.5 campioni/secondo;*

L'attrezzatura per prove sismiche è completata da:

- *1 set di 24 geofoni verticali con frequenza propria di 4,5 Hz;*
- *1 set di 24 geofoni orizzontali con frequenza propria di 4,5 Hz;*
- *2 coppie di cavi sismici, passo 5,0 m, dotati ognuno di 12 take out.*

Sorgente onde sismiche

La generazione delle onde di compressione "P" e delle onde di taglio "Sh", analogamente alle altre tipologie di onde sismiche, avviene mediante idonei strumenti di contrasto, utili per enfatizzare prevalentemente la propagazione delle diverse tipologie di perturbazione elastica. Per quanto riguarda le onde di Taglio "Sh", la sorgente è costituita da una trave in legno e ferro che viene colpita orizzontalmente con una massa pesante, solitamente una mazza da 8 kg per gli stendimenti di modesta lunghezza, o un grave da 30 kg, o anche con un fucile sismico, per gli stendimenti di lunghezza superiore. Mentre per le onde di Compressione "P" la sorgente è una piastra in ferro solidale con il terreno percossa verticalmente con una massa pesante con modalità analoga alle onde "Sh" sopra descritte.

Per ogni punto di acquisizione sono state eseguite una sommatoria (*stack*) di più battute eseguite al fine di migliorare il rapporto segnale/rumore. Questa tecnica si rivela estremamente efficace in presenza di rumore *random*. Per poter verificare la ripetibilità della misura ed individuare eventuali problemi di *triggering*, un numero minimo di due battute per ciascuna posizione di scoppio viene comunque acquisito anche in caso di assenza di disturbi.

Processing

Metodi tradizionali

L'impiego della sismica a rifrazione come prima tecnica di esplorazione petrolifera ha portato allo sviluppo di numerosi metodi di inversione, non tutti impiegati regolarmente o egualmente efficaci, oggi noti come tecniche "convenzionali" o basate su modelli a strati, per differenziarle dai più recenti metodi tomografici. Tutti questi metodi prevedono l'attribuzione dei diversi rami delle *traveltimes* (definiti dai punti di ginocchio o cambi di pendenza), ai diversi strati del sottosuolo.

Tra questi, i vari *Wavefront reconstruction method*,(Rockwell, 1967), *Intercept Time Method* (Edwing et al., 1939), o il gruppo di Metodi dei Reciproco Convenzionale che assumono diverse denominazioni ma che sostanzialmente risultano equivalenti (*ABC method* in Nord America, *Hagiwara's method* in Giappone, *Plus-Minus* in Europa). Oppure i più raffinati *Delay-Time* (Barry,1967), *Hale's method* o *Graphycal rayfract* (Hales, 1958; Sjogren, 1984), e il Metodo del Reciproco Generalizzato (Palmer, 1980) che introducono la tecnica della migrazione per ottimizzare la *offset distance* (distanza orizzontale tra il punto di emergenza del raggio rifratto ed il punto di ricezione alla superficie)

A seconda della complessità del sito l'analisi dei dati potrebbe essere fatta con un metodo piuttosto che un altro, tuttavia molti di questi sono di fatto inglobati nel metodo GRM di Palmer, di cui costituiscono casi limite. Questi metodi richiedono generalmente un minimo di 5 punti per ogni linea (2 colpi esterni, 2 colpi agli estremi e un colpo al centro). Solo il caso semplice di strati a velocità costanti, orizzontali o debolmente inclinati, può essere risolto adeguatamente con due soli colpi alle estremità della linea applicando il metodo del tempo-intercetto.

Come tutti i metodi di inversione, anche le tecniche di modellazione di dati sismici a rifrazione sono affette da non univocità della soluzione. Oltre alle problematiche connesse alla qualità dei dati acquisiti, ulteriori incertezze di interpretazione possono essere causate dalla presenza di strutture non diagnosticabili per limiti intrinseci al metodo come: inversioni di velocità; livelli nascosti; marcate variazioni laterali sia di velocità, sia di giacitura dei sismo-strati; rifrazioni fuori piano (generate da strutture a lato della linea piuttosto che sotto).

Un'inversione di velocità è uno strato geologico con una velocità sismica inferiore a quella dello strato sovrastante. Lungo tale strato la rifrazione critica non avviene perché la velocità non aumenta. Se il livello non viene individuato la profondità degli strati sottostanti risulta sovrastimata.

Uno strato nascosto è invece un livello caratterizzato da incremento di velocità ma di spessore troppo modesto rispetto alle velocità degli strati soprastanti e sottostanti, tale che gli arrivi rifratti non raggiungono i geofoni prima di quelli dalla strato più profondo. Un tipico esempio si verifica laddove sedimenti saturi sovrastano un substrato veloce.

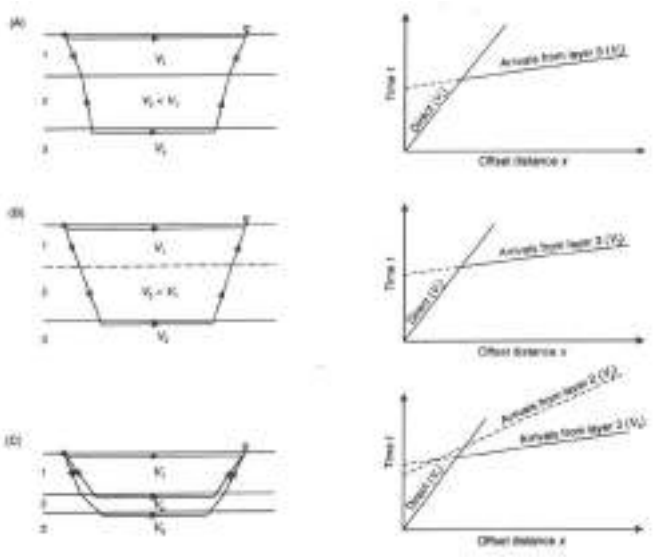


Fig. 5 Casi principali per cui i metodi tradizionali risultano poco o del tutto inefficaci: alto) inversione di velocità; medio) assenza di contrasto; basso) strato cieco. sx) modello sismo-stratigrafico di riferimento; dx) aspetto della dromocrona.

Quando invece la struttura di velocità del sottosuolo aumenta gradualmente in funzione della profondità piuttosto che per strati discreti, i metodi "classici" non sono lo strumento di analisi e la profondità dei rifrattori risulta sovra o sottostimata.

Analisi dettagliate del metodo sismico a rifrazione si possono trovare in Musgrave (1967), Redpath (1973), Palmer (1991).

Elaborazione tomografica

Metodi classici come Delay-Time o GRM assumono a priori l'esistenza di rifrattori geometrici semplificando in modo eccessivo la reale struttura di velocità del sottosuolo. Eterogeneità laterali, discontinuità, gradiente di velocità, si uniscono ai già citati strato cieco ed inversioni di velocità nel definire una realtà geologica più complessa rispetto agli strati a velocità interna costante. In particolare per gli studi a ridotta profondità, dove lo strato superficiale alterato costituisce una porzione importante dello spazio esplorato. Le più recenti tecniche di inversione tomografia hanno invece le potenzialità per superare i limiti dei metodi classici e risolvere queste sismo-strutture complesse che possono essere ad esempio osservate nelle transizioni tra roccia alterata verso roccia massiva del substrato. Ad esempio, sebbene il metodo sismico a rifrazione non possa modellare inversioni di velocità che siano continue sotto tutto lo stendimento, utilizzando tecniche di inversione tomografica è invece possibile identificare inversioni di velocità "localizzate".

La tomografia è uno strumento matematico applicato in vari campi, inclusa l'inversione di dati geofisici, in cui lo spazio indagato viene suddiviso in celle, ciascuna associata ad un valore di velocità. Il procedimento avviene attraverso una funzione obiettivo che ricerca il minor scarto tra il modello teorico di riferimento e i dati osservati.

A partire da un modello iniziale viene calcolato il percorsi dei raggi sismici (*ray-tracing*) per tutte le coppie sorgente-ricevitore disponibili, da cui vengono derivate le dromocrone teoriche. L'errore residuo tra tempi sperimentali e tempi teorici viene quindi minimizzato traverso un procedimento iterativo fino a valori ritenuti congrui. A differenza dei metodi tradizionali, non è necessario assegnare (soggettivamente) i rami delle *traveltimes* ai rifrattori. I metodi a strati in questo contesto vengono comunque impiegati per definire i *ranges* di variazione delle velocità nei modelli tomografici, che malgrado una maggiore capacità risolutiva degli aspetti geometrici, tendono invece a sottostimare e sovrastimare le velocità. Se non opportunamente vincolate le tecniche di inversione tomografica producono un modello con gradiente anche laddove esista un netto contrasto di impedenza.

Esistono in letteratura molti diversi approcci alla rifrazione tomografica, e molti programmi commerciali ciascuno con le proprie peculiarità. Nel lavoro in esame l'elaborazione tomografica è realizzata con il *software* RAYFRACT, versione 3.33, sviluppato da *Intelligent Resource Inc*.

In *Rayfract* il modello iniziale determinato dai tempi di primo arrivo utilizzando il metodo Delta-t-V, che assume un gradiente verticale costane oltre ad utilizzare il metodo *Common Mid Point* (CMP)in luogo del *common shot-point* per il calcolo delle velocità apparenti (Gebrande, 1986), viene

mediato in senso orizzontale (metodo di Herglotz-Wiechert) per ridurre l'incidenza di artefatti che si generano in caso di forti contrasti orizzontali, quindi iterativamente affinato mediante l'algoritmo di inversione tomografica *Wavepath Eikonal Traveltime* (Schuster, 1993), basato sulla modellazione dei percorsi di propagazione multipla di raggi sismici "*fat*" o Fresnell Volume (Watanabe, 1999), invece dei tradizionali raggi sismici. Tale algoritmo valuta inoltre le differenze tra onde rifratte, diffratte e trasmesse, di conseguenza le immagini delle anomalie vengono esaltate.

Infine, viene calcolata e restituita in forma grafica la copertura dei raggi sismici (*raypath coverage*) come funzione della profondità lungo tutto il profilo. Queste sezioni sono un ulteriore strumento diagnostico utile in particolare per identificare zone dalle scadenti proprietà geo-meccaniche solitamente evidenziate da aree a ridotta copertura, in quanto per natura sono zone a bassa velocità tendendo l'energia a concentrarsi più facilmente in settori a maggiore rigidità.

Modellazione tomografica vincolata

In fase di elaborazione viene comunque sempre valutata una soluzione a strati discreti attraverso il metodo più idoneo, scelto in base alle caratteristiche delle dromocrone. Rayfract dispone di tre diversi approcci: un metodo *wavefront* che costituisce una variante del GRM classico in cui il parametro XY non è costante ma può variare lungo la linea (Ali Ak, 1990), il classico *plus-minus* o il
metodo CMP *intercept time refraction* che consente la modellazione di velocità e spessori sotto ciascun ricevitore e punto sorgente, ma in caso di forti curvature del rifrattore può restituire valori di velocità non affidabili.

Un modello preliminare a strati consente una valutazione delle velocità e degli spessori prima di addentrarsi nel processo di inversione. In caso di rifrattori ben definiti e strati internamente omogenei, è possibile ottenere un risultato più fedele alle reali condizioni geologiche, utilizzando tale risultato preliminare per eseguire un'inversione vincolata. Solitamente il risultato è una sezione tomografica con gradienti molto accentuati in corrispondenza dei rifrattori precedentemente individuati, restando però possibile apprezzare variazioni di velocità interne agli strati e non solo lungo il rifrattore.

Per questi motivi, e senza trascurare la morfologia talvolta molto pronunciata, le *routine* di inversione tomografica sono ritenute la tecnica di modellazione dati più appropriata. Tuttavia in fase di elaborazione sono stati prodotti due modelli: uno tomografico libero, con gradiente di velocità, e l'altra impiegando come vincolo il rifrattore geometrico calcolato preliminarmente. Il confronto dei risultati e l'analisi incrociata con i dati geologici disponibili hanno infine guidato la scelta su quale fosse il risultato più robusto.

Indagini Geoelettriche (ERT)

Il metodo geoelettrico

Come per altri metodi d'indagine non invasivi, la finalità dei metodi geoelettrici è quella di ottenere informazioni sulla natura e struttura del sottosuolo attraverso una serie di misure effettuate in superficie. Il principio metodologico si basa sulla misura del campo elettrico indotto nel terreno con appositi dispositivi costituiti da due coppie di elettrodi infissi nel terreno (configurazione detta quadripolo). Nel quadripolo una coppia di elettrodi costituisce il circuito per l'induzione del campo elettrico nel terreno (dipolo di corrente: convenzionalmente elettrodi A e B), mentre l'altra coppia (dipolo di potenziale: M e N) rappresenta il circuito di misura della differenza di potenziale (ddp.) generata nel terreno dal passaggio della corrente stessa.

Tramite la legge di **Ohm** (modificata) è possibile risalire al valore di resistività (***ρ***) caratteristico dei materiali presenti. Infatti, qualora agli estremi di un conduttore venga applicata una differenza di potenziale ΔV, in esso passerà una corrente d'intensità I che è legata alla differenza di potenziale stessa (legge di Ohm):

$$\Delta V/I = R$$

dove R, resistenza elettrica,è funzione della natura e dalle caratteristiche geometriche del conduttore. Nei sopra citati metodi geoelettrici, la formulazione della legge di Ohm diventa:

$$\Delta V/I = \rho K$$

in cui: K è il coefficiente geometrico proprio del conduttore. Il valore della resistività dei materiali dipende essenzialmente dalle seguenti caratteristiche: grado di saturazione dei pori; porosità; presenza e composizione dei fluidi; temperatura; eventuale presenza di sostanze organiche (idrocarburi, solventi, ecc.); presenza di argilla; grado di compattazione. Ogni tipologia di terreno o corpo roccioso presenta un ampio campo di variazione dei propri valori di resistività (Fig. 6), che dipendono dal grado di omogeneità, dal livello di alterazione e, nel caso di rocce litoidi, dal grado di fratturazione. Un'eccezione a questa regola è costituita dalle argille che, anche quando compatte, hanno sempre valori di resistività estremamente modesti, dovuti alla presenza di cationi adsorbiti sulla superficie delle particelle di tale granulometria che offrono cammini addizionali per la corrente elettrica e quindi aumentano la conducibilità dei sedimenti. In tutte le condizioni, la presenza d'acqua svolge sempre un ruolo importante, tanto che, terreni sabbioso-limosi o ghiaioso-sabbiosi, se saturi, risultano sempre più conduttivi rispetto ai medesimi asciutti.
Per quanto sopra brevemente esposto, i metodi geoelettrici vengono applicati con successo come integrazione di indagini dirette per definire la natura dei terreni e/o litotipi nella ricostruzione di profili stratigrafici, e rappresentano un potente strumento d'indagine sempre più impiegato per la ricerca di: aree inquinate; cavità o presenza di corpi anomali; presenza di falde acquifere; siti archeologici; corpi di discarica; etc.

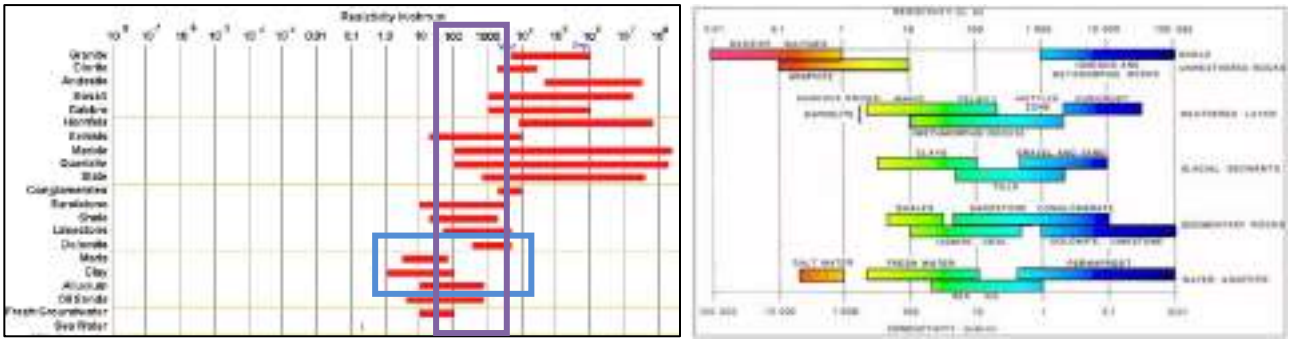


Fig. 6 Campi di variazione dei valori di resistività (sx; modificato da: Tutorial: 2-D and 3-D electrical imaging surveys. M. H. Loke (2004)) e conducibilità (dx) di sedimenti, rocce e alcuni minerali. Riquadro azzurro: materiali di possibile interesse per il lavoro in oggetto; riquadro viola: valori di resistivià rilevati.

Schema di acquisizione

I profili tomografici elettrici (ERT) si realizzano infiggendo un certo numero di elettrodi nel terreno, disposti in linea ed a passo costante. L'acquisizione dei dati viene gestita completamente dalla strumentazione, in grado di controllare automaticamente l'erogazione della corrente e di gestire stendimenti multi-elettrodo, vale a dire, regolare la commutazione dei dipoli, definendo di volta in volta quali sono gli elettrodi di misura e quelli di corrente, fino all'esecuzione di tutte le combinazioni possibili secondo i parametri impostati (*array*, livelli; *overlap*; alta definizione …). La posizione dei dipoli AB ed MN viene in pratica modificata continuamente, traslandoli lateralmente, per ottenere un'acquisizione di dati uniforme lungo tutta la linea di misura, ed allargandoli progressivamente e proporzionalmente per accrescere la profondità da investigare.

Per il lavoro in esame è stata adottato un approccio multi *array*. Per ciascuna linea sono state eseguite sequenze tipo wenner e dipolo-dipolo, combinate poi in fase di *pre-processing* in un unico dataset.

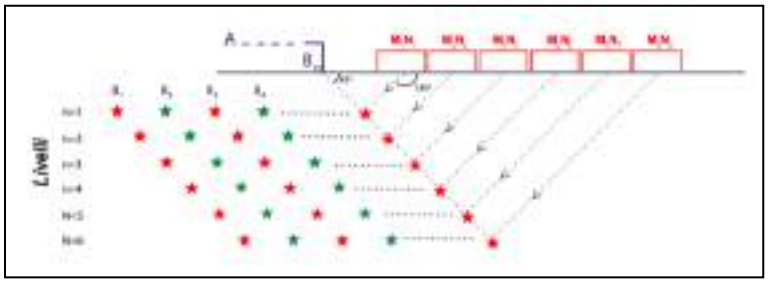


Fig. 7 Convenzione adottata per la collocazione delle misure di rho apparente ottenute mediante configurazione polo-dipolo. Il georesistivimetro multicanale Syscal Pro può eseguire fino a 10 misure di Vp per ciascuna iniezione di corrente, riducendo enormemente i tempi di acquisizione.

Processing

L'elaborazione dei dati e la restituzione dei profili tomografici bidimensionali di resistività vengono eseguiti con il *software* dedicato "Res2DInv", nella versione 4.07.12, prodotto da GEOTOMO SOFTWARE. Per la progettazione, acquisizione ed elaborazione di modelli 3D viene invece utilizzato il *software* "*ERTLab*", prodotto da GEOSTUDI ASTIER.

La realizzazione di una sezione tomografica, o di un modello 3D, ha inizio dalla definizione del modello di resistività rappresentato da una sezione (o volume) composta da celle rettangolari, in quantità proporzionale al numero di picchetti utilizzati, cui si associano i valori di resistività misurati (pseudosezione di resistività apparente). Grazie ad appositi algoritmi di calcolo è possibile eseguire dei processi iterativi (inversione) che tendono a ridurre le discrepanze tra la resistività apparenti calcolate e quelle misurate, fino al raggiungimento di una "convergenza" soddisfacente tra il modello sintetico (resistività calcolata) e quello sperimentale (resistività apparente).

L'elaborazione dei dati registrati (*processing*), segue solitamente lo schema seguente: 1) *editing* per l'individuazione e rimozione dei valori caratterizzati da un errore elevato (deviazione *standard* <1-2%); 2) ricostruzione della sezione di pseudoresistività apparente misurata; 3) definizione delle dimensioni della griglia da utilizzare per l'inversione; 4) inversione numerica e ricostruzione della sezione di resistività tramite iterazioni successive condotte sulla base del confronto delle pseudosezioni di resistività misurata e calcolata. Il prodotto del *processing* è il "modello elettro-stratigrafico", ovvero una rappresentazione del sottosuolo basata sull'interpretazione di profili 2D o modelli 3D di resistività ottenuti per inversione di misure di resistività apparente (i dati di campo). Ai vari elettro-strati è associabile un significato geologico-stratigrafico sulla base delle evidenze apprezzabili in affioramento, delle condizioni geomorfologiche locali e dal raffronto con i dati a disposizione. Negli elaborati presentati più avanti l'identificazione dei vari strati o di altri elementi è facilitata dall'impiego della seguente scala cromatica utilizzata per la rappresentazione dei valori di resistività elettrica.



Fig. 8 Scala cromatica utilizzata per la rappresentazione della resistività dei terreni e rocce.

Tradurre questo modello elettro-stratigrafico in un modello geologico non è quasi mai banale, spesso anche quando si dispone di indagini dirette di taratura, a causa della non univocità della soluzione nel processo di inversione. Inoltre i terreni/litotipi possono abbracciare *ranges* di resistività spesso ampi, e in molti casi sovrapponibili (Fig. 6). A questo vanno eventualmente aggiunte le condizioni locali come ad esempio la presenza d'acqua, per complicare ulteriormente il lavoro di interpretazione. Tuttavia, attraverso il corretto inquadramento del contesto geologico e l'integrazione con tutte le informazioni a disposizione, la distribuzione della resistività offre la possibilità di integrare aspetti fondamentali nei modelli geologici quali le condizioni idrogeologiche, il grado di alterazione, la presenza di minerali argillosi, etc…. risultando in alcuni casi uno strumento non sostituibile con altre tecniche geofisiche.

Strumentazione e specifiche tecniche

Per l'esecuzione di campagne di acquisizione di dati geoelettrici, **First Break** dispone di un georesistivimetro **Syscal Pro** multicanale, nella versione a 48 elettrodi, prodotto in Francia da IRIS *Instruments*.

Si tratta di uno strumento solido e versatile che utilizzando cavi multi-connettore consente di eseguire misure di resistività e polarizzazione indotta in superficie (statiche e continue), in foro, ed in acqua. Le sequenze di acquisizione pre-caricate vengono eseguite in modalità automatica e le misure registrate su una memoria interna capace di contenere fino a 40.000 dati. L'architettura multicanale consente l'acquisizione contemporanea di 10 misure ottimizzando così i tempi di permanenza in campo.

