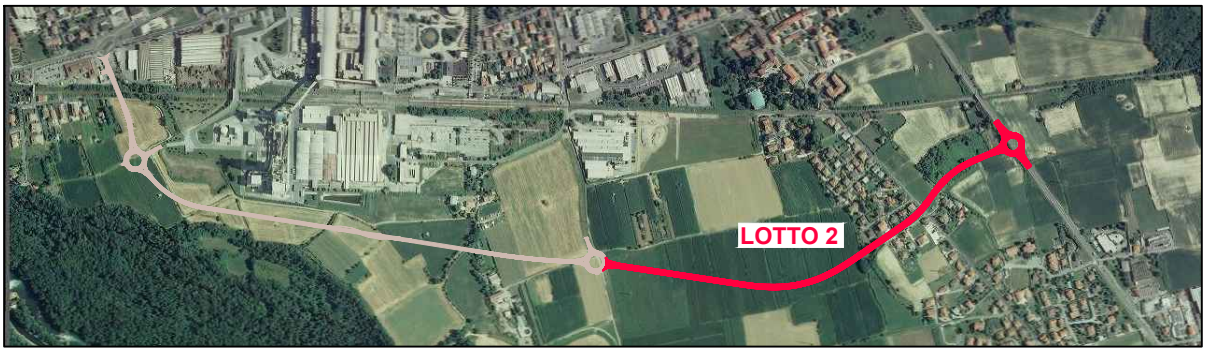
COMUNE DI CALUSCO D'ADDA

PROVINCIA DI BERGAMO



VARIANTE ALLA S.P. 166 TRACCIATO A SUD DELL'ABITATO DI CALUSCO D'ADDA - LOTTO N. 2

PROGETTISTI

Dott. Arch. Giosuè Savoldelli

via G. Rosa, 13/F - 24125 Bergamo (BG) - mail: gio.savoldelli@gmail.com

Dott. Ing. Fatima Midali

via Ing. S. Calvi, 59 - 24014 Piazza Brembana (BG) - fatima.midali@gmail.com

RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO

Dott. Ing. Giuseppe Barbera

Piazza S. Fedele, 1 - 24033 CALUSCO D'ADDA (BG)
Tel. 035.4389011 - email: protocollo@pec.comune.caluscodadda.bg.it

PROGETTO DEFINITIVO - ESECUTIVO

RELAZIONI GENERALE, TECNICHE E SPECIALISTICHE

OGGETTO

Relazione geologico – geotecnica

TAVOLA / ALLEGATO

A03

ORIENTAMENTO	N. DOCUMENTO
DATA 15/01/2021	SCALA

AGGIORNAMENTO

DESCRIZIONE	DATA	REVISIONE
Aggiornamento per verifica	26/04/2021	REV01
Aggiornamento 2023	24/03/2023	REV02

FABIO BAIO * *geologo*
Via Roma, 6
24030 CAPRINO BERGAMASCO (BG)
Tel./fax: 035.784850 - Cell.: 348.4077470
E-mail.: fabio.baio@geologico.191.it
PEC: f.baio@epap.sicurezzapostale.it

AMMINISTRAZIONE COMUNALE di CALUSCO

RELAZIONE GEOLOGICA, GEOTECNICA E SISMICA RIEPILOGATIVA PER IL COMPLETAMENTO DELLA NUOVA CIRCONVALLAZIONE DI CALUSCO DALLA SP n° 166 alla SP n° 170 "RIVIERASCA" A CALUSCO D'ADDA - (Provincia di BERGAMO)

DATA	Marzo-aprile 2021	
OGGETTO	Relazione geologica, geotecnica e sismica	
REDAZIONE GENERALE	*dott. geol. Fabio BAIO* *dott. Simone BAIO*	
SISMICA	*dott. geol. Andrea GRITTII*	
APPROVAZIONE	dott. geol. *Fabio BAIO*	