I sistemi di trasmissione (max 800V; 2.5A, risoluzione 0.2%) e ricezione (max 15V, risoluzione 0.2%) alloggiano insieme alle batterie di alimentazione (12V, 7 Ah) in un unico *box* a tenuta d'acqua, per un peso complessivo di 15 kg. L'autonomia della strumentazione può essere prolungata con alimentazione esterna fornita da comuni batterie da 12V.

In fase di acquisizione, lo strumento **Syscal Pro** esegue la continua ed automatica compensazione del potenziale spontaneo, caratteristica fondamentale, specie nei casi, non rari, in cui tale valore può eccedere la decina di mVolts. La strumentazione di campagna per l'esecuzione di misure di resistività è completata da:

- *Switch Pro 48 elettrodi, per estendere il sistema fino a 96 elettrodi;*
- *n°5cavi multitraccia da 24 take-out, spaziatura 5.0 m;*
- *n°2 filo elettrico a cavo singolo, sez. 1 mm2, L 500 m, per misure con polo remoto;*
- *n°2 prolunga L 120.0 m;*
- *n° 120 picchetti in acciaio, L 300 mm, Ø 14 mm;*
- *mazzette da 1 kg per infissione picchetti in terreni di copertura;*
- *computer portatile per gestione sequenze di acquisizione, scarico e screening preliminare.*

Risultati indagini (*a cura del Dott. Geol. Doriano Caputo*)

L'area in oggetto è stata investigata mediante profili sismici in onde di compressione di cui si riporta, a titolo di esempio, una selezione dei dati acquisiti e le relative *traveltimes* risultanti dal *picking* dei primi arrivi rifratti (Fig. 9, Fig. 12). Il risultato finale è costituito da sezioni tomografiche di velocità (Fig. 11), una per profilo, presentate nel testo e in allegato in forma di tavole grafiche corredate di informazioni e commenti. Negli elaborati l'identificazione dei vari sismo-strati è facilitata dall'impiego di scale cromatiche utilizzate per la rappresentazione dei valori di velocità.

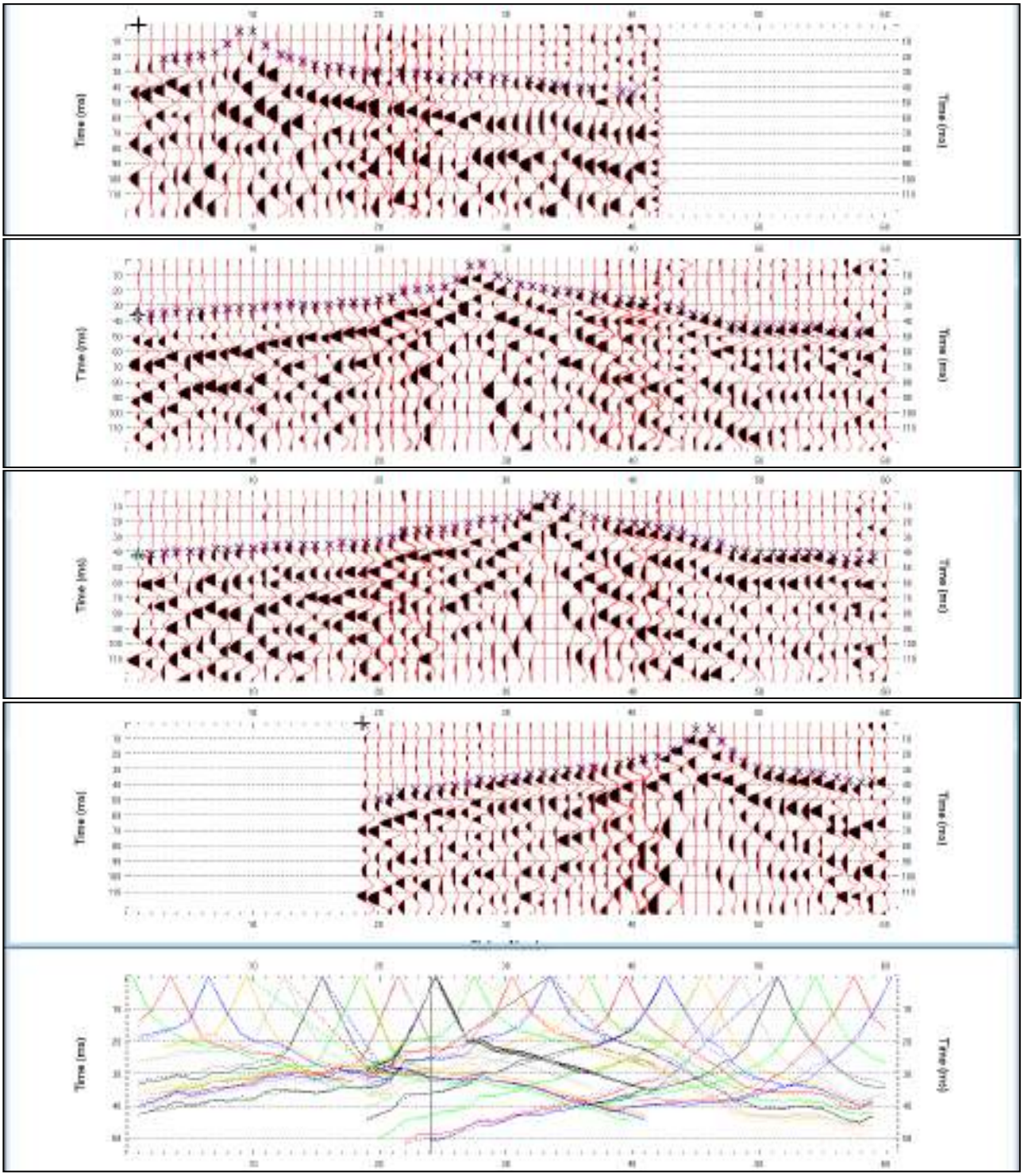


Fig. 9 Linea 1, esempi di *Common shot gathers* (60 canali), ottenuti con tecnica *roll-along* (n°3 basi da 24 geofoni consecutive, disposte con sovrapposizione del 25%, 6 geofoni, con tiri interni ogni 3 ricevitori e tiri esterni fino a 9 station numbers oltre gli estremi), in onde di compressione (P) e relative traveltimes (TT colorate=picking; TT tratteggio nero=sintetiche): dall'alto in basso *shot positions* 9.5; 27.5; 33.5; 45.5.

I risultati raggiunti con la campagna d'indagine portata a compimento mettono in evidenza un assetto piuttosto complesso in termini di geometrie sepolte e struttura di velocità. Dall'analisi delle sezioni tomografiche (Fig. 10e Fig. 11), è possibile delineare un modello semplificato in cui sostanzialmente risultano evidenti i seguenti elementi sismo-stratigrafici:

- terreni di copertura, naturali o rimaneggiati, poco addensati, drenati, Vp<500m/s;
- terreni di copertura, naturali o rimaneggiati, potenzialmente saturi , Vp 600÷1500m/s;
- *bedrock* dolomitico da fratturato a moderatamente fratturato, Vp 1200÷2500m/s;
- *bedrock* dolomitico da debolmente fratturato a massivo, Vp >2500m/s.

Si ricorda che il metodo tomografico lavora per transizioni e non per discontinuità, pertanto sono i settori a forte gradiente (repentino aumento di velocità, isotache più ravvicinate), piuttosto che un singolo valore di velocità ad identificare i passaggi tra i vari elementi sismo-stratigrafici. I valori estremi degli intervalli di velocità attribuiti ai sismo-strati identificati sono quindi da assumere come indicativi, soprattutto dove il gradiente di velocità è poco marcato ed i passaggi tra i sismo-strati risultano più sfumati.

A causa delle forti piogge della stagione invernale, al momento dell'acquisizione dati per Linea 1 era presente un'ampia zona di saturazione superficiale e certamente anche sotterranea, nel tratto compreso tra i ricevitori 29 e 44. Per Linea 2 e Linea 3 invece l'acquisizione dati si è svolta successivamente alla realizzazione di opere provvisorie per la regimazione delle acque meteoriche, le condizioni a piano campagna risultavano pertanto migliori, senza ruscellamento evidente. A causa della sovrapposizione nei campi di velocità tra terreni di copertura e/o porzione sommitale alterata/disgregata del *bedrock* saturi d'acqua (Vp≈1400-1600m/s), e la roccia carbonatica non ancora massiva Vp≈1200-2000m/s, esiste un certo margine di indeterminatezza tra il limite delle coperture e le rocce del substrato.

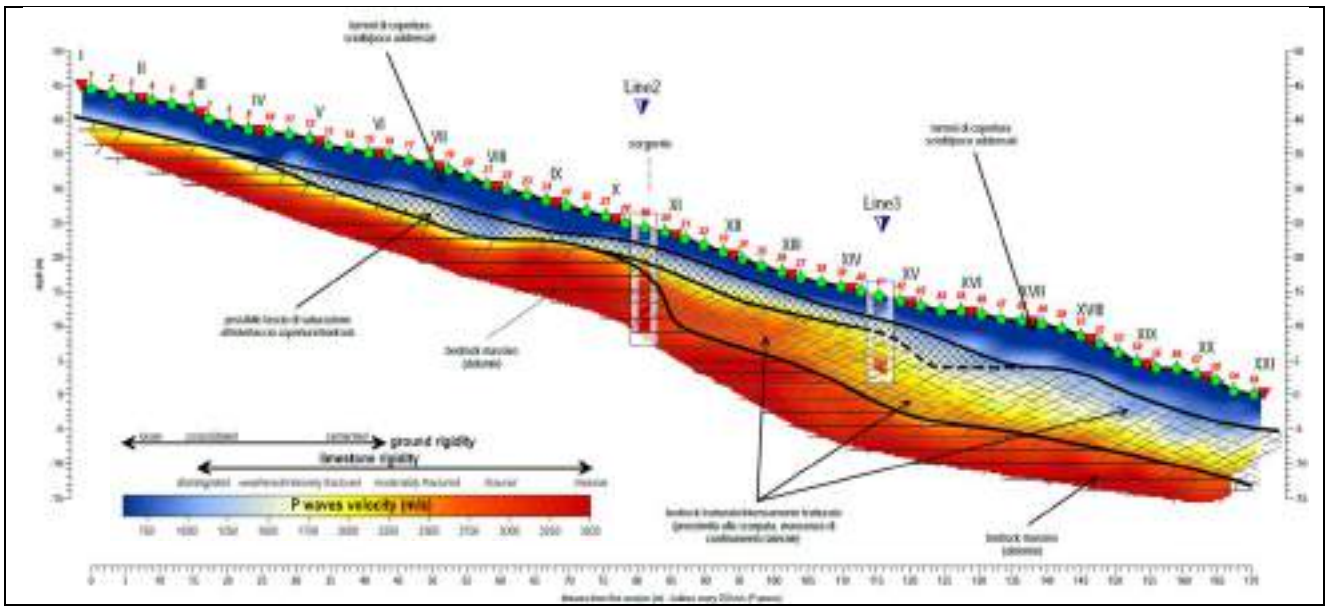


Fig. 10 Linea 1 - Sezione tomografica interpretata e relativa scala cromatica utilizzata nei tomogrammi per la rappresentazione della velocità delle onde compressive dei terreni. Per un agevole riscontro della coerenza dei risultati, nei punti di incrocio sono sovrapposte le porzioni corrispondenti delle due linee trasversali da cui risulta come le sezioni sismiche ottenute risultino sia concordanti dal punto di vista delle geometrie descritte, sia congruenti dal punto di vista delle velocità. Il *layering* interpretativo è il risultato di un'analisi congiunta delle velocità delle onde sismiche compressive e della resistività. Velocità espresse in m/s.

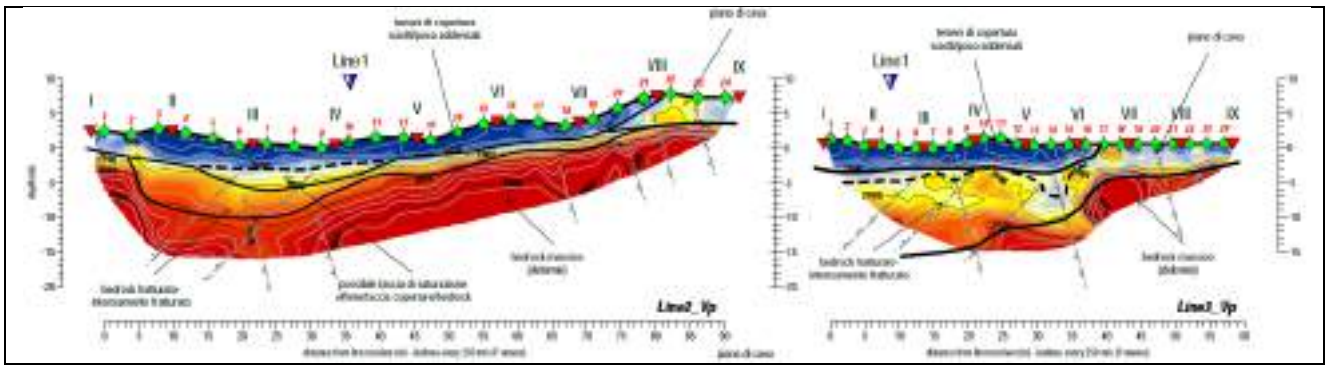


Fig. 11 Linea 2 e 3 - Sezioni tomografiche interpretate. Velocità espresse in m/s.

In definitiva la struttura di velocità evidenzia la presenza di materiali di copertura poco addensati lungo l'intero sviluppo di linea 1, con spessori variabili tra 4 ed 8m. Nella porzione superiore e mediana dell'area indagata tali materiali poggiano direttamente su un *bedrock* molto rigido, mentre più a valle (indicativamente oltre l'intersezione con Linea 2), si interppone una fascia di spessore non trascurabile in cui le Vp, sebbene già sostenute (>1800m/s), crescono con un gradiente molto blando che torna significativo solo oltre le isotache 2600-2800m/s. Tale evidenza, unitamente alla

presenza nelle tomografie trasversali di Linea 2 e Linea 3 (Fig. 11), di anomalie di velocità con andamenti sub-verticali che non coinvolgono le coltri di copertura e ragionevolmente interpretabili come manifestazione di sistemi di fratturazione importanti nell'ammasso roccioso, portano ad interpretale tale andamento come caratterizzante una porzione di *bedrock* avente condizioni geomeccaniche più scadenti.

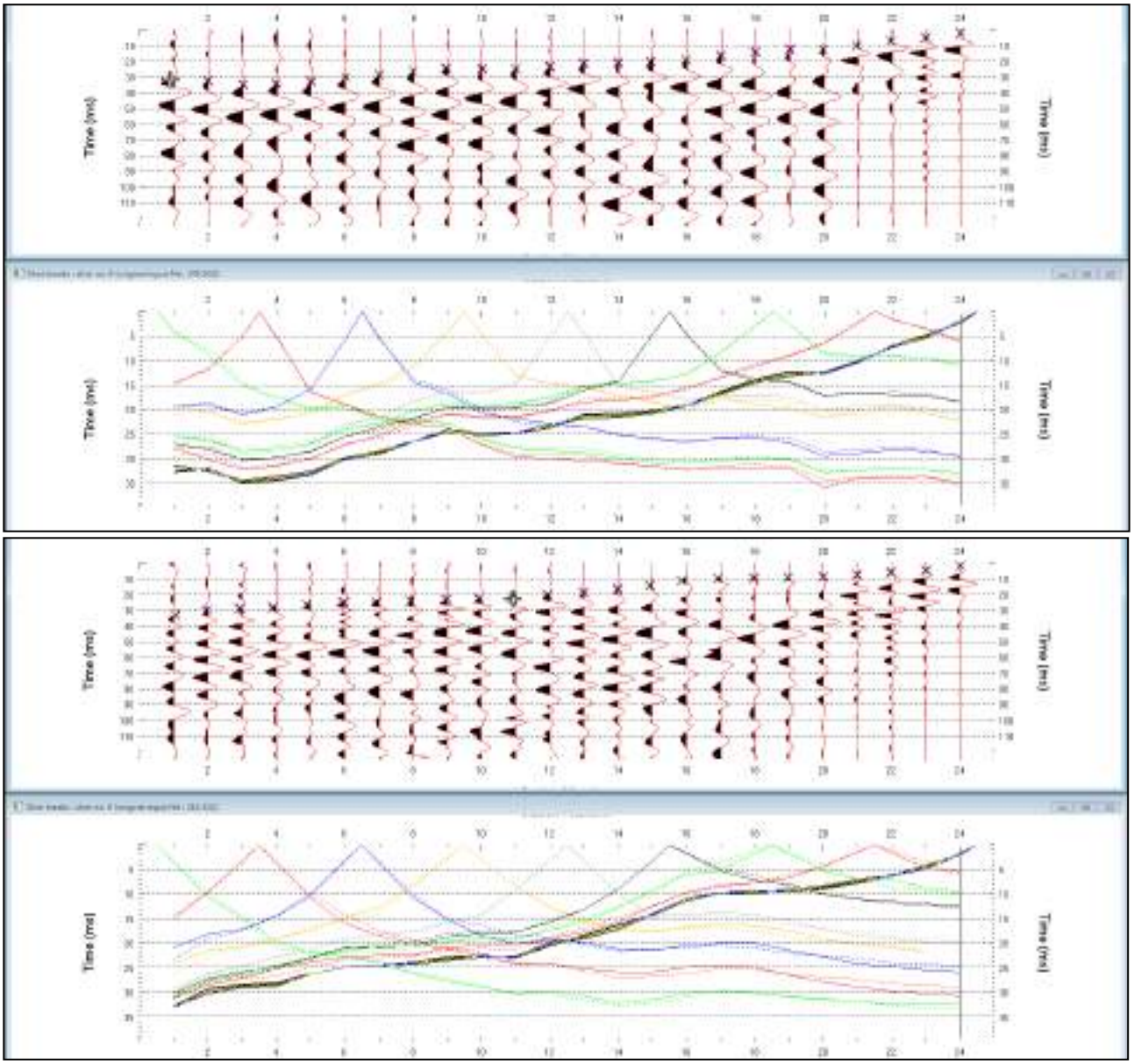


Fig. 12 *Common shot gathers* e t*ravelitmes*: alto) linea 2, *shot position* 24.5; basso) linea 3, *shot position* 24.5.

L'area in oggetto è stata inoltre investigata mediante profili resistività di cui anche in questo caso si riporta, a titolo di esempio, una selezione dei dati e le relative pseudosezioni di resistività elettrica (Fig. 13). Il risultato finale è costituito da sezioni tomografiche di resistività (Fig. 14), una per profilo, presentate nel testo e in allegato in forma di tavole grafiche corredate di informazioni e commenti. Negli elaborati l'identificazione dei vari elettro-strati è ancora una volta facilitata dall'impiego di scale cromatiche utilizzate per la rappresentazione dei valori caratterisitici.

Il metodo delle resistività elettrica è stato applicato sulle due linee trasversali (Fig. 14), e fornisce ulteriori indicazioni circa la presenza d'acqua nel sottosuolo.

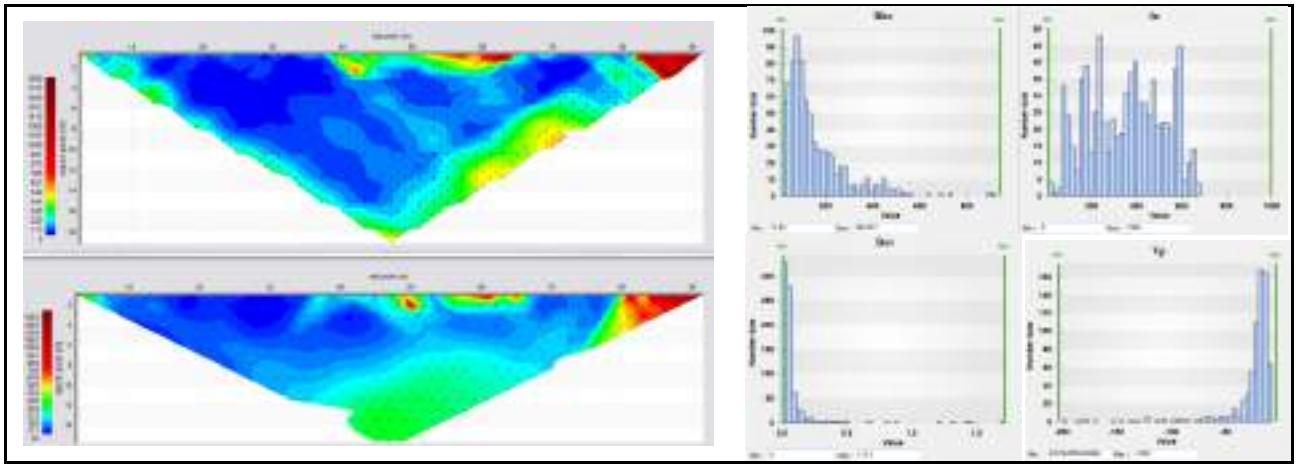


Fig. 13 sx) pseudosezioni (sezioni di resistività apparente), per le sequenze Dipolo-Dipolo (alto) e Wenner (basso). Le misure di campagna risultano di buona qualità, con livello di rumore contenuto (come risulta anche dalla graduale variazione dei valori). dx) Istogrammi dei principali parametri di acquisizione per la sequenza dipolo-dipolo. *Dataset* parzialmente filtrato. Da sx in senso orario: resistività apparente; intensità agli elettrodi A-B; caricabilità; deviazione standard per punto di misura.

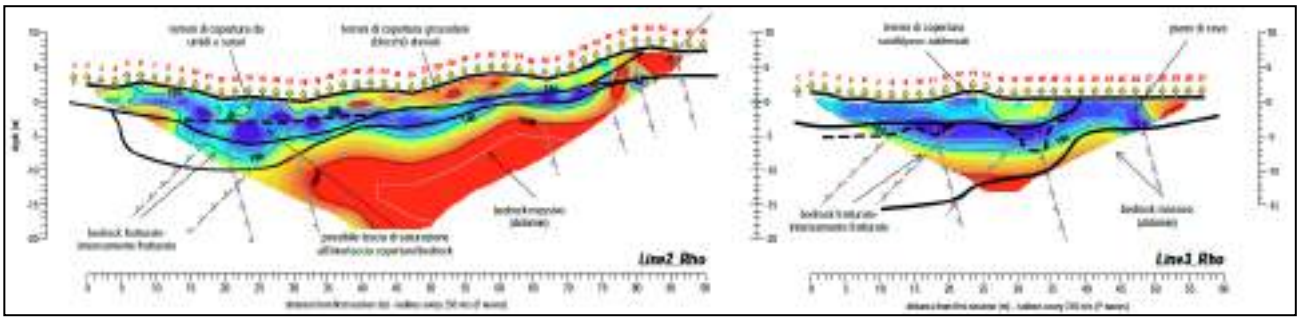


Fig. 14 Sezioni tomografiche di resistività con *layering* interpretativo. Sx) Linea 2; dx) Linea 3. Particolarmente in Linea 2 che ha una maggiore profondità di penetrazione risultano piuttosto evidenti i tre livelli a comportamento elettrico differente.

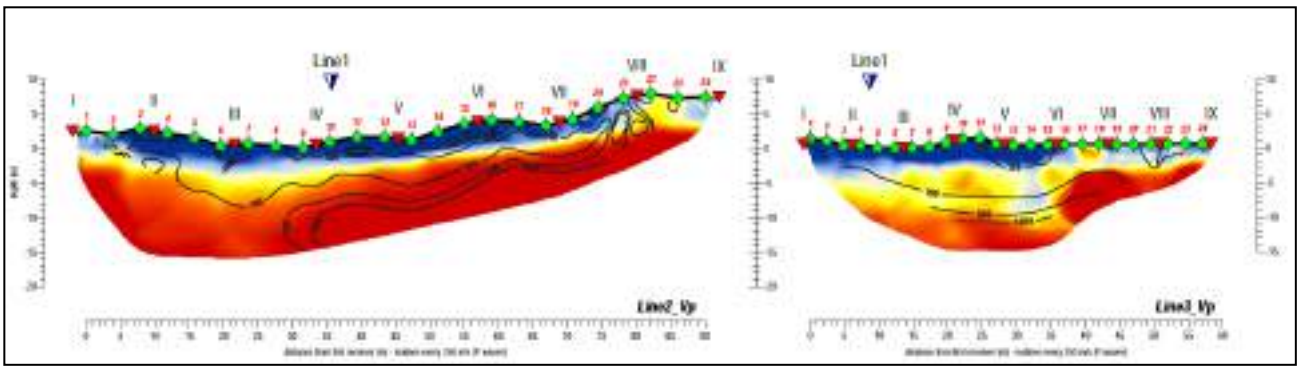


Fig. 15 *Overlay* del *contouring* di resistività sulla rifrazione tomografica in onde P. Sx) Linea 2; dx) Linea 3.

Dal punto di vista del comportamento elettrico Linea 2, con maggiore sviluppo lineare e quindi maggiore penetrazione in profodità, individua un corpo profondo di notevole resistività (rho>600Ωm), che come confermato dalle Vp (Fig.15), è chiaramente riconducibile alle dolomie massive del substrato. In questo trovano corrispondenza le anomalie di velocità correlate con sistemi di debolezza nell'ammasso roccioso (Fig.15).

Gli elementi resistivi superficiali coincidono invece con: un accumulo di blocchi ben evidente già a piano campagna tra gli elettrodi 17 e 33 e; con il piano di cava oltre l'elettrodo 41 fino a fine linea.

Interposto tra questi due elementi, un esteso corpo basso resistivo ben riconoscibile anche in Linea 3 (rho<100Ωm), continuo su tutta la linea ed affiorante tra gli elettrodi 6-17 (zona interessata da esteso ruscellamento superficiale nei giorni precedenti le attività di indagine). Essendo poco poco plausibile ipotizzare la presenza di uno strato francamente argilloso (terreni a piano campagna prevalentemente limo-sabbiosi debolmente argillosi), tale elettro-strato è ragionevolmente da mettersi in relazione con una non trascurabile presenza d'acqua, soprattutto dove si raggiungono i più bassi valori di resistività (rho<10Ωm) e contemporaneamente Vp dell'ordine di 1400-1600m/s.

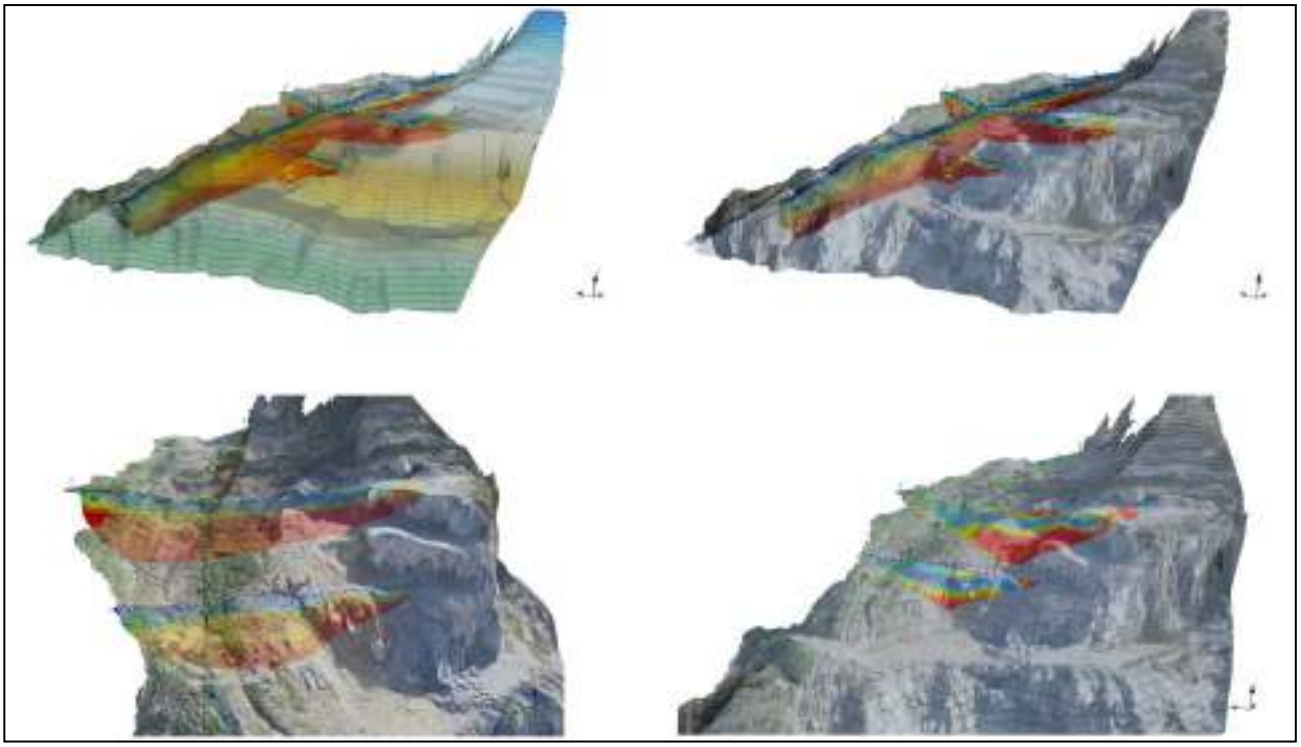


Fig. 16 Viste 3D delle sezioni tomografiche georeferenziate. Modello digitale del terreno e ortofoto fornito dalla Comittenza. Da alto-sx in senso orario: linee sismiche a rifrazione, vista da SW; linee sismiche a rifrazione, modello del terreno con drappeggio ortofoto, vista da SW; tomografie di resistività elettrica, vista da WSW; tomografie sismiche Linea 2 e Linea 3, vista da W. Scale cromatiche come illustrate nel testo e adottate nelle tavole illustrative.

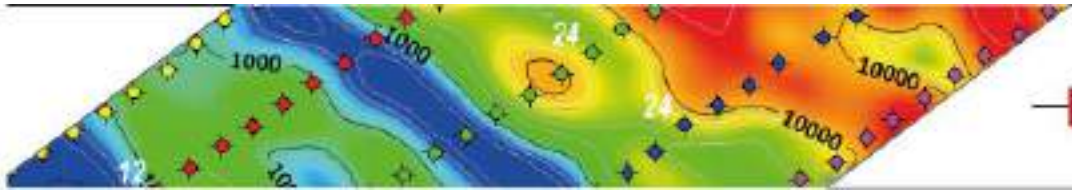
Il tecnico Dott. Geol. Doriano Caputo

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



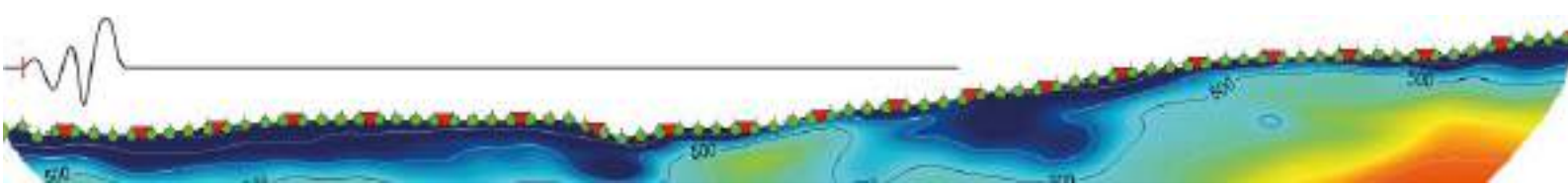
Fig. 17 Indagini sismiche a rifrazione SRT; in alto) Linea 1 SRT parte alta e mediana; centro) Linea 1 SRT parte bassa; Linea 2 ERT; basso) Linea 2 SRT porzione centrale;. Linea 3 ERT porzione iniziale

16



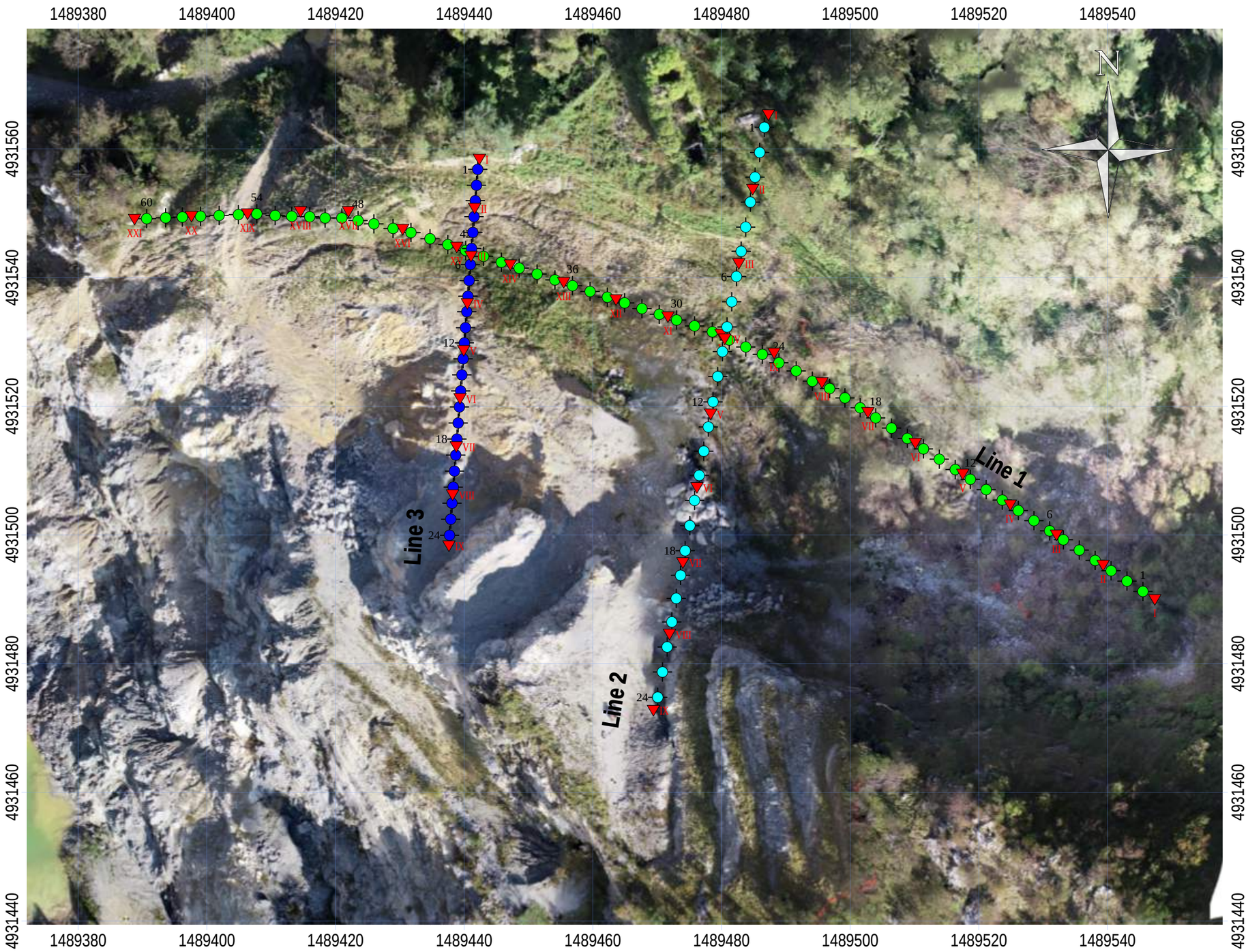
ALLEGATI

1) Ubicazione linee sismiche
2) Ubicazione linee geoelettrica
3) Tomografia Sismica a Rifrazione Onde P – Linea1
4) Linee 2 e 3 Tomografia sismica ed elettrica



CAMPAGNA DI INDAGINI GEOFISICHE - UBICAZIONE INDAGINI

Cava Grandi, Loc. Campomorone (GE)



first break
Advanced Geophysical Services
e.mail luigi@near-surface.com - p.e.c. luigi@pec.near-surface.com - Mob: +39.320.8547970

Commessa: *004-21L_Cava_Campomorone*
Committente: **Grandi Calcestruzzi S.a.s**

Sito: *CAVE GRANDI*
Oggetto: INDAGINI SISMICHE E GEOELETTRICHE PER LA VALUTAZIONE DEGLI SPESSORI DELLE COLTRI DI COPERTURA



Legenda

- *Geofoni linea 1*
- *Geofoni linea 2*
- *Geofoni linea 3*
- elettrodi
- *punti di scoppio*

Sistema di coordinate: *projection: UTM;*
datum: WGS84_zone 32N
coordinates: m

Scala 1:650

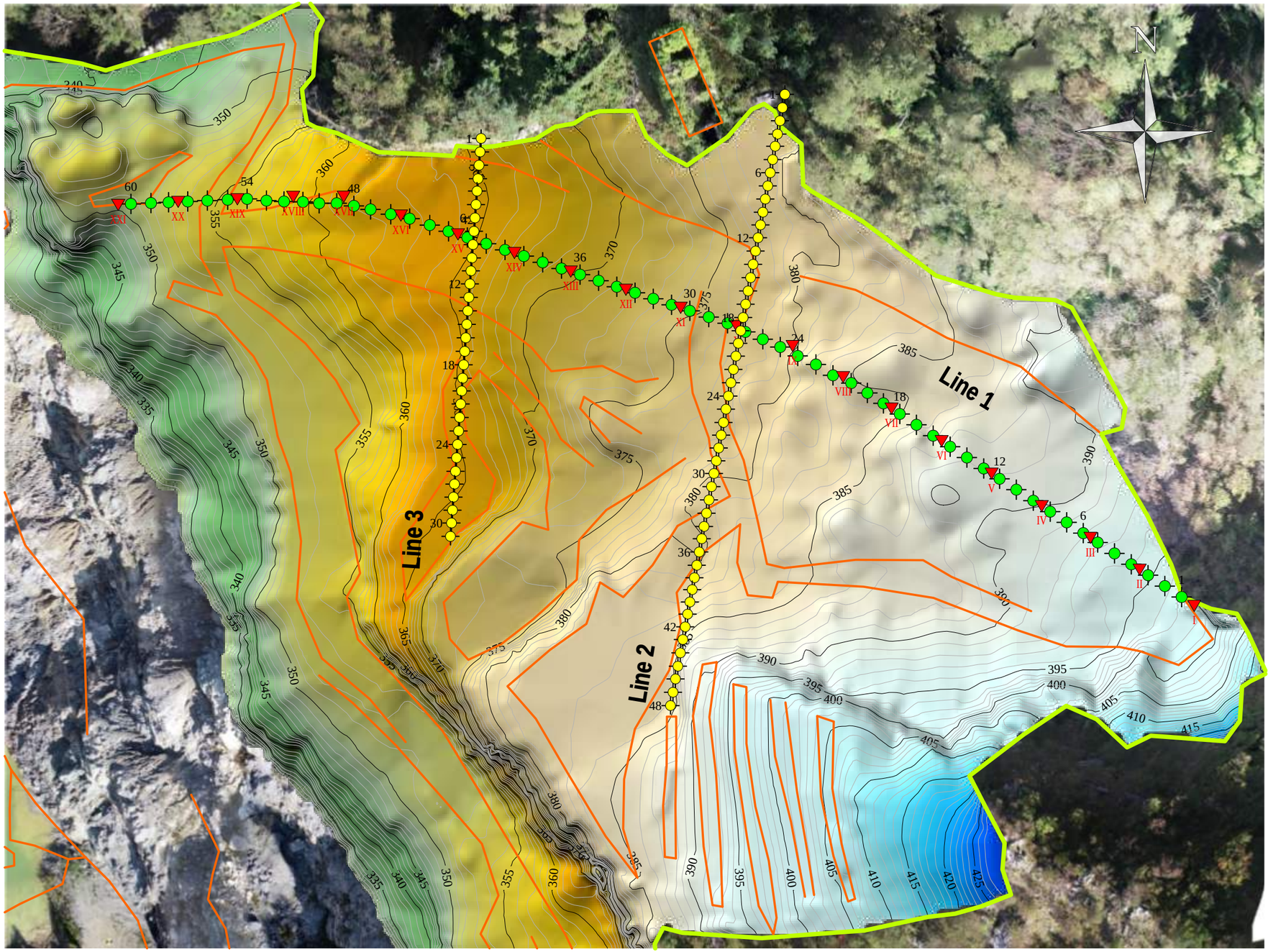
0 10 20 30 40



Ubicazione sito

CAMPAGNA DI INDAGINI GEOFISICHE - UBICAZIONE INDAGINI

Cava Grandi, Loc. Campomorone (GE)



first break
Advanced Geophysical Services
e.mail luigi@near-surface.com - p.e.c. luigi@pec.near-surface.com - Mob: +39.320.8547970

Commessa: *004-21L_Cava_Campomorone*
Committente: **Grandi Calcestruzzi S.a.s**

Sito: *CAVE GRANDI*
Oggetto: INDAGINI SISMICHE E GEOELETTRICHE PER LA VALUTAZIONE DEGLI SPESSORI DELLE COLTRI DI COPERTURA



Legenda

- *Geofoni linea 1*
- *Geofoni linea 2*
- *Geofoni linea 3*
- elettrodi
- *punti di scoppio*

Sistema di coordinate: *projection: UTM;*
datum: WGS84_zone 32N
coordinates: m

Scala 1:650

0 10 20 30 40

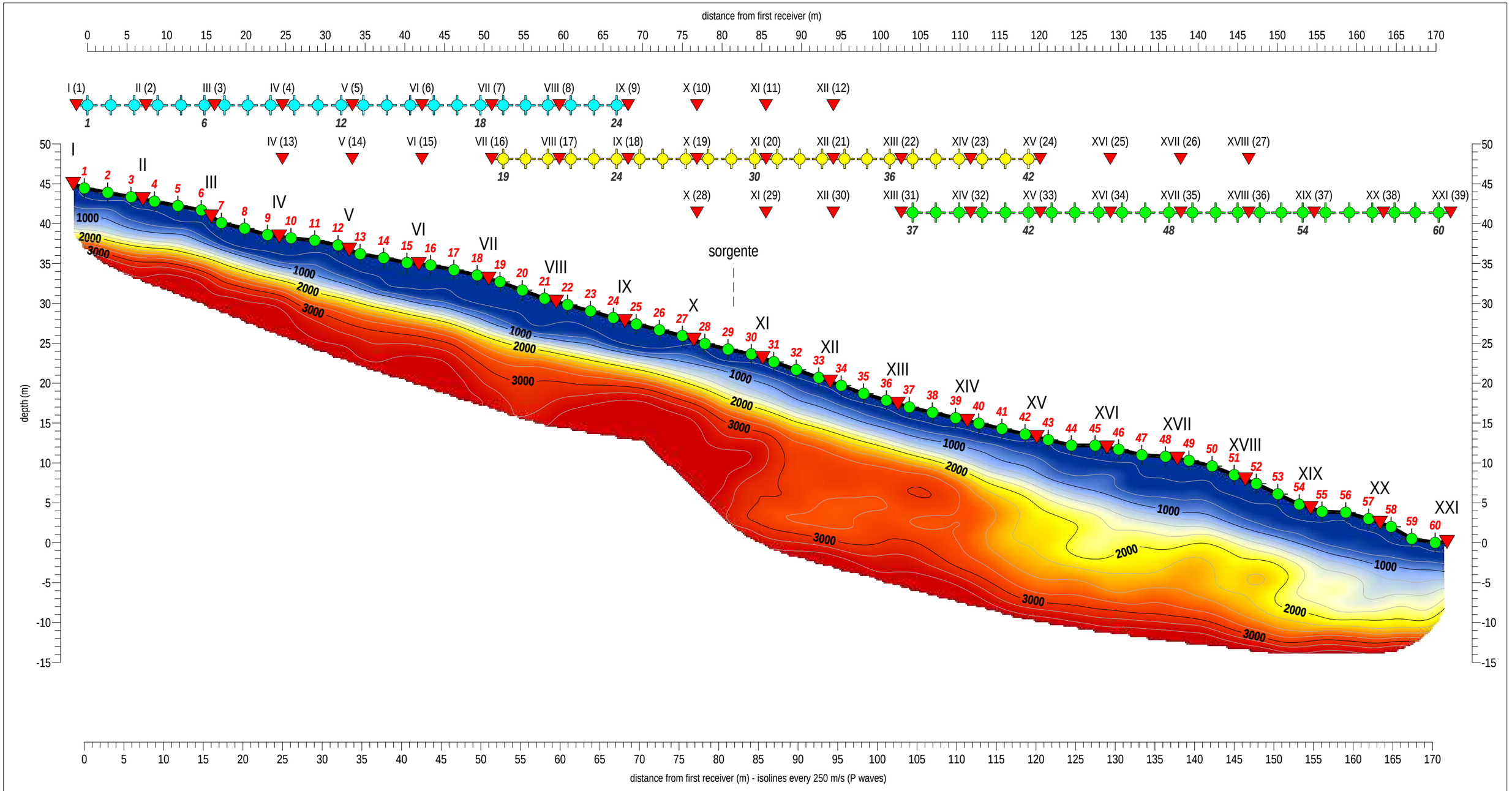


Line1
SRT_P_waves

SEISMIC REFRACTION (SRT) TOMOGRAPHY

Cava Grandi, Loc. Campomorone (GE)

first break
Advanced Geophysical Services



Order informations

Customer:	**Grandi Calcestruzzi S.a.s.**
Requested from:	*Dott. Geol. Luca Piaggi*
Order num:	*Off/LA/04-2021*
Job reference:	*Cava Grandi_Campomorone*
Data acquisition:	*12 Febbraio 2021 _ Dott. Geol. Luigi Allacorta*
Data processing:	*15 Febbraio 2021 _ Dott. Luigi Allacorta*
Graphic table redaction:	*16 Febbraio 2021 _ Dott. Luigi Allacorta*