SOMMARIO

- PREMESSA
- NORMATIVA
- INQUADRAMENTO GEOLOGICO e GEOMORFOLOGICO
- CONSIDERAZIONI IDROGEOLOGICHE
- NOTE DI METEOROLOGIA E PLUVIOMETRIA
- PROVE PENETROMETRICHE e SISMICA INDAGINE PRELIMINARE 2004
- SISMICA A RIFRAZIONE GEOGNOSTICA del 2004
- PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE DPSH – SCPT
- SONDAGGI MECCANICI A CAROTAGGIO CONTINUO
  - Generalità
  - Modalità operative
- POZZETTI ESPLORATIVI SUPERFICIALI
  - Generalità
  - Pozzetti 1, 2, 3, 4 e 5
- *OCCHI POLLINI*
- STRATIGRAFIA DEI TERRENI SUPERFICIALI
  - Tratto
  - Tratto
- PROVE DI LABORATORIO
- SINTESI GEOTECNICA
- INDAGINE SISMICA RIFRAZIONE MASW
  - Tipo MASW
  - ELABORAZIONE DEI DATI
  - Risultati delle indagini
  - Zona sismica, classificazione del sito, parametri
  - Risposta sismica, amplificazione, I° Livello, II° Livello
  - Liquefazione
- PROVE DI LABORATORIO SULLE TERRE
- DISPERSIONE DELLE ACQUE METEORICHE DA SMALTIRE
- CONCLUSIONI

Allegati (nel testo):

- Corografia (3)
- Stralcio carta geologica e legenda (2)
- Sezioni geologica-idrogeologiche
- Scherma planimetrico generale (foto satellitare e planimetria)
- Stralci planimetrici e localizzazione delle indagini
- Planimetria del tracciato preliminare e ubicazione delle prove 2004
- Documentazione fotografica 2004
- Diagramma delle prove penetrometriche SCPT 2004 (5)
- Profili di dromocrona della sismica a rifrazione geognostica (2004) (10)
- Ubicazioni delle indagini del 2015 del II° Lotto
- Diagramma delle prove penetrometriche SCPT (3)
- Scheda tecnica della macchina (sonda) di perforazione (2)
- Stratigrafia dei sondaggi (5)
- Certificati delle analisi di laboratorio del 2015 (9)
- Foto, diagrammi e tabelle del paragrafo sismico
- Certificati delle analisi di laboratorio sulle terre (18)
- Documentazione fotografica delle cassette dei campioni (9)
- Fotografie dei pozzetti esplorativi superficiali (5)
- Fotografie delle attività di campo

(File – **CaluscoAmministrazionecomunaleSavoldelliCirconvallazione698**

PREMESSA

Su incarico dell'AMMINISTRAZIONE COMUNALE di CALUSCO d'Adda (BG) e con il coordinamento del gruppo di lavoro dell'arch. G. SAVOLDELLI ho eseguito la presente integrazione di indagini con la sismica a rifrazione MASW e prove di laboratorio sul materiale di scavo per il progetto esecutivo del completamento della tangenziale (circonvallazione) sud di CALUSCO d'Adda (BG).

Il tratto stradale si pone come "variante" alla Strada Provinciale n° 166 verso il ponte di Calusco-Paderno e la provincia di Lecco e la strada Provinciale bergamasca "RIVIERASCA" n° 170 con "tracciato a Sud dell'abitato di Calusco d'Adda ".

In realtà è di recente ultimazione il primo tratto dalla S.P. 166 (direzione ponte di Calusco-Paderno) e la nuova zona industriale, mentre il progetto esecutivo in preparazione riguarda il lotto di completamento tra la nuova zona industriale e la strada provinciale "RIVIERASCA".

L'indagine è stata concordata articolata in :

- 1 linea sismica rifrazione con configurazione MASW per la caratterizzazione sismologica dei terreni coinvolti (soprattutto dall'importante opera "galleria artificiale" a confine dei comuni di Solza e Calusco a intersezione della via Dante "vecchia rivierasca")
- serie di analisi di laboratorio fisico-geotecnico di caratterizzazione del materiale che verrà scavato nella galleria artificiale (frutto dei sondaggi del 2015) per le possibilità di stabilizzazione e trattamento a calce o cemento per l'ipotesi di reimpiego come materiale per realizzare rilevati.

La presente indagine completa una precedente relazione e indagine preliminare *"STUDIO GEOLOGICO TECNICO RELATIVO AL PROGETTO PRELIMINARE PER LA REALIZZAZIONE DELLA VARIANTE ALLA S.P. 160 TRACCIATO A SUD DELL'ABITATO DI CALUSCO d'Adda „ IPOTESI DI PROGETTO CON GALLERIA E SVINCOLO NEL TERRITORIO DEL COMUNE DI SOLZA (Provincia di BERGAMO)*" del Febbraio 2004 redatto dalla società SOGETEC Srl di Villa d'Adda (BG) a firma del sottoscritto.