Technical features

P_waves

instrument:	*DAQLink III s.n.1132*
channels:	*60*
geophones/electrodes:	*vertical, 4.5Hz*
geop./electr.s distance:	*x = 3.0m*
shots position:	*21*
acquisition software:	*VScope 2.59*
processing software:	*Rayfract, vers. 4.01*
sequences:	*-*

Chromatic scales

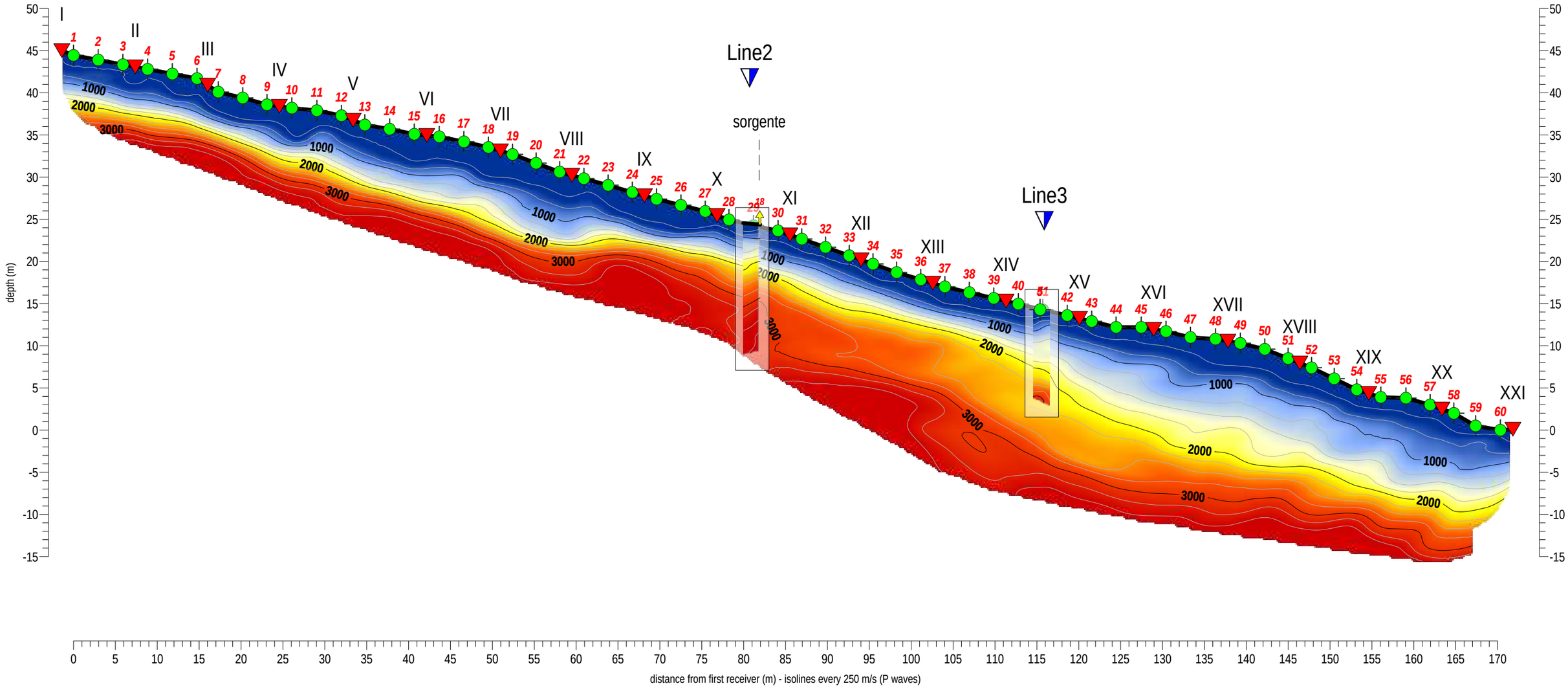
P waves velocity (m/s)

750 1000 1250 1500 1750 2000 2250 2500 2750 3000 3250 3500

Legend

- *Geophones*
- *Shots position*
- *refractor with classic methods (wavefront or plus-minus)*
- *Log Vs from MASW*
- *Other seismic line*
- *Core drilling*
- *-*

Line1 *SRT_P_waves*	**SEISMIC REFRACTION (SRT) TOMOGRAPHY** *Cava Grandi, Loc. Campomorone (GE)*	first break Advanced Geophysical Services



Order informations

Customer:	**Grandi Calcestruzzi S.a.s.**
Requested from:	*Dott. Geol. Luca Piaggi*
Order num:	*Off/LA/04-2021*
Job reference:	*Cava Grandi_Campomorone*
Data acquisition:	*12 Febbraio 2021 _ Dott. Luigi Allacorta*
Data processing:	*15 Febbraio 2021 _ Dott. Luigi Allacorta*
Graphic table redaction:	*16 Febbraio 2021 _ Dott. Luigi Allacorta*

Technical features

	P_waves
instrument:	*DAQLink III s.n.1132*
channels:	*60*
geophones/electrodes:	*vertical, 4.5Hz*
geop./electr.s distance:	*x = 3.0m*
shots position:	*21*
acquisition software:	*VScope 2.59*
processing software:	*Rayfract, vers. 4.01*
sequences:	*-*

Chromatic scales

P waves velocity (m/s)

750 1000 1250 1500 1750 2000 2250 2500 2750 3000 3250 3500

Legend

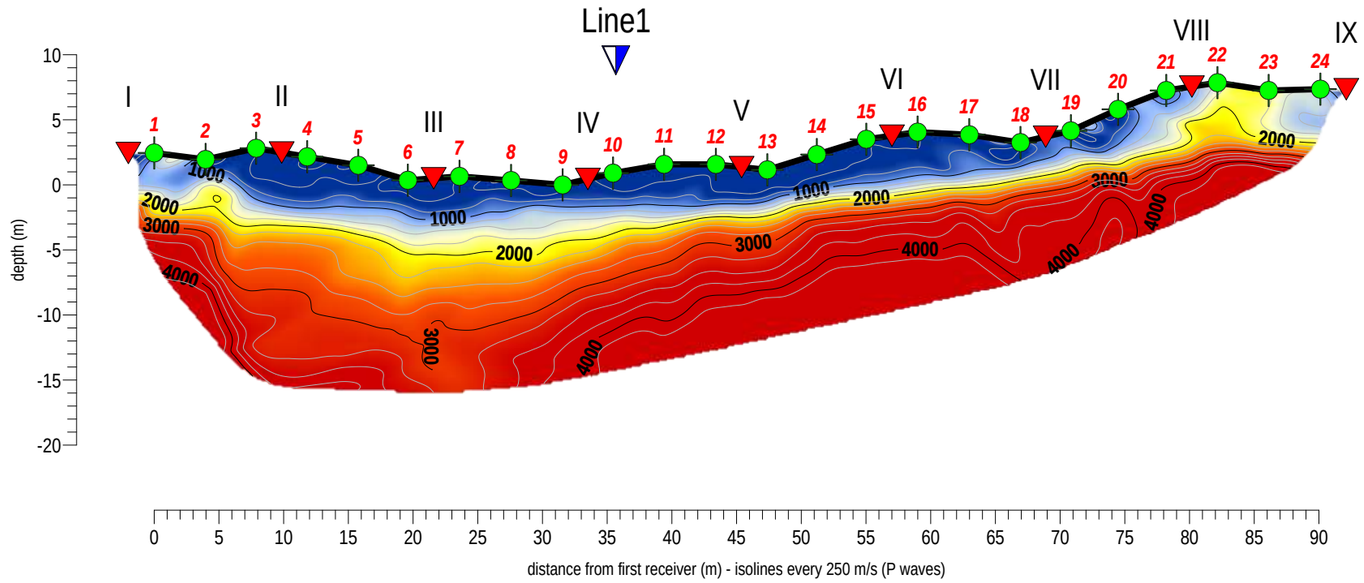
- *Geophones*
- *Shots position*
- *refractor with classic methods (wavefront or plus-minus)*
- *Log Vs from MASW*
- *Other seismic line*
- *Core drilling*
- *-*

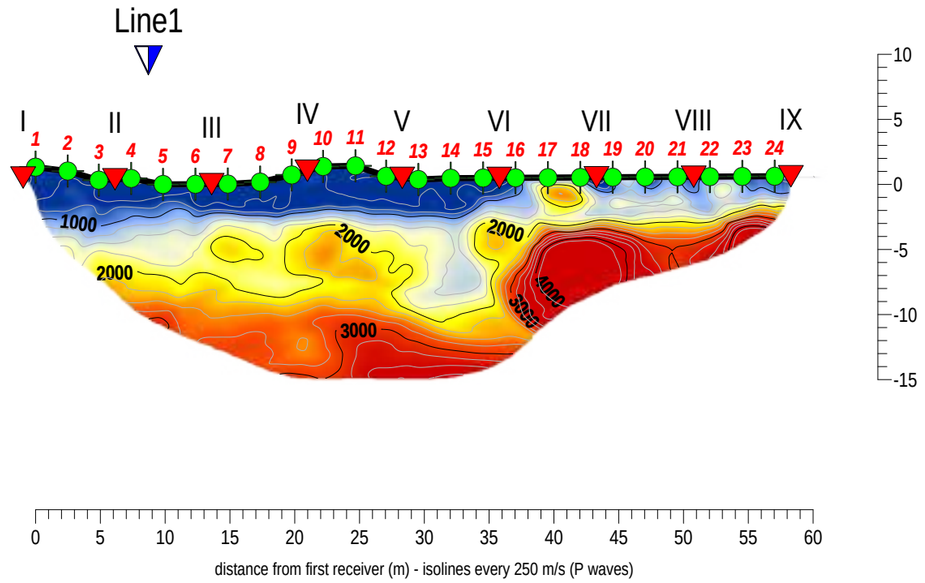
Line2+Line3
SRT_P_waves and ERT

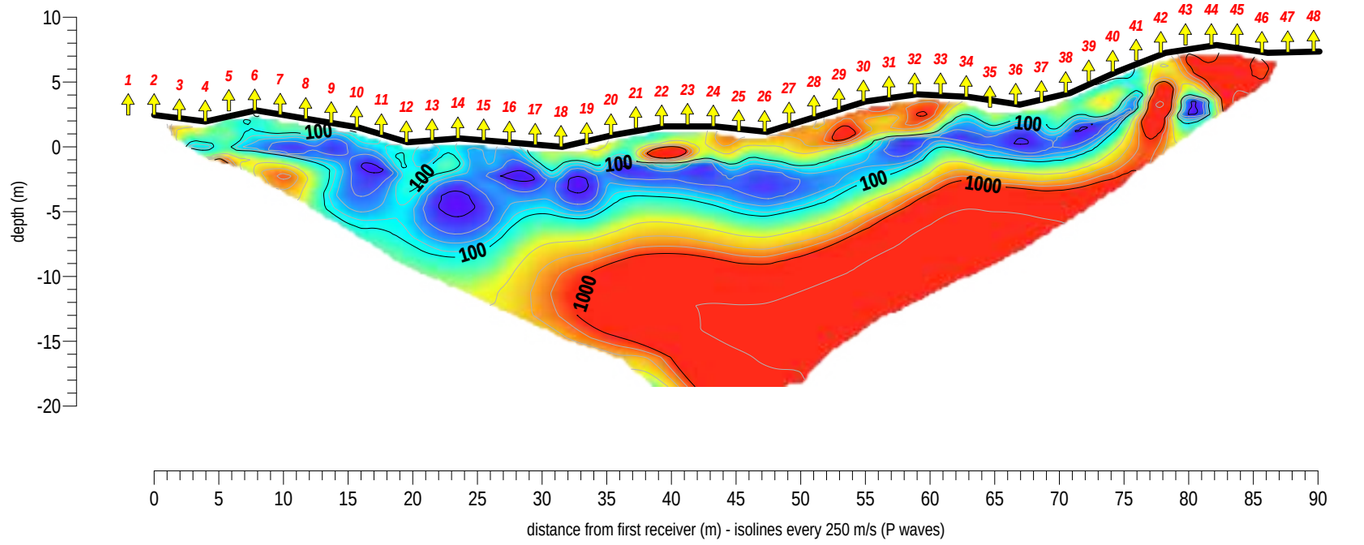
SEISMIC REFRACTION (SRT) TOMOGRAPHY

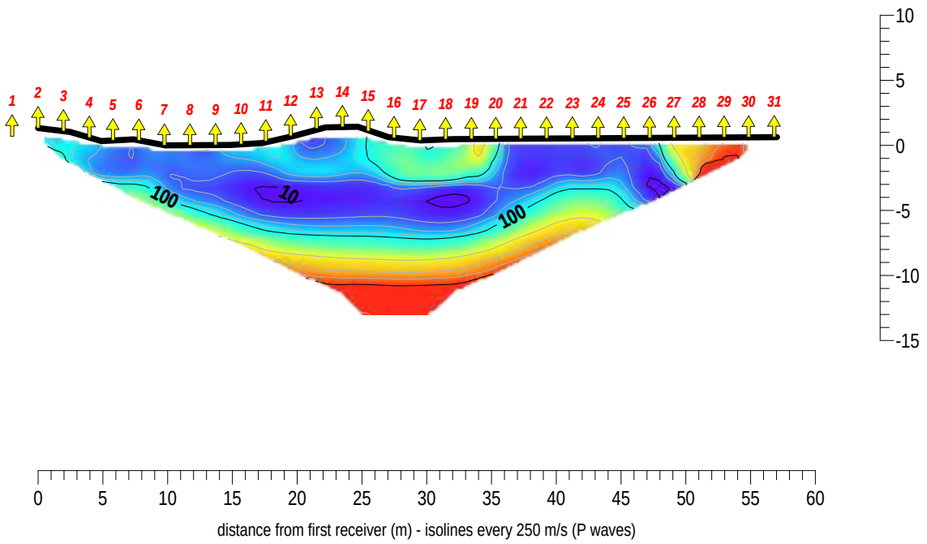
Cava Grandi, Loc. Campomorone (GE)

first break
Advanced Geophysical Services









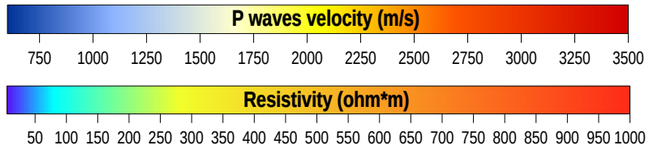
Order informations

Customer:	**Grandi Calcestruzzi S.a.s.**
Requested from:	*Dott. Geol. Luca Piaggi*
Order num:	*Off/LA/04-2021*
Job reference:	*Cava Grandi_Campomorone*
Data acquisition:	*02 Marzo 2021 _ Dott. Luigi Allacorta*
Data processing:	*02 Marzo 2021 _ Dott. Luigi Allacorta*
Graphic table redaction:	*02 Marzo 2021 _ Dott. Luigi Allacorta*

Technical features

	P_waves	**ERT**
instrument:	*DAQLink III s.n.1132*	Syscal Pro 48
channels:	*24*	*L2 el=48; L3 el = 31*
geophones/electrodes:	*vertical, 4.5Hz*	*48*
geop./electr.s distance:	*L2 x = 4.0m; L3 x = 2.5m*	*L2 x = 2.0m; L3 x = 2.0m*
shots position:	*9*	*-*
acquisition software:	*VScope 2.59*	*-*
processing software:	*Rayfract, vers. 4.01*	*Res2Dinv 3.59.73*
sequences:	*-*	*Sch-rev; W; DD*

Chromatic scales



Legend

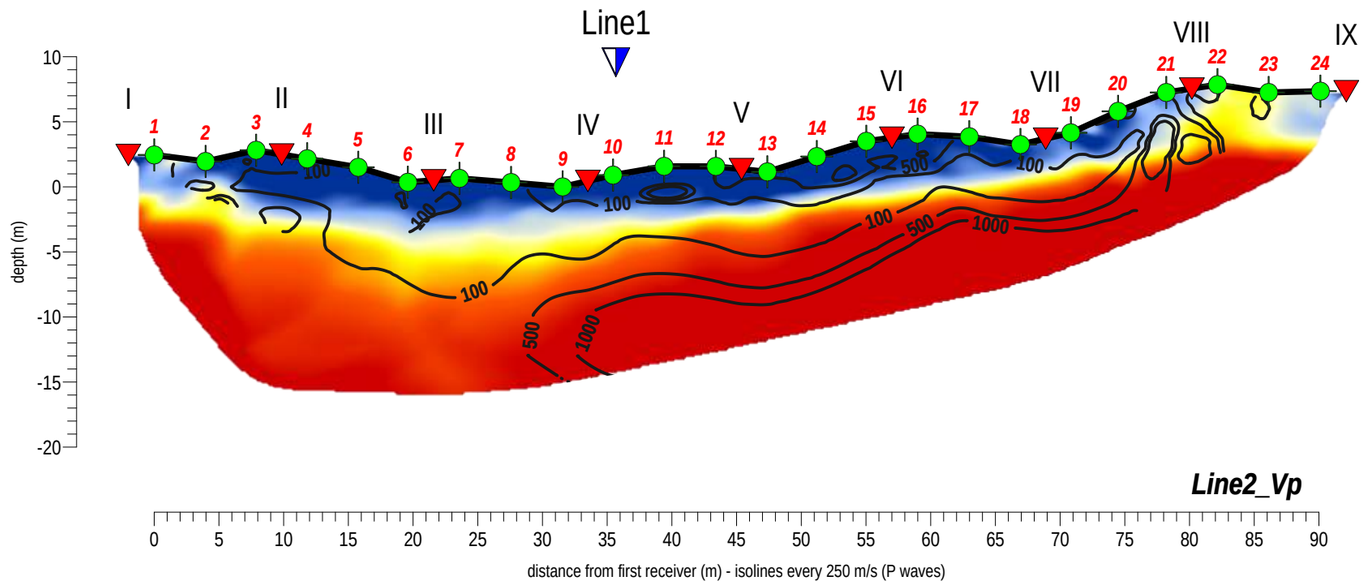
- *Geophones*
- *Shots position*
- *refractor with classic methods (wavefront or plus-minus)*
- *Log Vs from MASW*
- *Other seismic line*
- *Core drilling*
- *Electrodes*

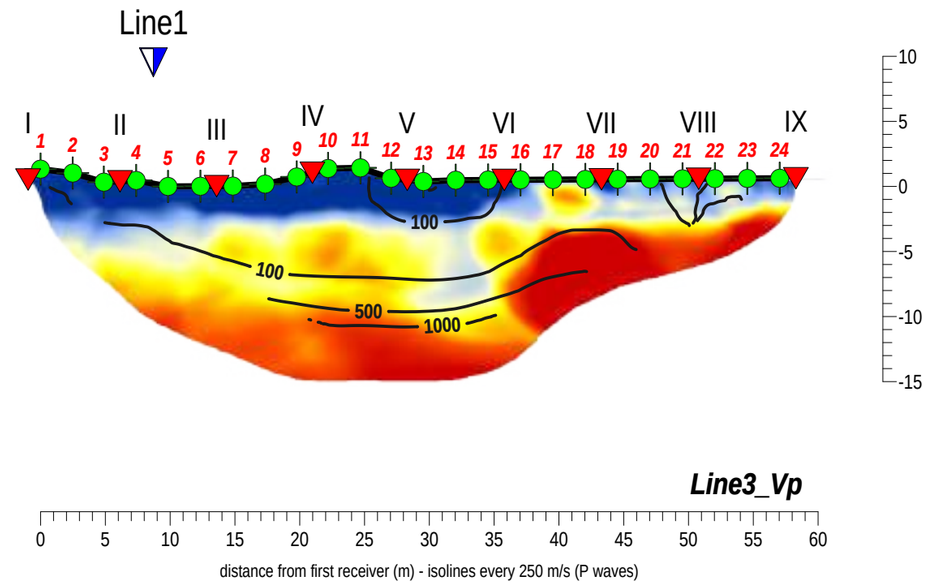
Line2+Line3
SRT_P_waves and ERT

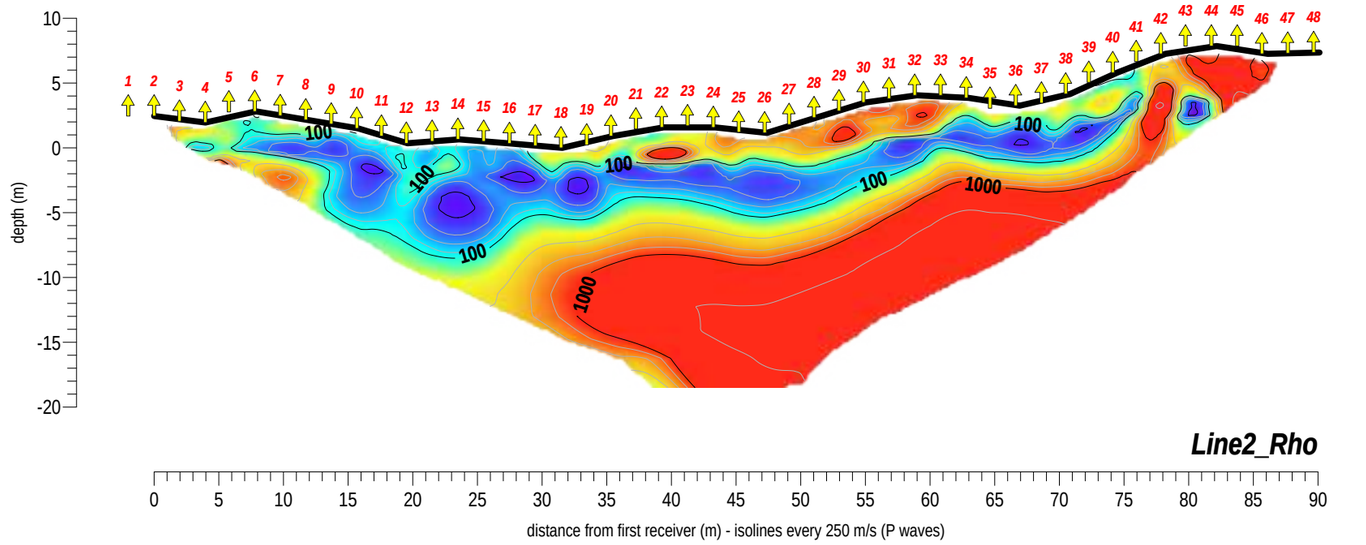
SEISMIC REFRACTION (SRT) TOMOGRAPHY

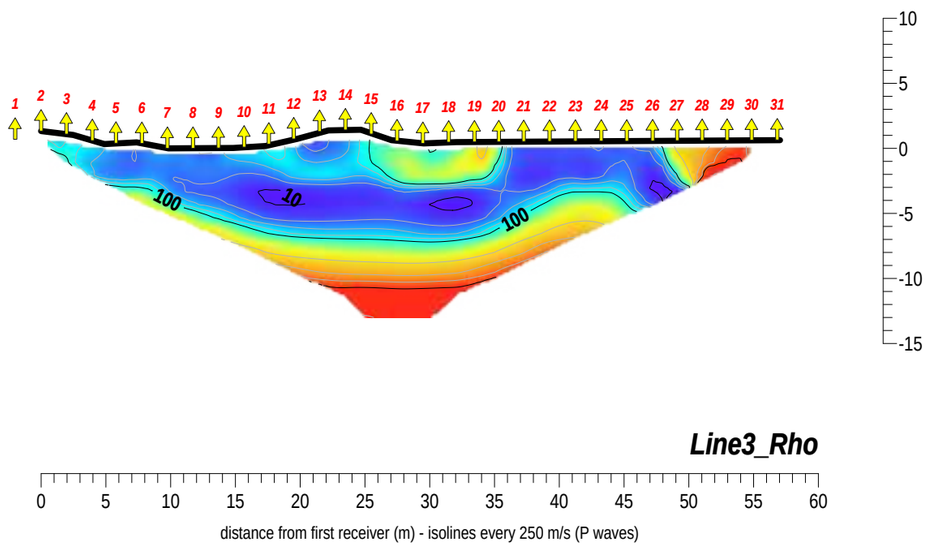
Cava Grandi, Loc. Campomorone (GE)

first break
Advanced Geophysical Services









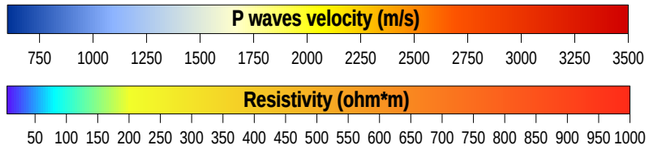
Order informations

Customer:	**Grandi Calcestruzzi S.a.s.**
Requested from:	*Dott. Geol. Luca Piaggi*
Order num:	*Off/LA/04-2021*
Job reference:	*Cava Grandi_Campomorone*
Data acquisition:	*02 Marzo 2021 _ Dott. Luigi Allacorta*
Data processing:	*02 Marzo 2021 _ Dott. Luigi Allacorta*
Graphic table redaction:	*02 Marzo 2021 _ Dott. Luigi Allacorta*

Technical features

	P_waves	**ERT**
instrument:	*DAQLink III s.n.1132*	Syscal Pro 48
channels:	*24*	*L2 el=48; L3 el = 31*
geophones/electrodes:	*vertical, 4.5Hz*	*48*
geop./electr.s distance:	*L2 x = 4.0m; L3 x = 2.5m*	*L2 x = 2.0m; L3 x = 2.0m*
shots position:	*9*	*-*
acquisition software:	*VScope 2.59*	*-*
processing software:	*Rayfract, vers. 4.01*	*Res2Dinv 3.59.73*
sequences:	*-*	*Sch-rev; W; DD*

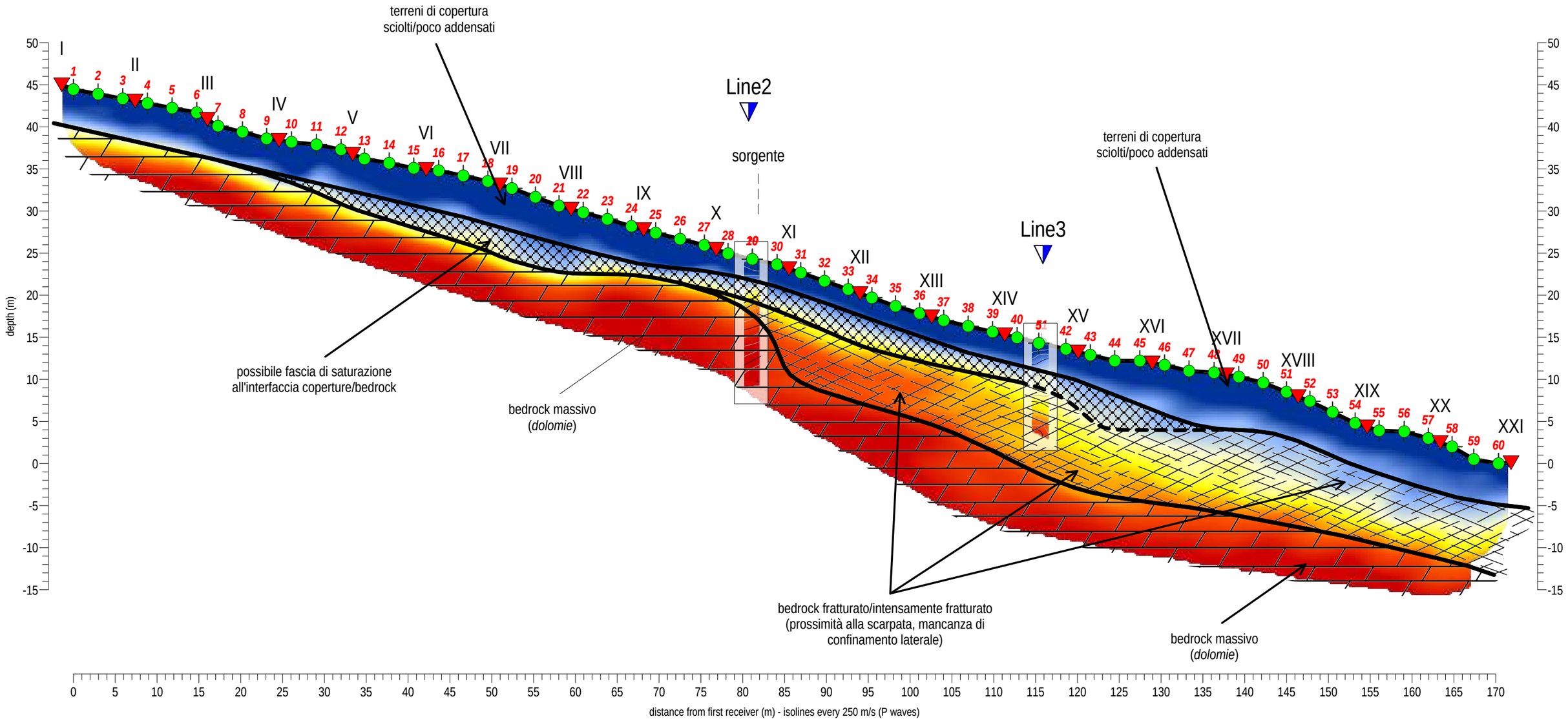
Chromatic scales



Legend

- *Geophones*
- *Shots position*
- *refractor with classic methods (wavefront or plus-minus)*
- *Log Vs from MASW*
- *Other seismic line*
- *Core drilling*
- *Electrodes*

Line1 *SRT_P_waves*	**SEISMIC REFRACTION (SRT) TOMOGRAPHY** *Cava Grandi, Loc. Campomorone (GE)*	first break Advanced Geophysical Services



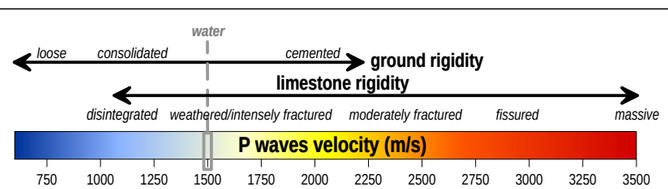
Order informations

Customer:	**Grandi Calcestruzzi S.a.s.**
Requested from:	*Dott. Geol. Luca Piaggi*
Order num:	*Off/LA/04-2021*
Job reference:	*Cava Grandi_Campomorone*
Data acquisition:	*12 Febbraio 2021 _ Dott. Luigi Allacorta*
Data processing:	*15 Febbraio 2021 _ Dott. Luigi Allacorta*
Graphic table redaction:	*16 Febbraio 2021 _ Dott. Luigi Allacorta*

Technical features

	P_waves
instrument:	*DAQLink III s.n.1132*
channels:	*60*
geophones/electrodes:	*vertical, 4.5Hz*
geop./electr.s distance:	*x = 3.0m*
shots position:	*21*
acquisition software:	*VScope 2.59*
processing software:	*Rayfract, vers. 4.01*
sequences:	*-*

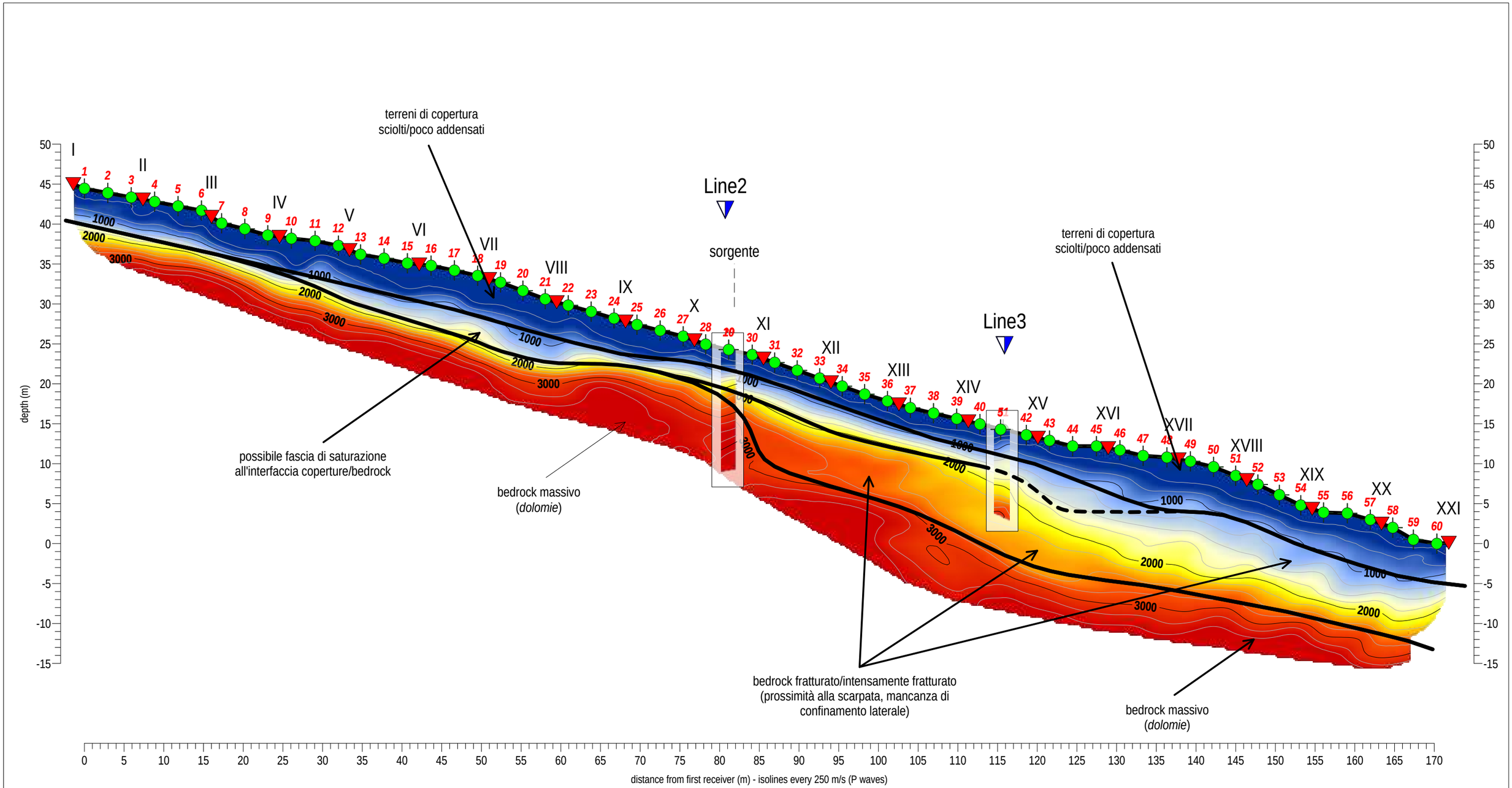
Chromatic scales



Legend

- *Geofoni*
- *Shots position*
- *limiti sismo-stratigrafici*
- *probabili andamenti di sistemi di fratturazione*
- *Altre linee sismiche*
- *Indagini dirette*
- *Elettrodi*

Line1 *SRT_P_waves*	**SEISMIC REFRACTION (SRT) TOMOGRAPHY** *Cava Grandi, Loc. Campomorone (GE)*	first break Advanced Geophysical Services



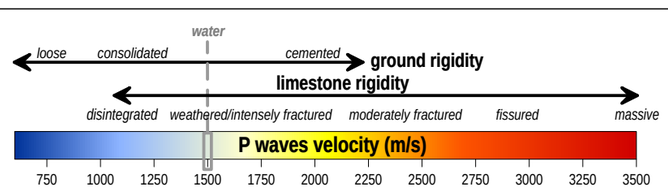
Order informations

Customer:	**Grandi Calcestruzzi S.a.s.**
Requested from:	*Dott. Geol. Luca Piaggi*
Order num:	*Off/LA/04-2021*
Job reference:	*Cava Grandi_Campomorone*
Data acquisition:	*12 Febbraio 2021 _ Dott. Luigi Allacorta*
Data processing:	*15 Febbraio 2021 _ Dott. Luigi Allacorta*
Graphic table redaction:	*16 Febbraio 2021 _ Dott. Luigi Allacorta*

Technical features

	P_waves
instrument:	*DAQLink III s.n.1132*
channels:	*60*
geophones/electrodes:	*vertical, 4.5Hz*
geop./electr.s distance:	*x = 3.0m*
shots position:	*21*
acquisition software:	*VScope 2.59*
processing software:	*Rayfract, vers. 4.01*
sequences:	*-*

Chromatic scales



Legend

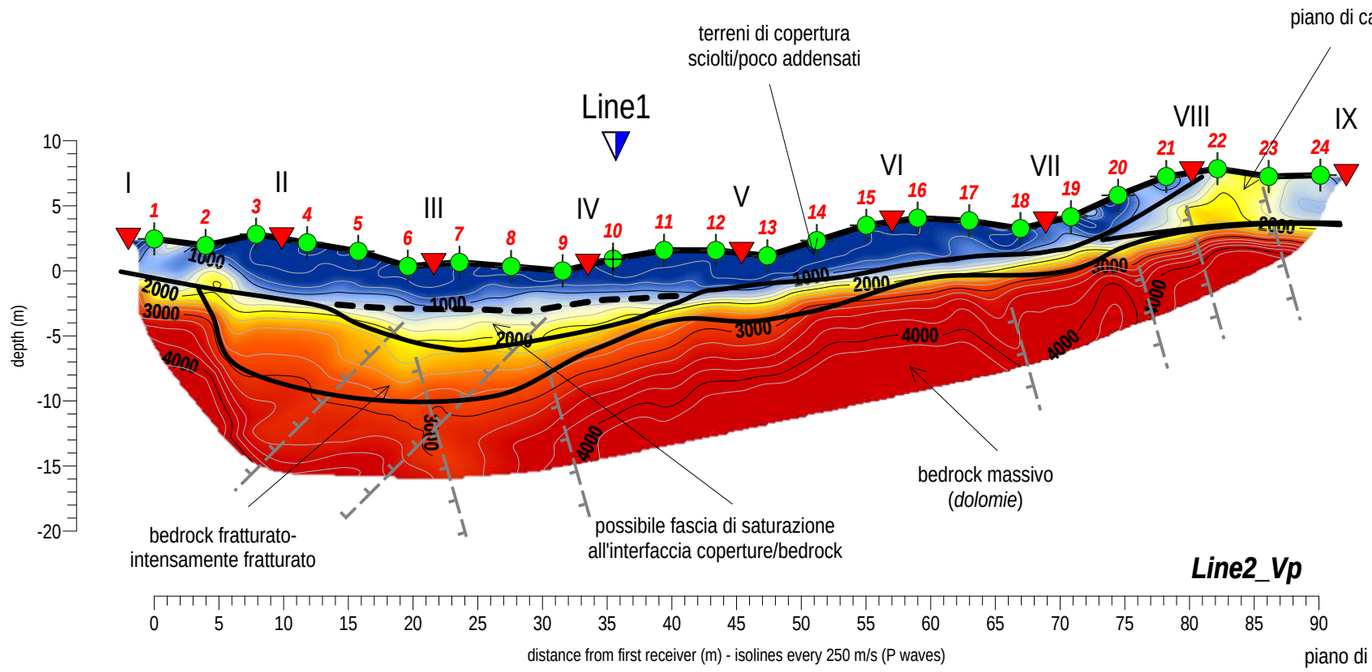
- *Geofoni*
- *Shots position*
- *limiti sismo-stratigrafici*
- *probabili andamenti di sistemi di fratturazione*
- *Altre linee sismiche*
- *Indagini dirette*
- *Elettrodi*

Line2+Line3
SRT_P_waves and ERT

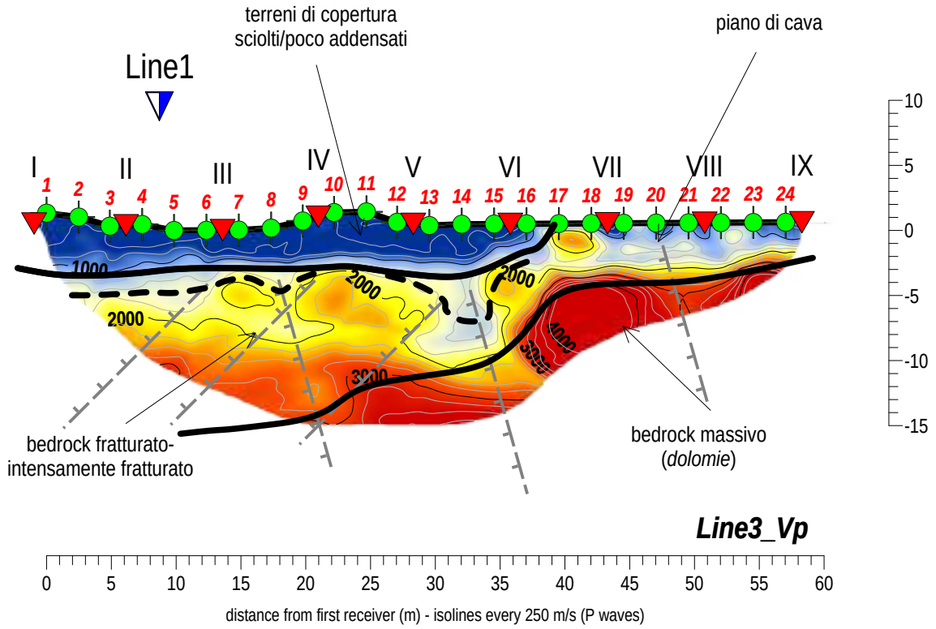
SEISMIC REFRACTION (SRT) TOMOGRAPHY

Cava Grandi, Loc. Campomorone (GE)

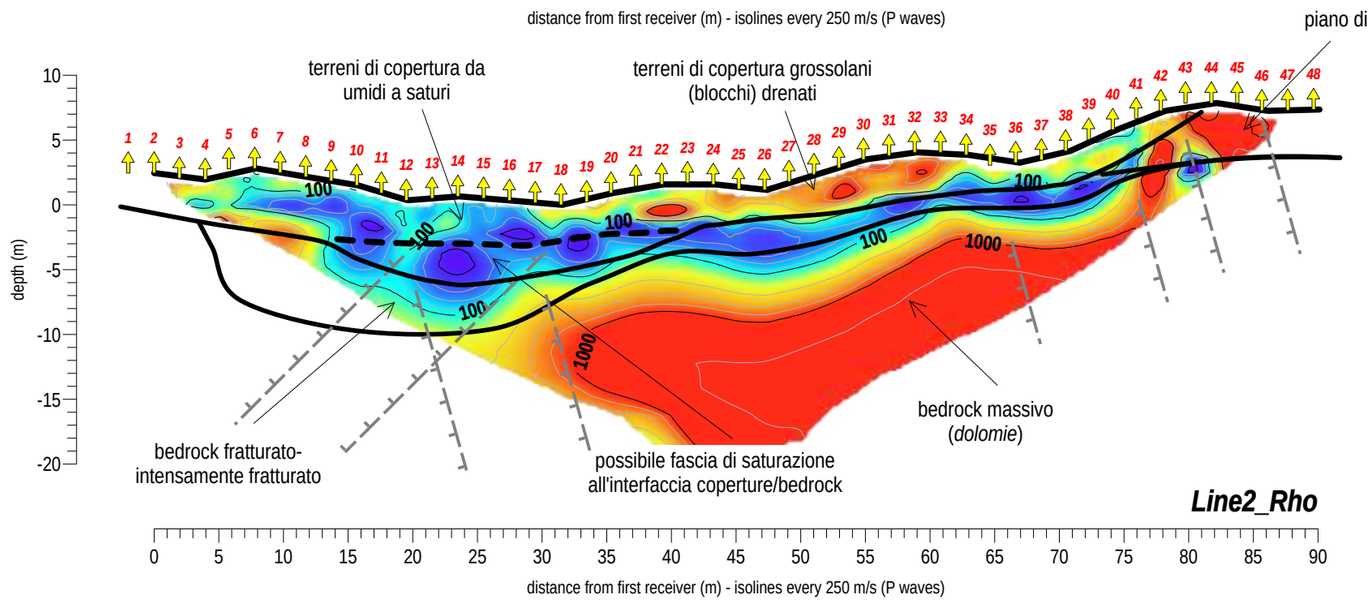
first break
Advanced Geophysical Services



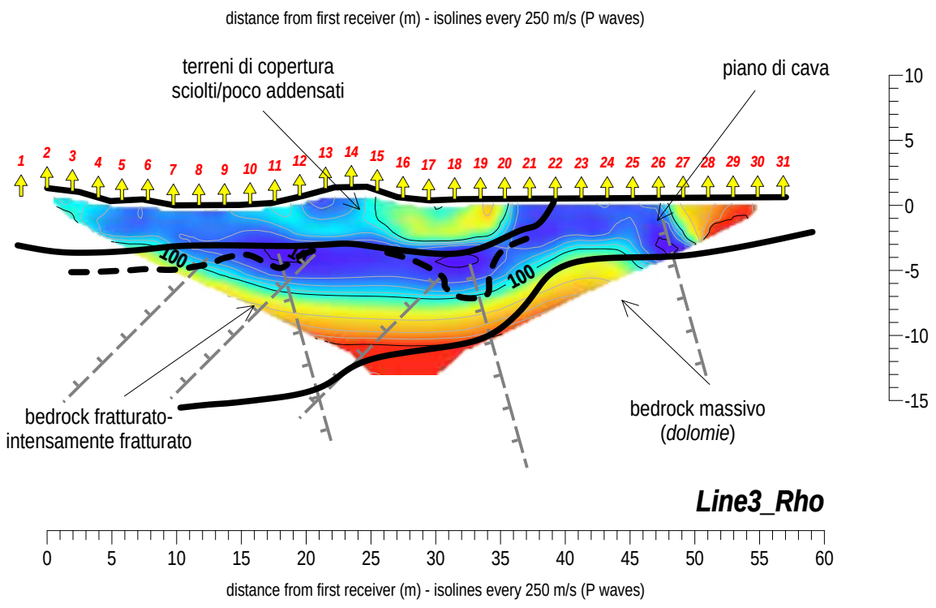
Line2_Vp



Line3_Vp



Line2_Rho



Line3_Rho

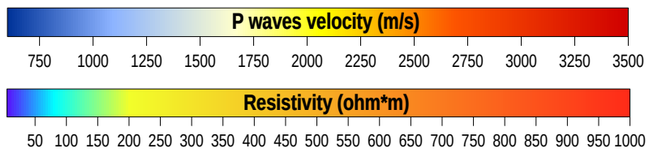
Order informations

Customer:	**Grandi Calcestruzzi S.a.s.**
Requested from:	*Dott. Geol. Luca Piaggi*
Order num:	*Off/LA/04-2021*
Job reference:	*Cava Grandi_Campomorone*
Data acquisition:	*02 Marzo 2021 _ Dott. Luigi Allacorta*
Data processing:	*02 Marzo 2021 _ Dott. Luigi Allacorta*
Graphic table redaction:	*02 Marzo 2021 _ Dott. Luigi Allacorta*

Technical features

	P_waves	**ERT**
instrument:	*DAQLink III s.n.1132*	Syscal Pro 48
channels:	*24*	*L2 el=48; L3 el = 31*
geophones/electrodes:	*vertical, 4.5Hz*	*48*
geop./electr.s distance:	*L2 x = 4.0m; L3 x = 2.5m*	*L2 x = 2.0m; L3 x = 2.0m*
shots position:	*9*	*-*
acquisition software:	*VScope 2.59*	*-*
processing software:	*Rayfract, vers. 4.01*	*Res2Dinv 3.59.73*
sequences:	*-*	*Sch-rev; W; DD*

Chromatic scales



Legend

- *Geofoni*
- *Shots position*
- *limiti sismo-stratigrafici*
- *probabili andamenti di sistemi di fratturazione*
- *Altre linee sismiche*
- *Indagini dirette*
- *Elettrodi*

INDICE

1 PREMESSA 2
2 INDAGINI GEOGNOSTICHE 3
2.1 Stendimenti Sismici M.A.S.W. 4
2.2 Indagini Sismiche Passive H.V.S.R. 5
3 RISULTATI STENDIMENTI SISMICI M.A.S.W. 7
3.1 Rappresentazione Ed Interpretazione Dei Dati Sismici 7
4 RISULTATI INDAGINI SISMICHE PASSIVE H.V.S.R. 18
5 OSSERVAZIONI CONCLUSIVE 22
6 ALLEGATI 24

1 PREMESSA

Nella presente relazione vengono illustrati i dati raccolti nel corso di una specifica campagna di indagini geofisiche eseguita in data 18 settembre 2018, presso il sito denominato D.P. 02 ubicato in località Isoverde (fig. 1).