Successivamente su richiesta degli ingg. G. GUALA e M. VERDINA ho redatto *"RAPPORTO SULLE INDAGINI GEOGNOSTICHE INTEGRATIVE E RELAZIONE GEOLOGICA E IDROGEOLOGICA PER IL PROGETTO ESECUTIVO DELLA NUOVA TANGENZIALE A SUD DI CALUSCO D'ADDA (Provincia di BERGAMO)*" dell'agosto 2015 redatto e a firma del sottoscritto.

NORMATIVA

Il presente elaborato si rende necessario in accordo alle seguenti normative.

L.r. 33/2015 Disposizioni in materia di opere o di costruzioni e relativa vigilanza in zone sismiche"

D.g.r. N° X/5001 "Approvazione delle linee di indirizzo e coordinamento per l'esercizio delle funzioni trasferite ai comuni in materia sismica".

Decreto Ministeriale 14.01.2008. Testo Unitario - Norme Tecniche per le Costruzioni.

D.g.r. N° IX/ 2616 "Aggiornamento criteri e indirizzi per la definizione della componente simica del P.G.T."

Decreto Ministeriale 14.01.2008. Testo Unitario - Norme Tecniche per le Costruzioni.

Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici. Istruzioni per l'applicazione delle "Norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. 14 gennaio 2008. Circolare 2 febbraio 2009.

Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici. Pericolosità sismica e Criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale. Allegato al voto n. 36 del 27.07.2007

Eurocodice 8 (1998). Indicazioni progettuali per la resistenza fisica delle strutture. Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici (stesura finale 2003).

Eurocodice 7.1 (1997). Progettazione geotecnica – Parte I : Regole Generali – UNI. Eurocodice 7.2 (2002). Progettazione geotecnica – Parte II: Progettazione assistita da prove di laboratorio (2002) – UNI.

Eurocodice 7.3 (2002). Progettazione geotecnica – Parte II: Progettazione assistita con prove in sito (2002) – UNI.

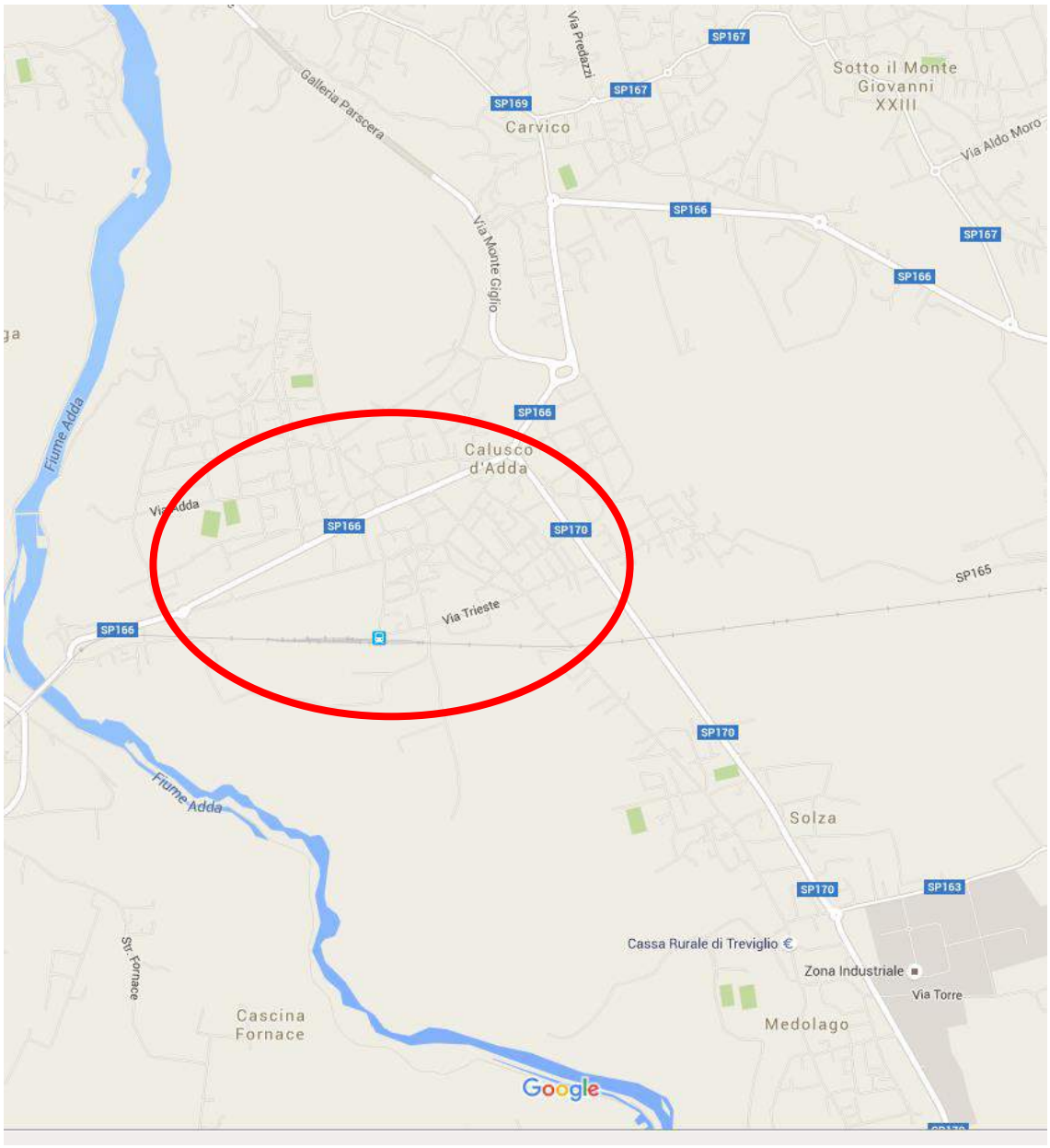
L.R. 11 marzo 2005 n. 12. E rispettivi criteri attuativi definiti con D.G.R. 22/12/05, n. 8/1566 "Criteri ed indirizzi per la definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica del piano di governo del territorio, in attuazione dell'art. 57 della L.R. 11 marzo 2005, n. 12" e s.m.i.