Figura 1: Foto aerea con ubicazione area in esame (Google Earth).

Finalità dell'indagine, eseguita attraverso stendimenti geofisici M.A.S.W. e misurazioni sismiche passive H.V.S.R., è stata nello specifico una caratterizzazione sismica dell'area in esame, a supporto della progettazione dei lavori di conferimento di materiali di risulta da escavazioni inerenti alla costruzione della Linea Alta Velocità Milano-Genova.

2 INDAGINI GEOGNOSTICHE

Il programma di indagine ha comportato le seguenti operazioni:

- n.4 stendimenti sismici M.A.S.W. dei quali n.2 della lunghezza di 48.0 metri (L1 ed L2) eseguiti in corrispondenza del primo gradone roccioso esterno al “bacino” attualmente adibito allo stoccaggio del terreno di risulta e n.2 della lunghezza di 55.0 metri (L3 ed L4) in corrispondenza del “bacino” di stoccaggio;
- n.4 rilevazioni puntuali mediante tromometro digitale del microtremore sismico ambientale (TR1, TR2, TR3 e TR4) eseguiti rispettivamente in corrispondenza del punto medio di ciascuno degli stendimenti sismici M.A.S.W..



Figura 2: Foto aerea con ubicazione punti di indagine.

Di seguito si illustrano i dettagli e le modalità esecutive delle indagini; in allegato è riportata la relativa documentazione fotografica unitamente alla planimetria di riferimento.

2.1 Stendimenti Sismici M.A.S.W.

L'acquisizione di campagna è stata condotta con sismografo PASI modello Gea 24 con possibilità di stack degli impulsi sismici, filtraggio digitale programmabile (per la riduzione dei rumori) e guadagno automatico del segnale (in ampiezza), geofoni verticali e orizzontali da 4.5 Hz spaziati di 4m (L1 ed L2) e 5m (L3 ed L4) con offset a 4m (L1 ed L2) e 5m (L3 ed L4) di distanza dal primo geofono, l'energizzazione è avvenuta tramite mazza del peso di 10 Kg.

Per avere un'approfondita Analisi Multicanale delle Onde di Superficie (M.A.S.W.), i dataset sono stati ottenuti mediante le seguenti modalità di acquisizione:

- Dataset Onde Rayleigh componente verticale (ZVF)
  - 12 geofoni verticali da 4.5 Hz;
  - Energizzazione verticale su piastra quadrata in alluminio.

L'elaborazione è stata eseguita tramite il software WinMASW 3C 7.2 beta e nell'analisi sono stati scelti i dataset migliori acquisiti scegliendo i più rappresentativi per le Onde di Rayleigh (ZVF).

Una volta individuati sono stati determinati gli spettri di velocità per ogni dataset ed è stata effettuata una modellazione congiunta, utilizzando nella stessa anche i dati H/V elaborati a seguito dell'acquisizione sismica passiva mediante tromometro digitale.

2.2 Indagini Sismiche Passive H.V.S.R.

Si tratta di una metodologia sismica passiva, finalizzata alla determinazione dei valori di frequenza caratteristica del sito e del suolo al fine di verificare che non vi siano eventuali effetti di doppia risonanza, che potrebbero inficiare sulla stabilità delle strutture. Nel contempo la misurazione effettuata sul terreno ha permesso di verificare la presenza di eventuali orizzonti rifrattori più profondi rispetto alla massima profondità indagata con la sismica attiva ed è stata utilizzata, come precedentemente descritto, per un'elaborazione congiunta con i dati acquisiti per mezzo degli stendimenti M.A.S.W..

Le misurazioni sono state eseguite mediante l'utilizzo di un tromometro digitale della ditta Micromed S.r.l., modello "Tromino Zero" e i dati rielaborati tramite il programma "**TROMINO**® Grilla", le caratteristiche tecniche dello strumento sono di seguito riportate.

Numero di canali	3+1 analogici
Amplificatori	tutti canali con input differenziali
Rumore	< 0.5 μV r.m.s. @128 Hz sampling
Impedenza dell'input	10^6 Ohm
Range di frequenze	DC - 360 Hz
Frequenza di campionamento	16384 Hz per canale
Frequenze di sovracampionamento	32x, 64x, 128x
Conversione A/D	equivalente a 24 bit
Massimo input analogico	51.2 mV (781 nV/digit)
Connessioni	porta USB, tipo B
Registrazione dati	memoria interna, standard 512 Mb, opzionale fino a 2 Gb
Dimensione e peso	10 x 14 x 7.7 (altezza) cm 1.1 kg contenitore di alluminio
Accoppiamento col terreno	su punte e cuscinetto reologico
Condizioni operative	temperatura - 10 / +70°C umidità 0-90% senza condensa
Impermeabilità	indice di protezione IP = 65 (resistente alla polvere, resistente agli spruzzi)
Sensori	3 velocimetri elettrodinamici ortogonali ad alta risoluzione autobloccaggio quando non in acquisizione

Tale indagine geofisica si avvale della tecnica di Nakamura (1989) e sui rapporti spettrali H.V.S.R. (Horizzontal to Vertical Spectral Ratio); viene misurato il microtremore sismico ambientale (rumore

sismico) presente ovunque sulla superficie terrestre, è generato dai fenomeni atmosferici (onde oceaniche, vento) e dall'attività antropica oltre che, ovviamente, dall'attività dinamica terrestre. Per poter effettuare tale misurazione lo strumento racchiude tre velocimetri elettrodinamici ortogonali tra loro ad alta definizione con frequenza naturale di risonanza 1.0 Hz. I dati vengono registrati direttamente dalla strumentazione. Durante la misura si è orientata una delle componenti orizzontali parallelamente all'allineamento di ciascuno stendimento sismico M.A.S.W., per consentire una eventuale ripetizione e sovrapposizione delle registrazioni in tempi successivi.

Operativamente si è proceduto alla registrazione del rumore sismico sulle tre componenti per un intervallo di tempo di 20 minuti.

3 RISULTATI STENDIMENTI SISMICI M.A.S.W.

3.1 Rappresentazione Ed Interpretazione Dei Dati Sismici

Al fine di fornire i valori delle V_s, necessarie per la caratterizzazione sismica del sito, sono state realizzate n.4 stese sismiche denominate L1, L2, L3 ed L4 di lunghezza rispettivamente pari a 48m e con distanza intergeofonica pari a 4.0m per gli stendimenti L1 ed L2, di lunghezza pari a 55m e con distanza intergeofonica pari a 5.0m per gli stendimenti L3 ed L4. L'energizzazione del terreno (sorgente di energia), per la lettura dei tempi di arrivo delle onde Superficiali (Rayleigh), è stata ottenuta impiegando una mazza battente da 10 kg in senso verticale su di una piastra in alluminio aderente al suolo L'energizzazione è stata effettuata agli estremi gli stendimento ad una distanza di 4.0m per gli stendimenti L1 ed L2 di 5.0m per gli stendimenti L3 ed L4; l'energizzazione è stata eseguita più volte per garantire l'apprezzabilità dei segnali raccolti dal sistema di acquisizione dati. Si riportano di seguito i sismogrammi frutto della somma di ciascuna acquisizione, filtrati di eventuali disturbi di fondo, scelti per la modellazione (fig. 3, fig. 4, fig. 5, fig. 6):

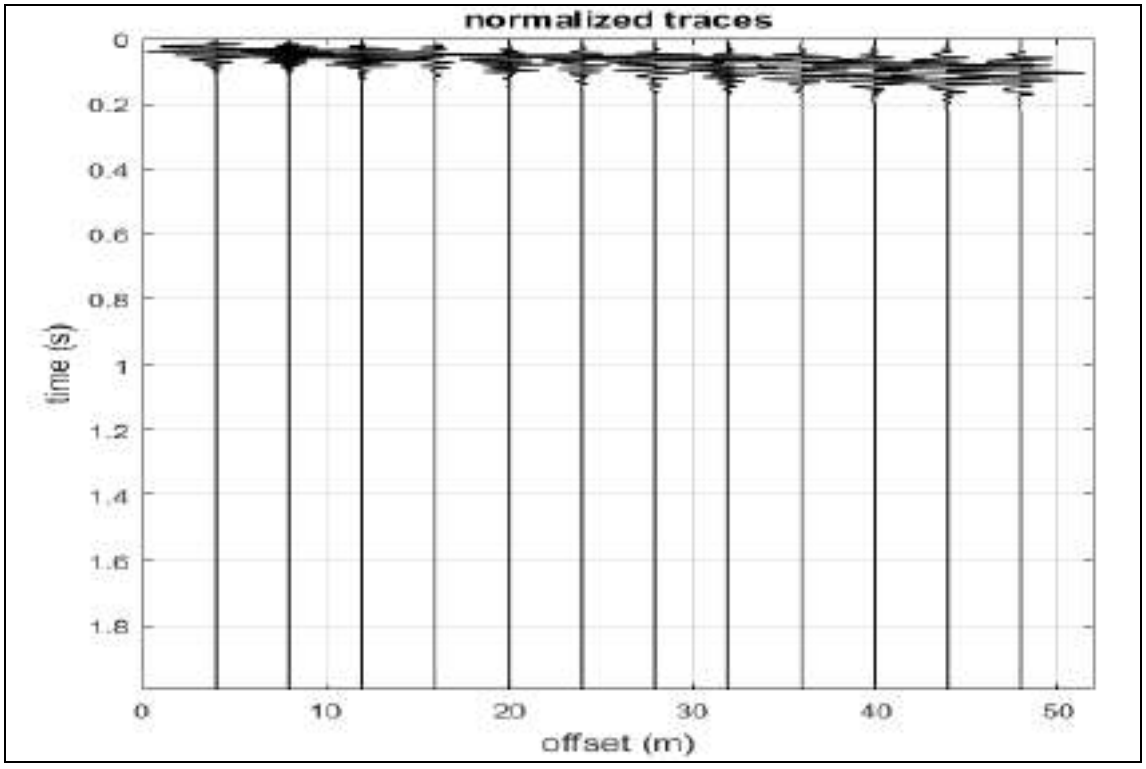


Figura 3: Sismogrammi e spettri di velocità ZVF (onde Rayleigh) e THF (onde Love) **base sismica L1**.

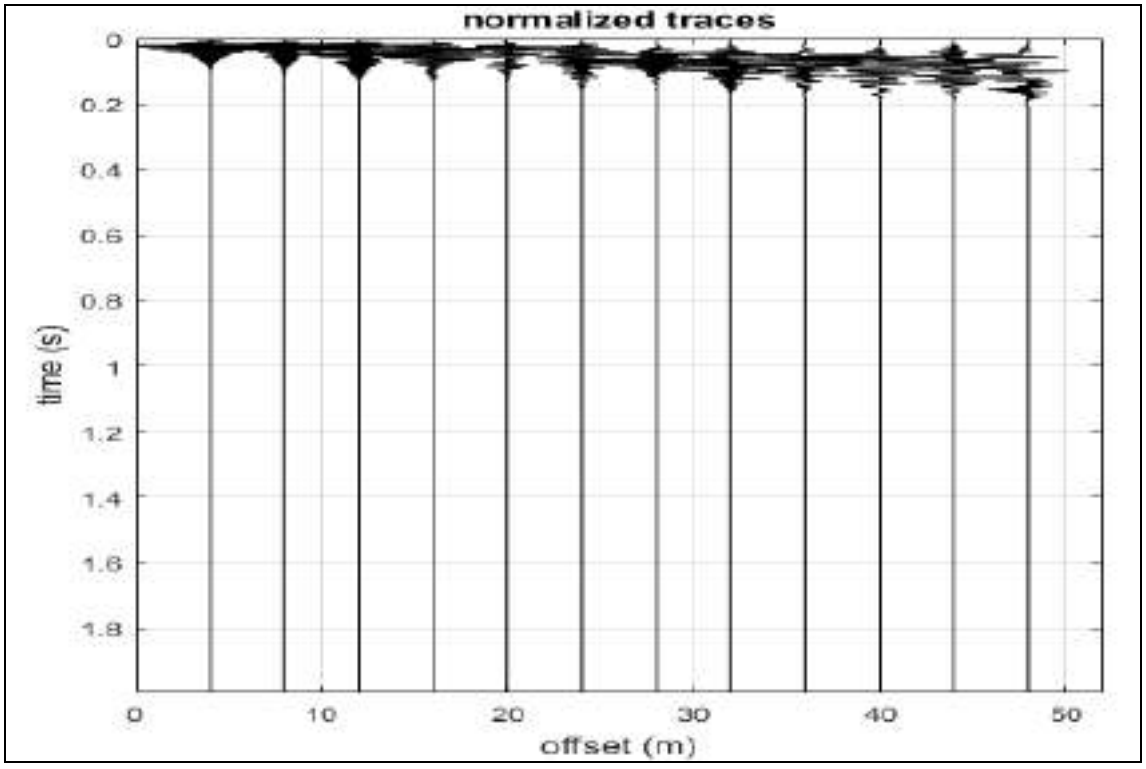


Figura 4: Sismogrammi e spettri di velocità ZVF (onde Rayleigh) e THF (onde Love) **base sismica L2**.

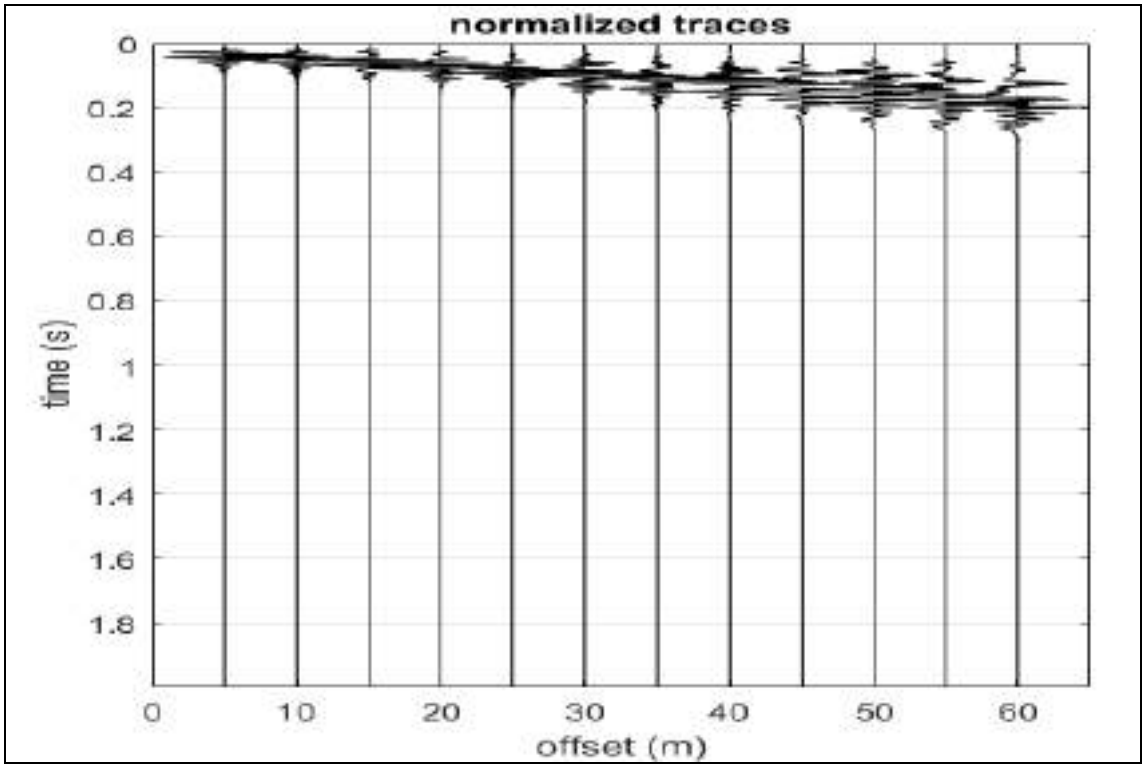


Figura 5: Sismogrammi e spettri di velocità ZVF (onde Rayleigh) e THF (onde Love) **base sismica L3**.

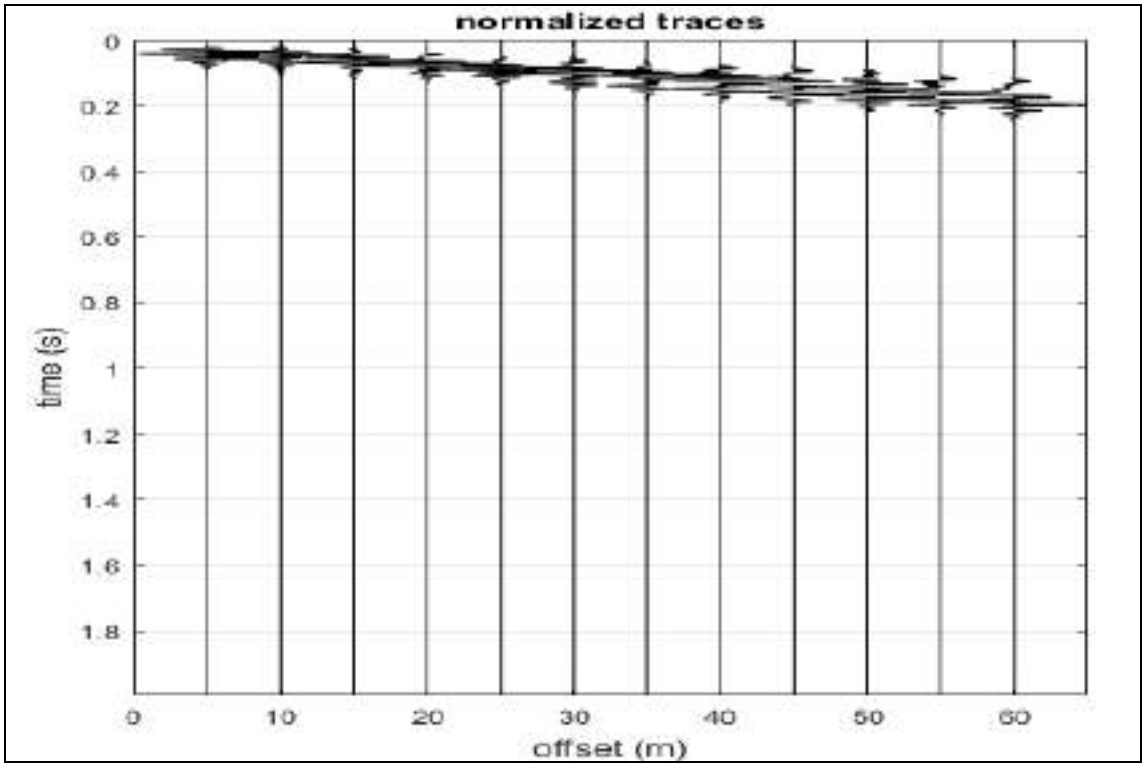


Figura 6: Sismogrammi e spettri di velocità ZVF (onde Rayleigh) e THF (onde Love) **base sismica L4**.

L'elaborazione dei sismogrammi ha consentito di estrapolare gli spettri di velocità dai quale si è risalito tramite picking alle curve di dispersione (fig. 7, fig. 8, fig. 9, fig. 10) che consentono di ottenere sia gli spessori dei vari strati che le rispettive velocità.

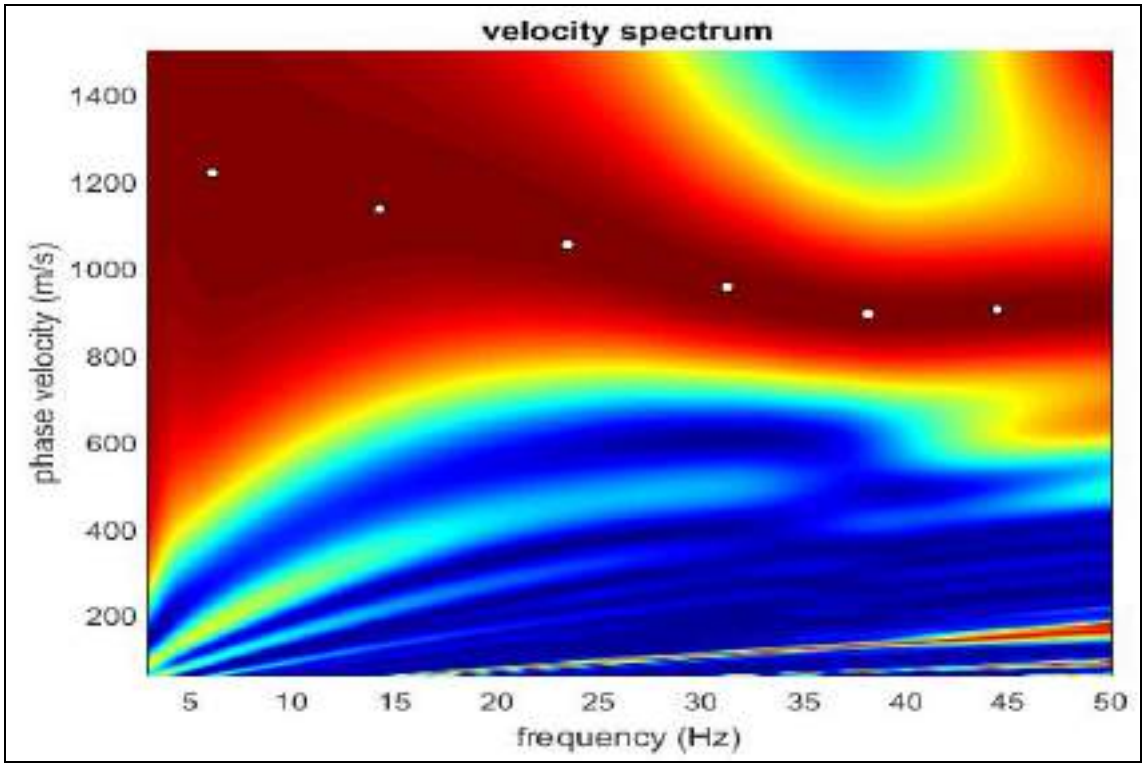


Figura 7: Spettro di velocità **base sismica L1** con picking.

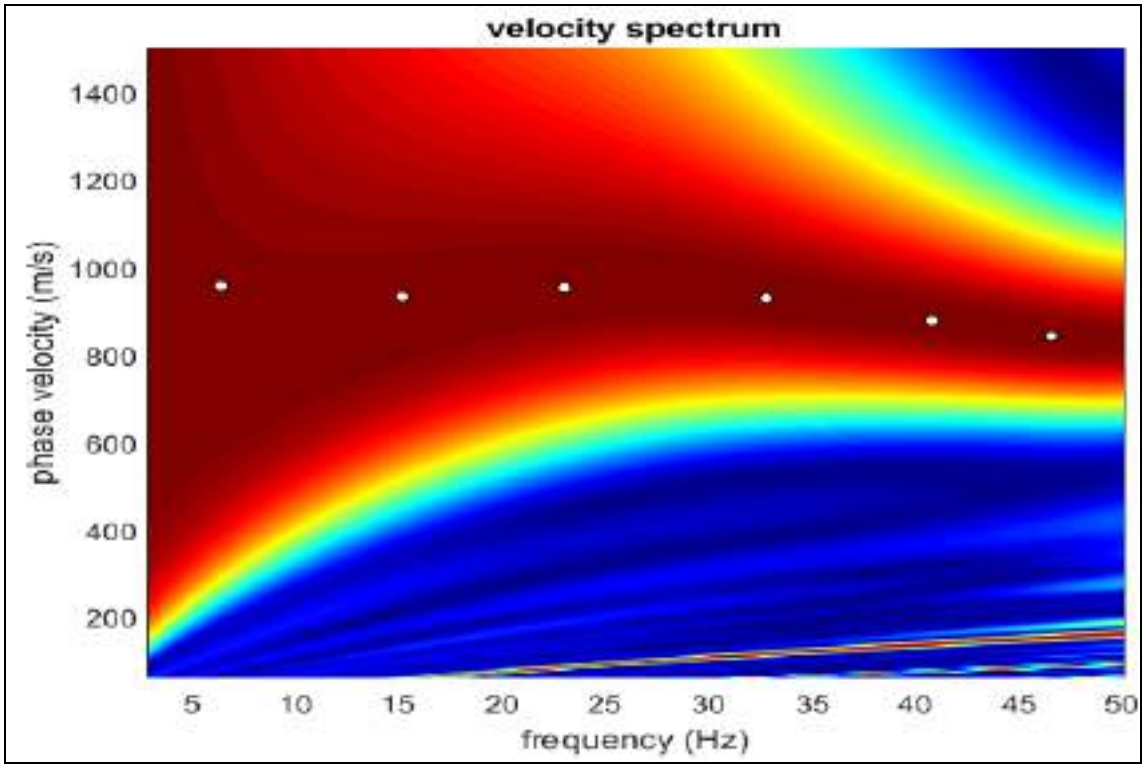


Figura 8: Spettro di velocità **base sismica L2** con picking.

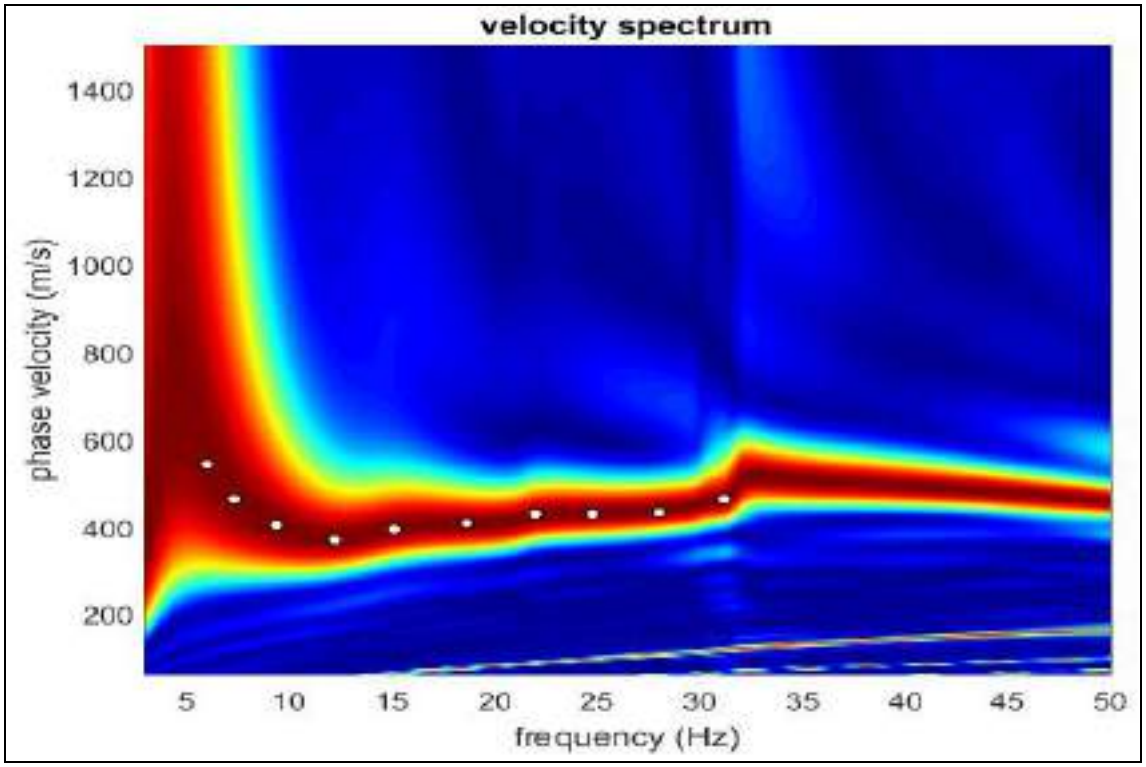


Figura 9: Spettro di velocità **base sismica L3** con picking.

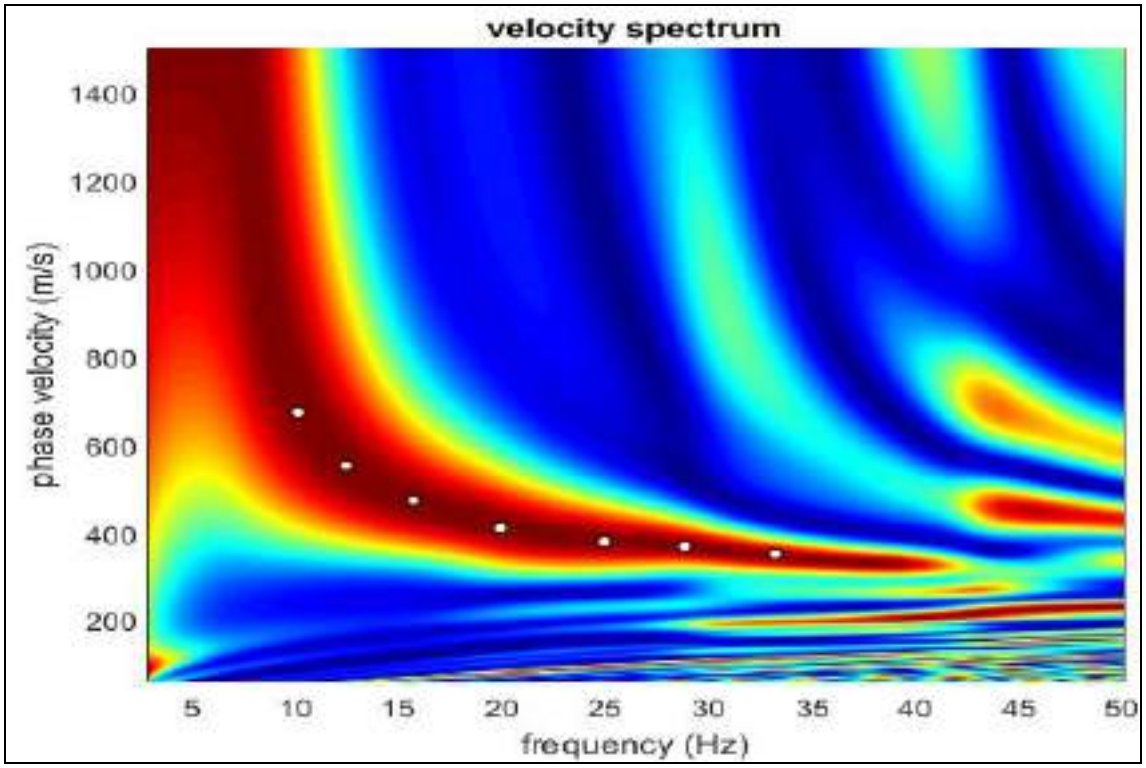


Figura 10: Spettro di velocità **base sismica L4** con picking.

3.1.1 Ricostruzione del sottosuolo mediante analisi congiunta

Dall'inversione delle curve di dispersione si è ottenuta la ricostruzione del sottosuolo in orizzonti aventi differenti spessori e valori di velocità:

BASE SISMICA L1		
Spessore (m)	**Profondità (m)**	**V_S (m/sec)**
1.2	0.0-1.2	**482**
1.5	1.2-2.7	**574**
5.3	2.7-8.0	**1047**
6.3	8.0-14.3	**1015**
4.6	14.3-18.9	**990**
4.3	18.9-23.2	**1194**
6.8	23.2-30.0	**1271**

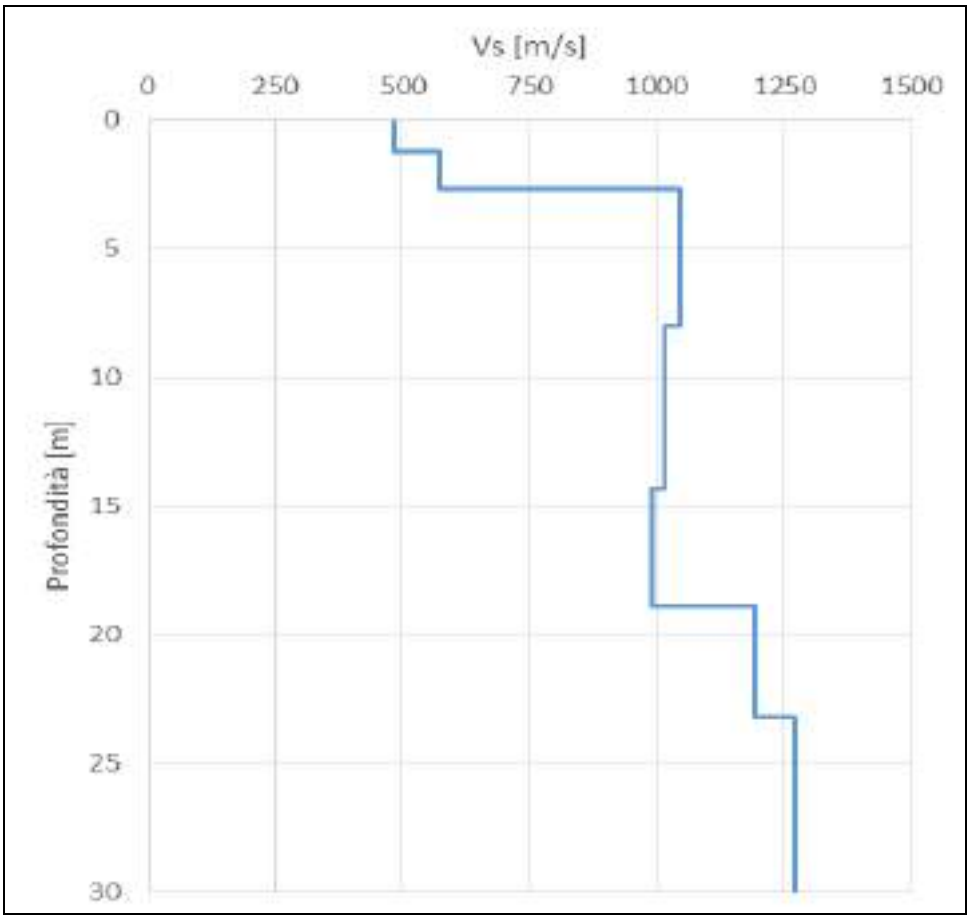


Figura 11: Diagramma delle velocità V_s riferite ai vari strati intercettati nella **base sismica L1**.

BASE SISMICA L2		
Spessore (m)	**Profondità (m)**	**V_S (m/sec)**
1.4	0.0-1.4	**654**
1.1	1.4-2.5	**821**
4.6	2.5-7.1	**1015**
8.8	7.1-15.9	**1205**
5.5	15.9-21.4	**1382**
5.1	21.4-26.5	**1339**
3.5	26.5-30.0	**1491**

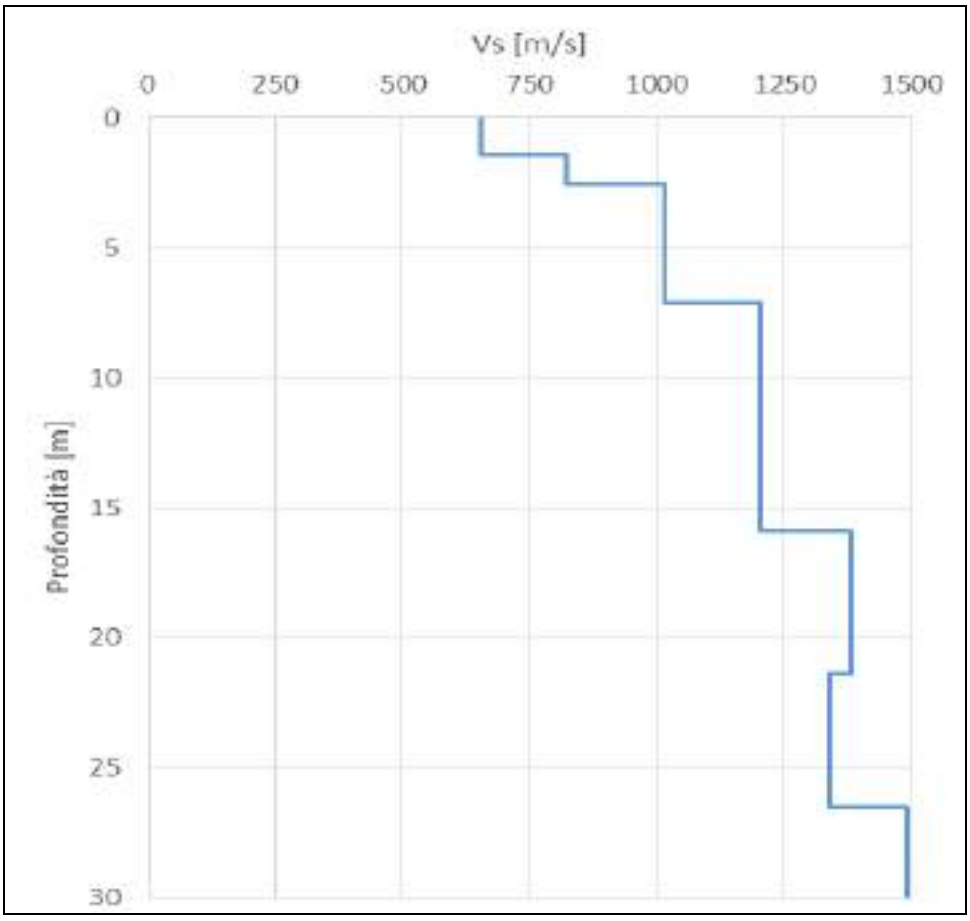


Figura 12: Diagramma delle velocità V_s riferite ai vari strati intercettati nella **base sismica L2**.

BASE SISMICA L3		
Spessore (m)	**Profondità (m)**	**V_S (m/sec)**
2.6	0.0-2.6	**459**
3.9	2.6-6.5	**573**
2.9	6.5-9.4	**462**
5.3	9.4-14.7	**531**
4.5	14.7-19.2	**383**
3.4	19.2-22.6	**415**
3.8	22.6-26.4	**435**
3.6	26.4-30.0	**464**

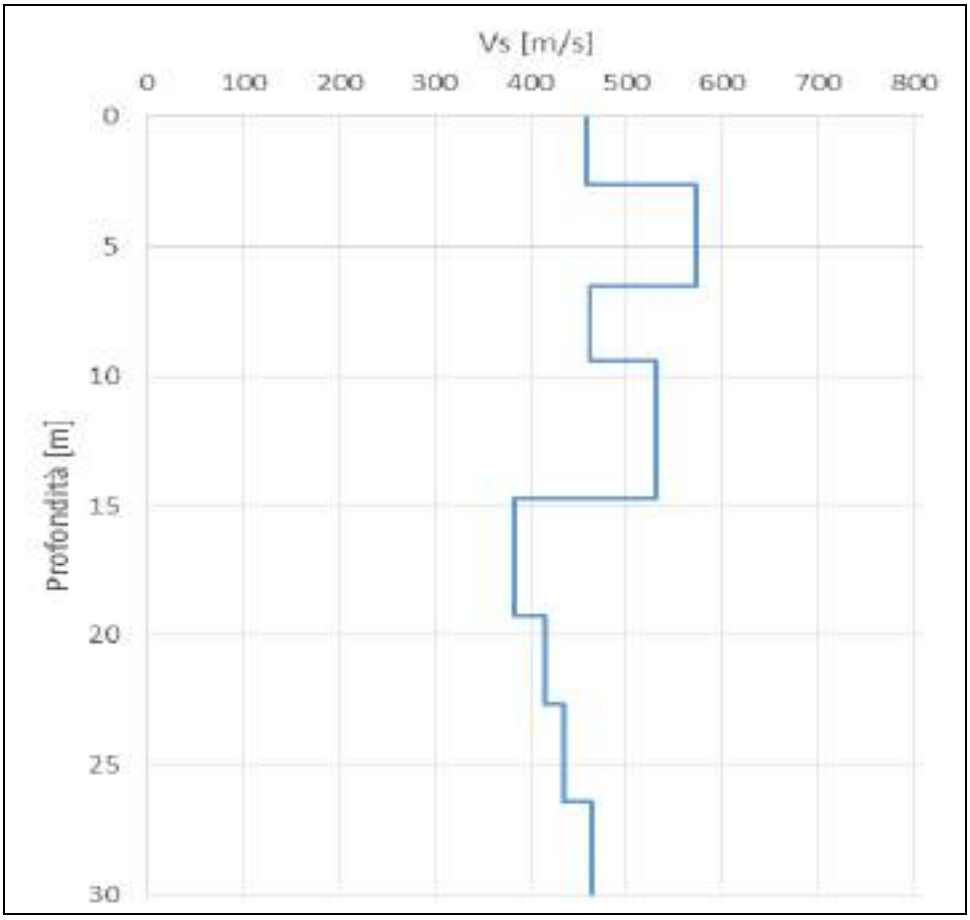


Figura 13: Diagramma delle velocità V_s riferite ai vari strati intercettati nella **base sismica L3**.