D.L. n° 152 "TESTO UNICO DELL'AMBIENTE" del 03/04/2006

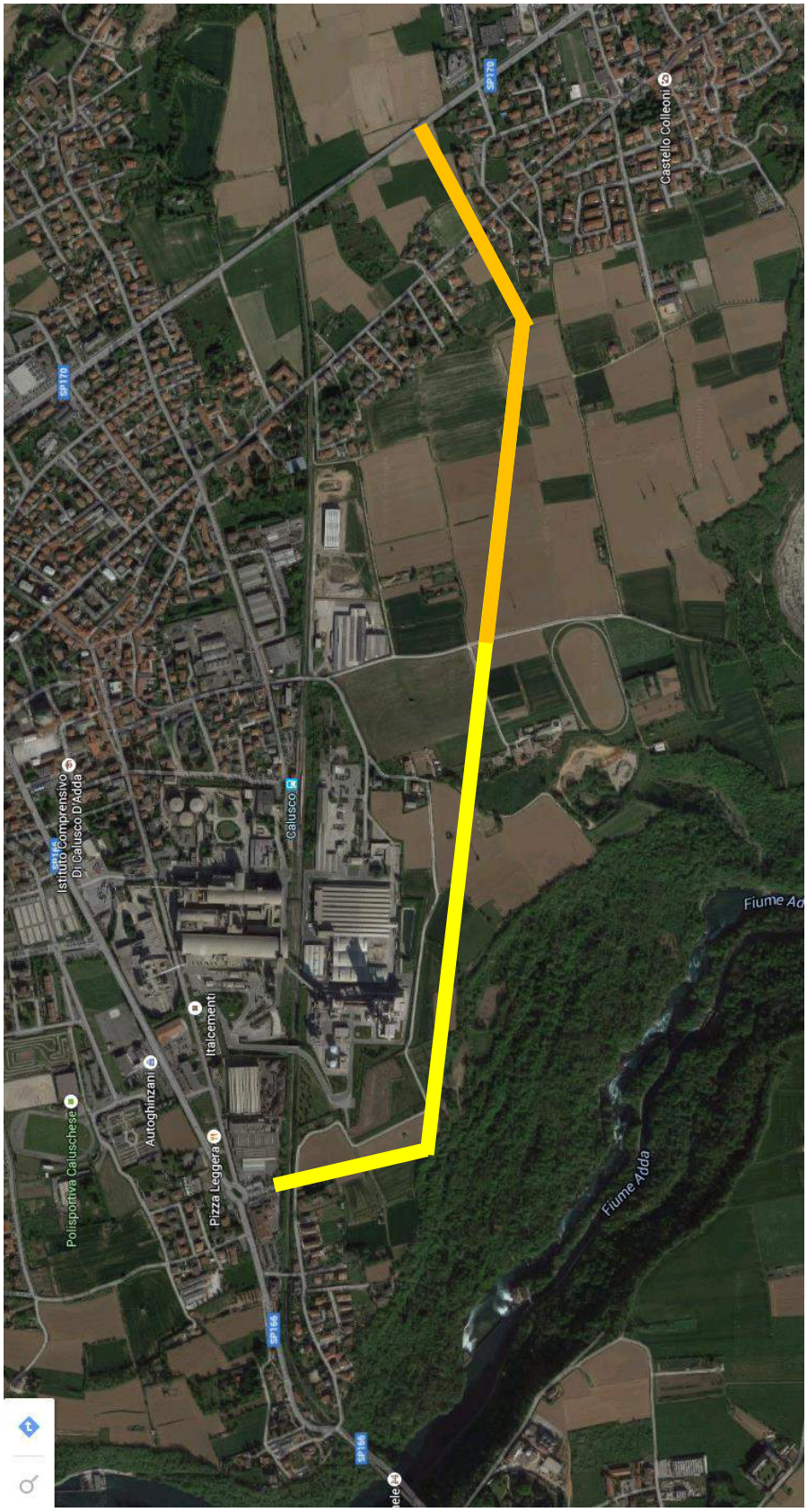
Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n° 3274 del 20 Marzo 2003 relativa alla normativa sismica