BASE SISMICA L4		
Spessore (m)	**Profondità (m)**	**V_S (m/sec)**
1.9	0.0-1.9	**557**
5.6	1.9-7.5	**471**
2.6	7.5-10.1	**498**
2.1	10.1-12.2	**538**
4.2	12.2-16.4	**364**
6.9	16.4-23.3	**391**
4.8	23.3-28.1	**442**
1.9	28.1-30.0	**425**

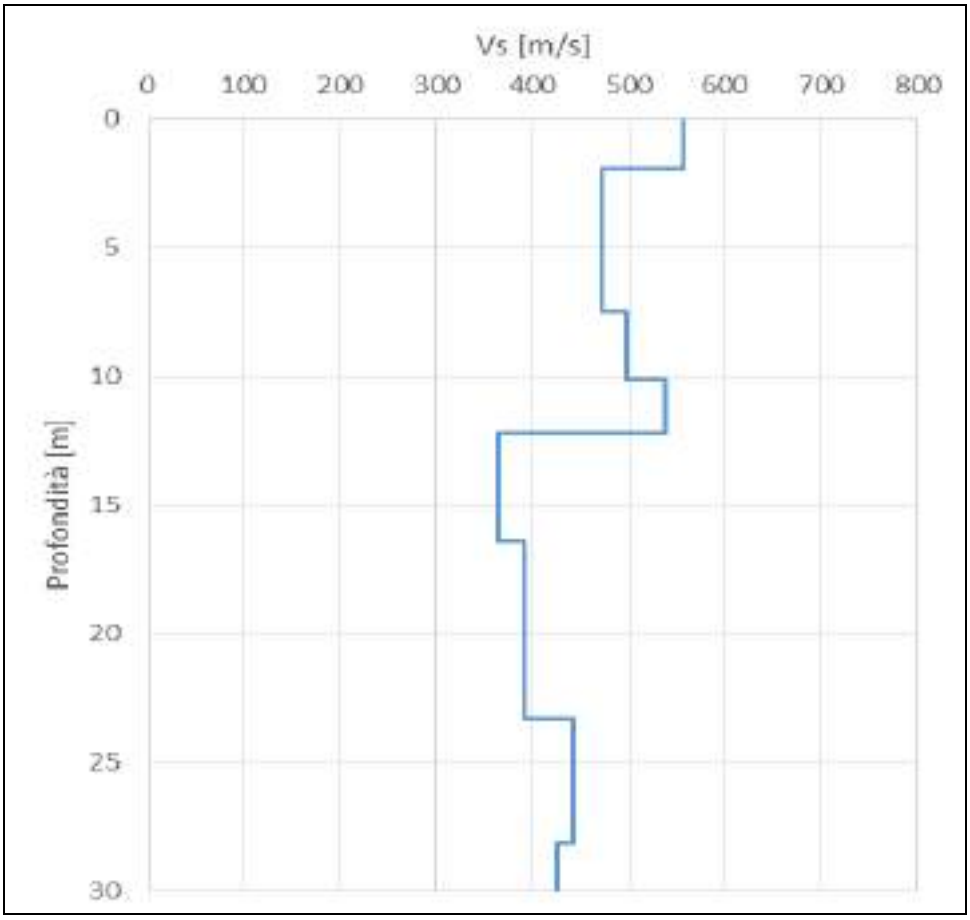


Figura 14: Diagramma delle velocità V_s riferite ai vari strati intercettati nella **base sismica L4**.

3.2 CATEGORIA DI SOTTOSUOLO

Per quanto riguarda la determinazione della categoria di sottosuolo il D.M. 17.01.2018 prevede una classificazione in cinque categorie principali riportate nella tabella 3.2.II (fig. 15) definite in base ai valori della velocità equivalente $V_{S,eq}$ corrispondente alla velocità media di propagazione delle onde sismiche di taglio a partire dal piano di fondazione (per fondazioni superficiali e per muri di sostegno di terrapieni), dalla testa dei pali o dalla testa dell'opera (per opere di sostegno di terreni naturali), fino alla profondità del substrato sismico, definito come quella formazione caratterizzata da V_S non inferiore a 800 m/s. Per depositi con profondità di tale substrato superiore a 30m la velocità equivalente $V_{S,eq}$ è definita dal parametro $V_{S,30}$, considerando le proprietà degli strati di terreno fino alla profondità di 30m.

L'espressione per la determinazione della velocità equivalente $V_{S,eq}$ è la seguente:

$$V_{s,eq} \frac{H}{\sum \frac{h_i}{V_i}}$$

hi = Spessore in metri dello strato i-esimo
Vi = Velocità dell'onda di taglio i-esima
N = Numero di strati
H = Profondità del substrato sismico con Vs>800m/s

Per il sito in esame la categoria di sottosuolo è stata determinata tramite i dati ottenuti dagli stendimenti sismici con metodologia M.A.S.W. eseguiti.

Dall'elaborazione di tali dati il terreno può essere così classificato:

- **Stendimenti L1 ed L2**: a partire rispettivamente da -2.7m e -2.5m i valori di V_s superano gli **800 m/s** pertanto il terreno risulta classificabile di **categoria A** "*Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi* caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.

- **Stendimenti L3 ed L4**: presentano velocità $V_{s,eq} = V_{s,30}$ rispettivamente di **460 m/s e 435 m/s** pertanto il terreno è classificabile di **categoria B** "*Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti*, caratterizzati da un

miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.

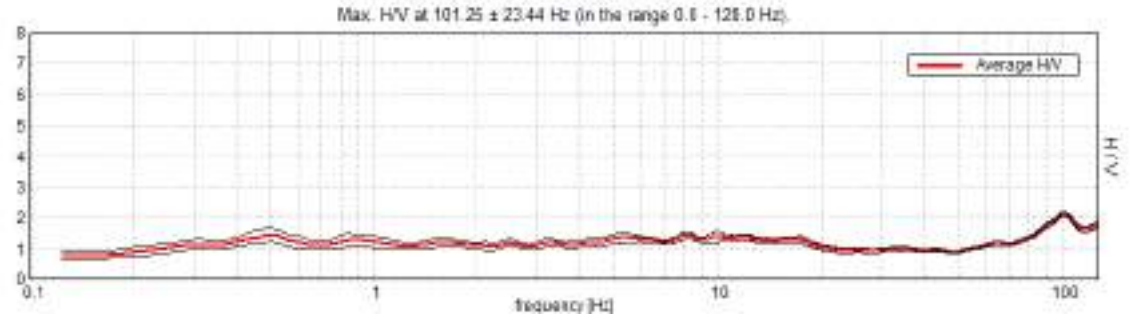
Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
A	*Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi* caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.
B	*Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti*, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.
C	*Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti* con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.
D	*Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti*, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.
E	*Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D*, con profondità del substrato non superiore a 30 m.

Figura 15: Tabella 3.2.II "Categorie di sottosuolo" – D.M. 17.01.2018.

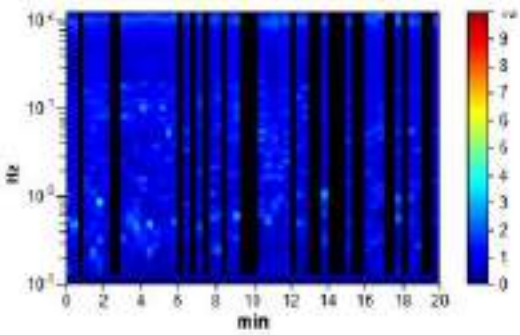
4 RISULTATI INDAGINI SISMICHE PASSIVE H.V.S.R.

Per la verifica della presenza di eventuali orizzonti rifrattori più profondi rispetto alla massima profondità indagata con la sismica attiva e per l'elaborazione congiunta con la medesima oltre che per la determinazione dei valori di frequenza caratteristica del sito e del suolo sono state eseguite n.4 acquisizioni puntuali (TR1, TR2, TR3, TR4) in passivo del microtremore sismico ambientale mediante tromometro digitale, per una durata di venti minuti ciascuna. Si riportano di seguito i relativi diagrammi H/V elaborati dalle misurazioni effettuate sulle aree di interesse (fig. 16, fig. 17, fig. 18, fig. 19).

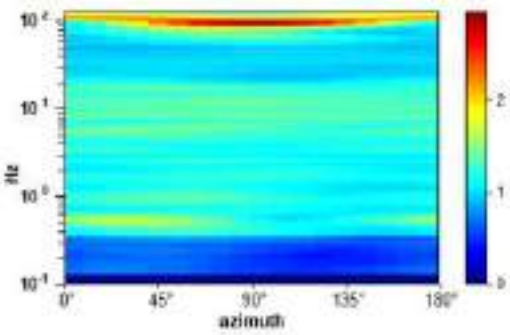
RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE **TR1**



SERIE TEMPORALE H/V



DIREZIONALITA' H/V



SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI **TR1**

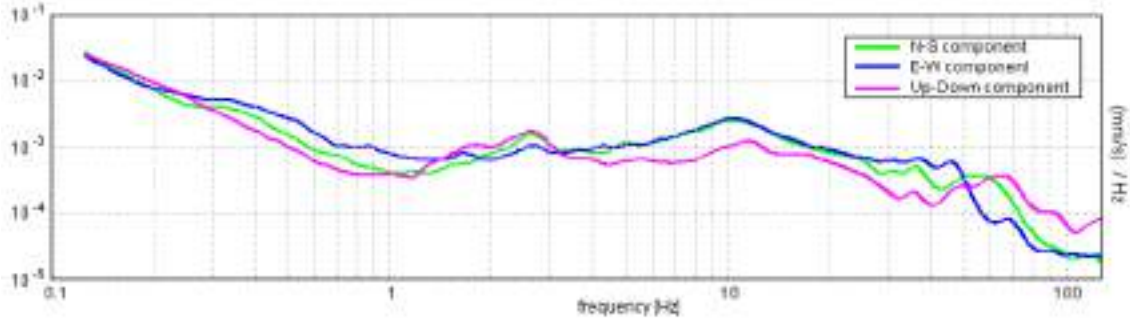


Figura 16: Rapporti spettrali H/V vs Hz e spettri delle singole componenti **acquisizione TR1**.

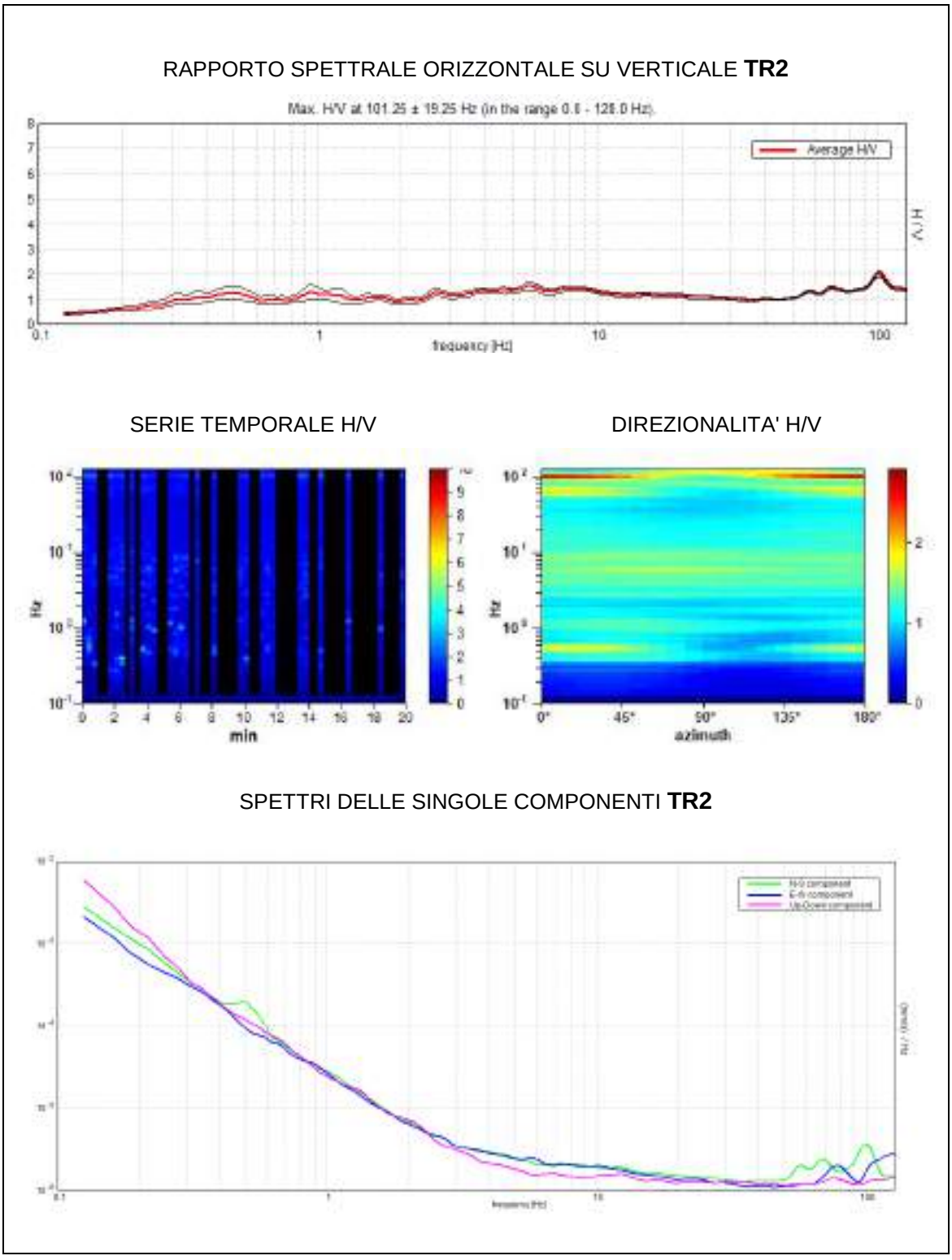


Figura 17: Rapporti spettrali H/V vs Hz e spettri delle singole componenti **acquisizione TR2**.

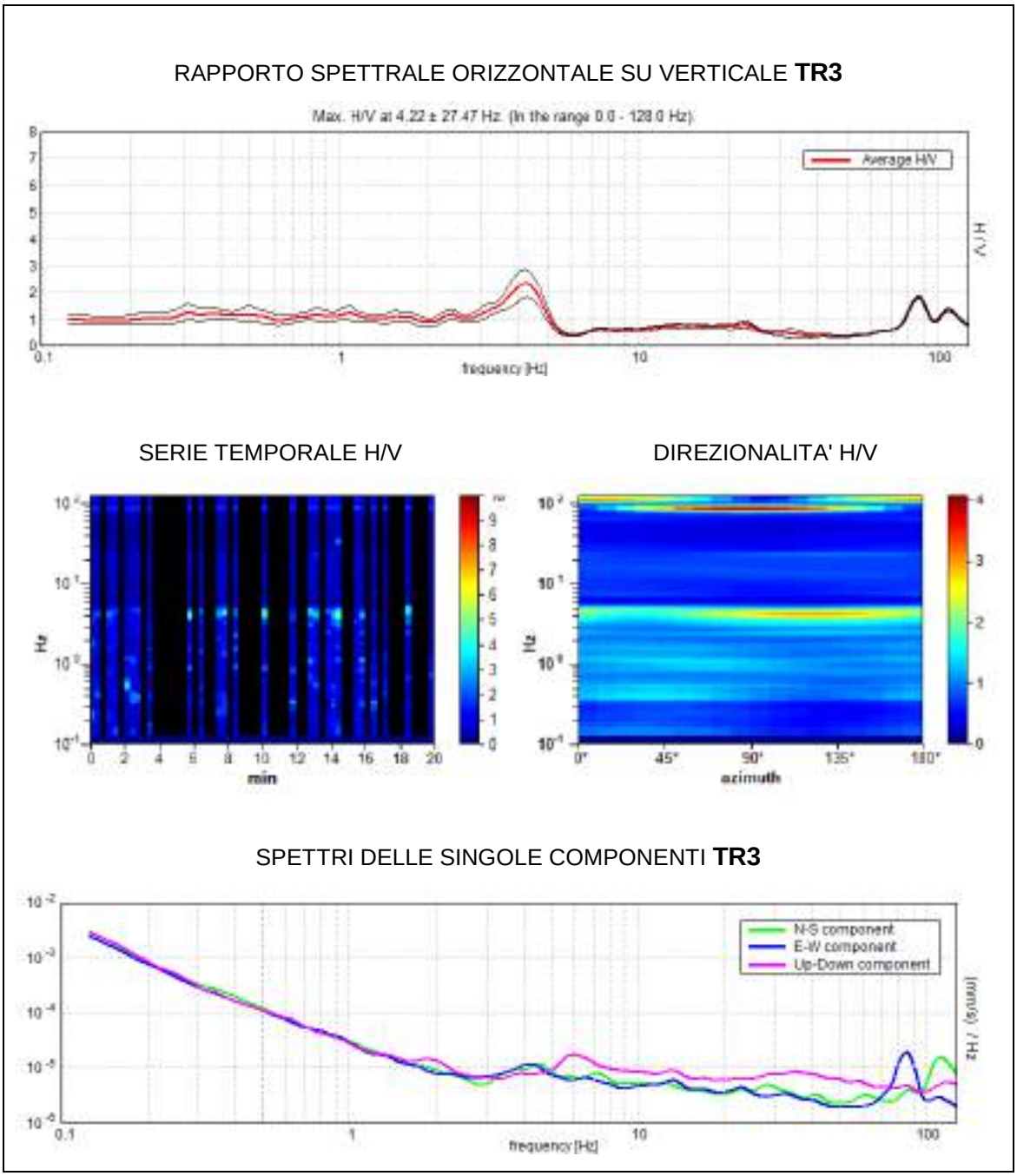


Figura 18: Rapporti spettrali H/V vs Hz e spettri delle singole componenti **acquisizione TR3**.

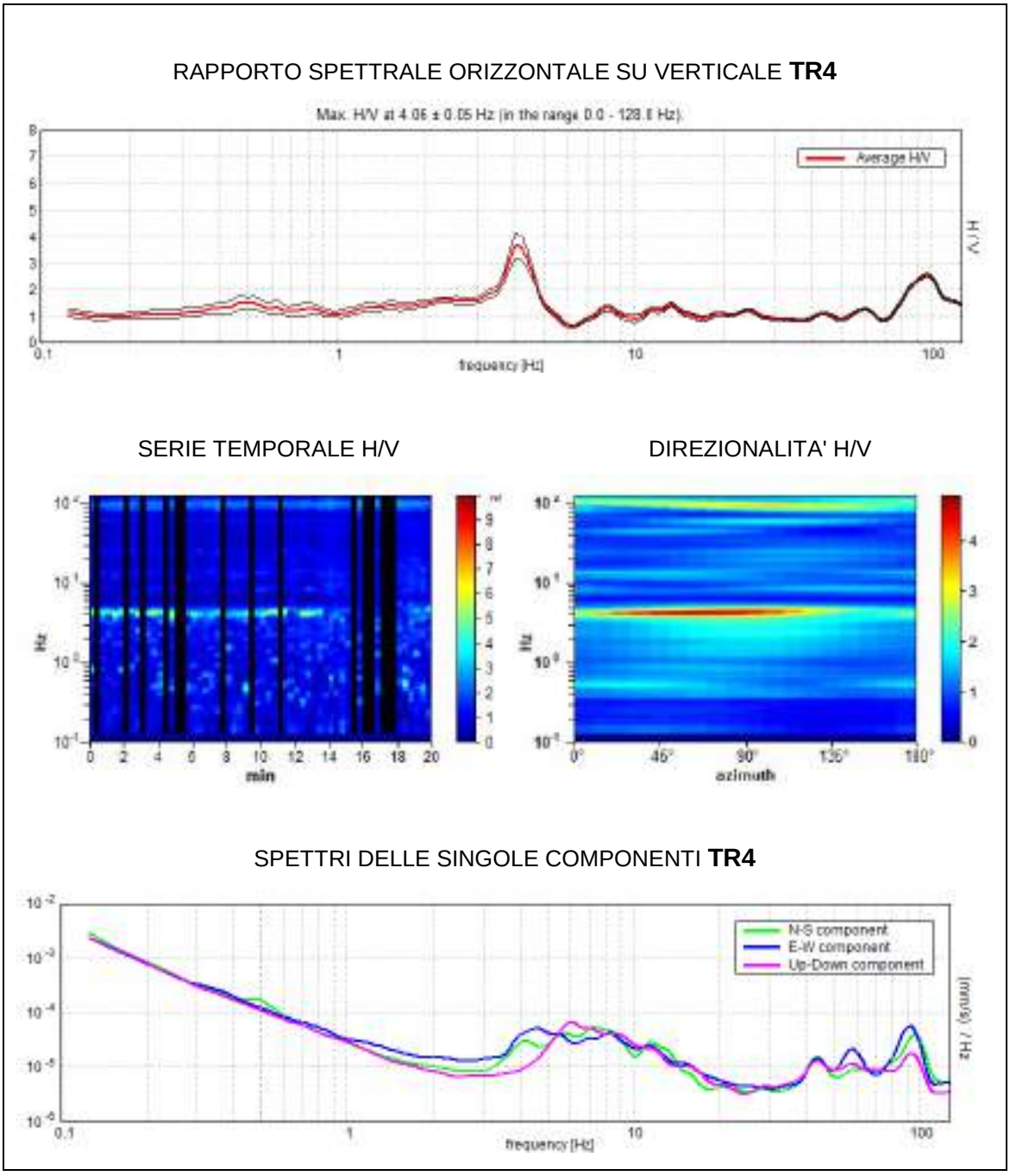


Figura 19: Rapporti spettrali H/V vs Hz e spettri delle singole componenti **acquisizione TR4**.

5 OSSERVAZIONI CONCLUSIVE

Sulla base delle indagini eseguite è possibile osservare quanto segue:

STENDIMENTI M.A.S.W. L1 ed L2, H.V.S.R. TR1 e TR2

In riferimento a tali indagini, eseguite in corrispondenza del gradone caratterizzato dal sub-affioramento dei litotipi rocciosi calcarei, esse hanno permesso di stimare le velocità delle onde di taglio che caratterizzano tali materiali e che risultano essere superiori agli 800 m/s, ad esclusione di un primo livello superficiale verosimilmente alterato e/o parzialmente disarticolato, con Vs comprese tra 480 m/s e 660 m/s.

Inoltre le elaborazioni H.V.S.R. delle misurazioni eseguite in tale ambito non hanno messo in evidenza, nei grafici riportanti il rapporto spettrale della componente orizzontale su quella verticale, la presenza di picchi di frequenza significativi a causa dell'attenuazione del segnale da parte del bedrock, coerentemente con la situazione litologica riscontrata.

STENDIMENTI M.A.S.W. L3 ed L4, H.V.S.R. TR3 e TR3

Tali indagini sono state eseguite in corrispondenza del bacino di accumulo prima dei limi di lavaggio dell'attività di cava e successivamente dei materiali di risulta di escavazioni ed hanno permesso di stimare sia le loro velocità delle onde di taglio che la profondità della loro interfaccia. Per quanto riguarda le velocità V_s, i soprastanti materiali di risulta delle escavazioni (argilliti compattate meccanicamente) presentano valori indicativamente compresi tra 460 m/s e 575 m/s mentre i sottostanti limi di lavaggio sono caratterizzati da valori di V_s indicativamente compresi tra 365 e 465 m/s. L'interfaccia tra le due tipologie di materiali è stimabile a profondità dell'ordine di 12÷15 metri rispetto al piano di esecuzione degli stendimenti alla data del 18.09.2018.

Le elaborazioni H.V.S.R. delle due misurazioni in tale ambito mostrano entrambe un netto picco nelle corrispondenze di un range di frequenze compreso tra **4.0 Hz e 4.5 Hz** valori che

rappresentano pertanto la **frequenza caratteristica di risonanza del sito** e che sono associabili alla presenza al di sotto dei limi di lavaggio del bedrock calcareo precedentemente descritto.

In tale ambito l'indagine attiva M.A.S.W. non ha permesso di determinare la profondità del passaggio tra i limi di lavaggio ed il substrato roccioso calcareo, in quanto superiore alla massima profondità indagata con tale tecnica. Tale passaggio è in ogni caso stimabile, in maniera comunque meno puntuale, mediante le elaborazioni H.V.S.R. e risulta indicativamente collocarsi tra i 40 ed i 45 metri di profondità rispetto al piano di esecuzione delle prospezioni alla data del 18.09.2018.

6 ALLEGATI

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA