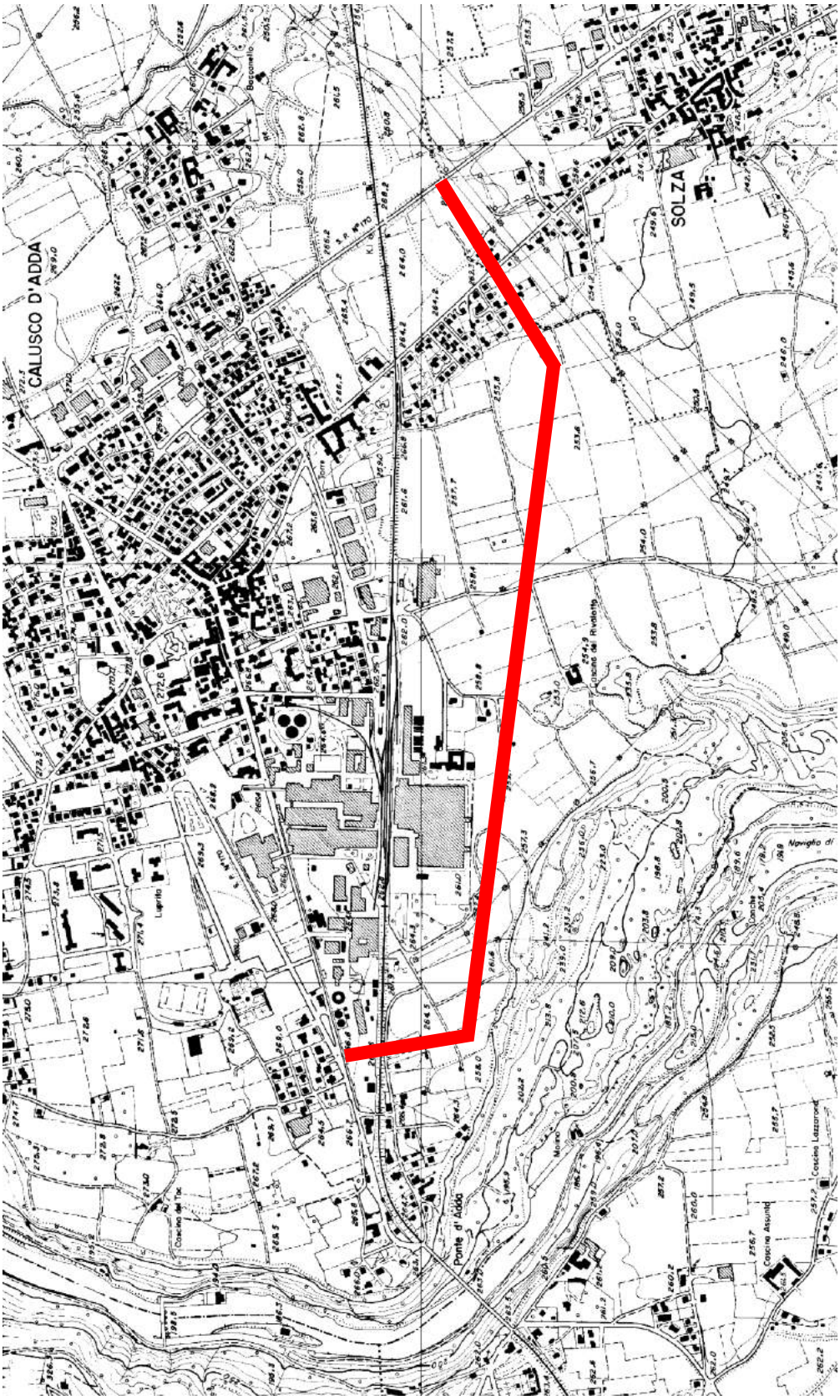
Decreto Ministeriale 17.01.2018. Aggiornamento - Norme Tecniche per le Costruzioni.

Regolamento Regionale recante criteri e metodi per il principio dell'**INVARIANZA IDRAULICA**: R.R. n° 7 del 23/11/2007 e RETTIFICA e aggiornamento con R.R. n° 8 del 19 aprile 2019.



1. Corografia (da Google: sopra stradario – sotto immagine satellitare e poi CTR regionale aerofotogrammetrico in scala originaria 1:10.000 sezione B5e3)
AMM. COMUNALE di CALUSCO – Bergamo
PROGETTO ESECUTIVO della nuova tangenziale a sud del centro abitato
Relazione generale geologica, idrogeologica, geotecnica e sismica


SP170
Castello Colleoni
SP170
Istituto Comprensivo
Di Calusco D'Adda
SP136
Calusco
Italcementi
Autoghinzani
Polisportiva Caluschese
Pizza Leggera
SP136
Fiume Adda
SP136


CALUSCO D'ADDA
SOLZA
Ponte d' Adda

INQUADRAMENTO GEOLOGICO - GEOMORFOLOGICO

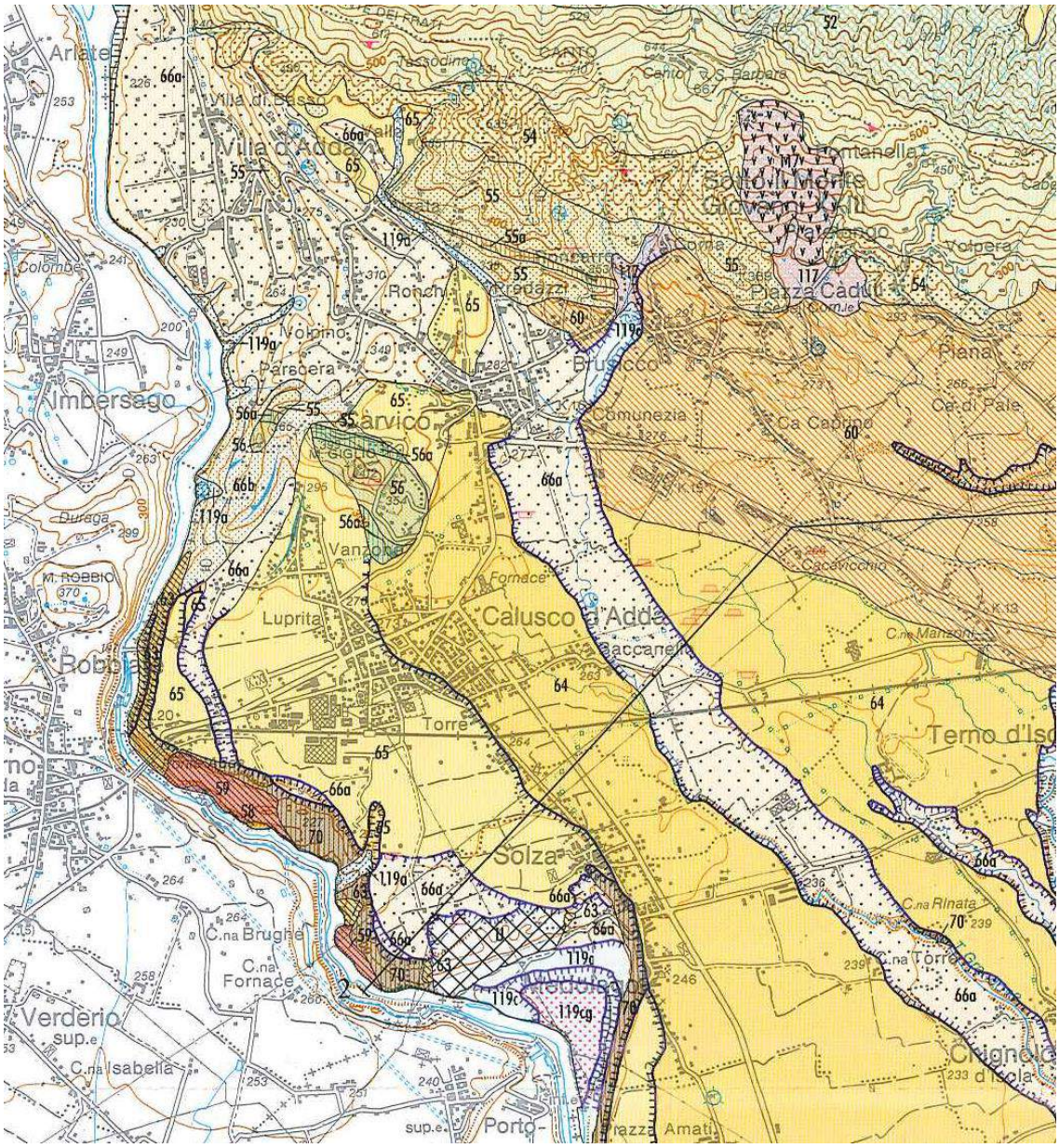
L'area interessata dall'intervento è posta nella fascia centro-settentrionale dell'isola bergamasca e compresa tra gli abitati di Calusco d'Adda e Solza (Isola Bergamasca - provincia di Bergamo), ad una quota compresa tra 255 e 265 m circa s.l.m..

Dal punto di vista geomorfologico l'area è interamente pianeggiante ed è interrotta solamente dagli orli dei terrazzi fluvioglaciali che interessano questo settore.

Dal punto di vista sedimentario-granulometrico, l'area è invece quasi del tutto caratterizzata da depositi fluvioglaciali legati sia all'***Unità di Carvico*** che all'***Unità di Medolago,*** entrambe appartenenti al Bacino dell'Adda (da "*Carta Geologica della Provincia di Bergamo*" a cura dell'Amministrazione Provinciale di Bergamo).

L'***Unità di Carvico,*** caratterizza tutta l'area in esame, dal raccordo con la S.P. n°170 "rivierasca" fino alle abitazioni di via Brughiere; è di età stimata al Pleistocene medio - Pleistocene superiore, è costituita da una coltre di alterazione argilloso-sabbiosa, di colore rossastro-bruno avente uno spessore variabile di 3.0-4.0 metri (anche se l'indagine da noi eseguita ha evidenziato spessori maggiori); tale coltre è il prodotto di alterazione delle sottostanti ghiaie a supporto clastico con matrice sabbioso limosa e ciottoli da arrotondati a subspigolosi con locale prevalenza della frazione sabbiosa.

Il limite inferiore dell'***Unità di Carvico*** è marcato dal passaggio all'***Unità di Medolago*** (Pleistocene medio) caratterizzata da ghiaie poligeniche a supporto di matrice argillosa di origine fluvioglaciale; tale matrice è in realtà è spesso poco abbondante e poco significativa dal punta di vista geotecnico.
Questa seconda unità stratigrafica interessa, invece, il restante settore interessato dal progetto.



1. CARTA GEOLOGICA (stralcio della carta geologica della Provincia di Bergamo in scala originaria 1:50.000)
AMM. COMUNALE di CALUSCO d'ADDA (Bergamo)
PROGETTO ESECUTIVO della nuova tangenziale a sud del centro abitato
Relazione generale geologica, idrogeologica, geotecnica e sismica

BACINO DELL'ADDA

66 66b 66a

UNITA' DI CANTU' (66)
66a) depositi fluvioglaciali.
66b) depositi glaciali.
Inoltre, non distinti (66): depositi di contatto glaciale, deltizi, lacustri e di versante. Clasti di litotipi dell'Alto Lario e della Valtellina. Superficie limite superiore: morfologie ben conservate, copertura loessica assente, profilo di alterazione poco evoluto con profondità massima del fronte di decarbonatazione di circa 2 m, colore 10YR. *PLEISTOCENE SUPERIORE*

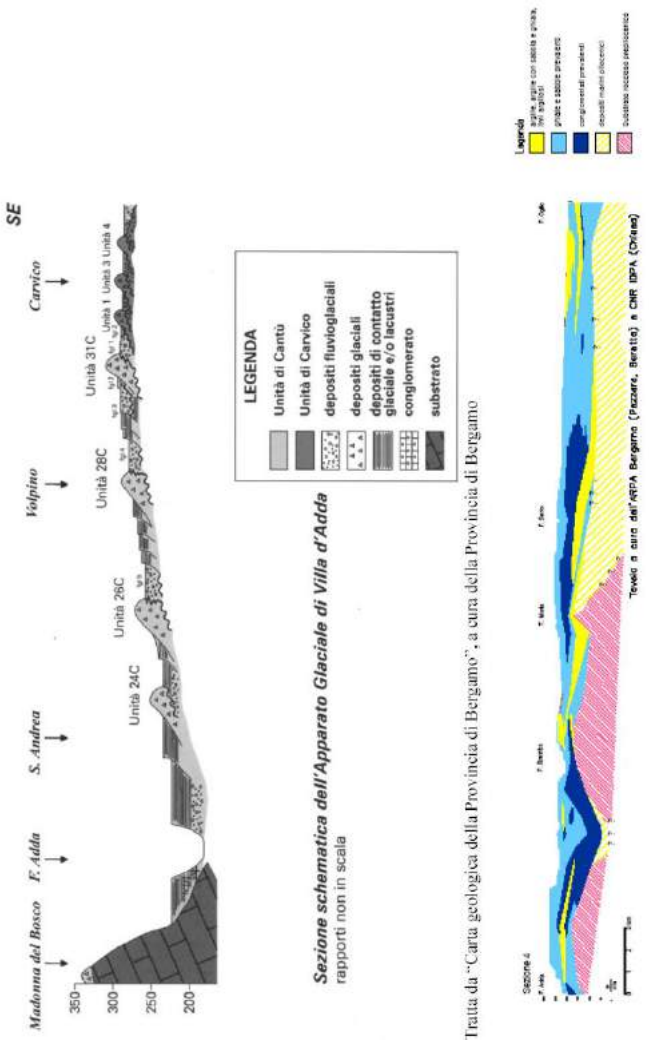
65

UNITA' DI CARVICO (65)
Depositi glaciali e fluvioglaciali. Clasti di litotipi dell'Alto Lario e della Valtellina. Superficie limite superiore: morfologia ben conservata, copertura loessica discontinua presente, profilo di alterazione evoluto con profondità massima del fronte di decarbonatazione compreso tra 3 e 4 m, colore 7.5YR. *PLEISTOCENE MEDIO - SUPERIORE ?*

64

UNITA' DI MEDOLAGO (64)
Depositi fluvioglaciali. Superficie limite superiore caratterizzata da copertura loessica con suoli a fragipan di spessore massimo 3 m, colore tra 5YR e 10YR. L'unità è completamente alterata. *PLEISTOCENE MEDIO*

A grande scala tutta la zona è posta su terrazzi fluvioglaciali con un dislivello massimo tra loro di 10-12 m circa. Nel particolare l'area di studio è posta proprio su uno di questi ripiani, intermedio, con andamento N-S subpianeggiante che raccorda l'alveo del fiume Adda con la circostante pianura e con i primi sistemi collinari terziari (dorsale del M. Canto).



CONSIDERAZIONI IDROGEOLOGICHE

Come evidenziato in precedenza, i depositi continentali che caratterizzano questo settore (la piana fluvioglaciale del Fiume Adda) sono granulometricamente grossolani e pertanto con buone potenzialità idrogeologiche (permeabilità e trasmissività medio-elevate); questo fatto comporta anche, e comunque, una grande capacità di smaltimento delle acque meteoriche e superficiali di piccoli corsi d'acqua con nessuna possibilità di rilevare in superficie anche piccole falde sospese.

In base ai dati raccolti e quanto osservato in studi precedenti, nell'area in esame (e per quanto d'interesse del presente studio) è la stessa *Unità di Cantù* a costituire la principale unità idrogeologica.
Lo spessore complessivo dei sedimenti interessati dalla ricostruzione della struttura idrogeologica è generalmente intorno ai 60-80 m.

Le valutazioni delle caratteristiche di permeabilità e trasmissività sono state desunte in modo indiretto (granulometria degli acquiferi, relazioni tra parametri idrogeologici e portata specifica dei pozzi).
Si possono stimare valori di trasmissività da media a elevata (da 10^{-3} a $2x10^{-3}$ m^2/s), coefficiente di infiltrazione efficace anche rilevanti (0.2).

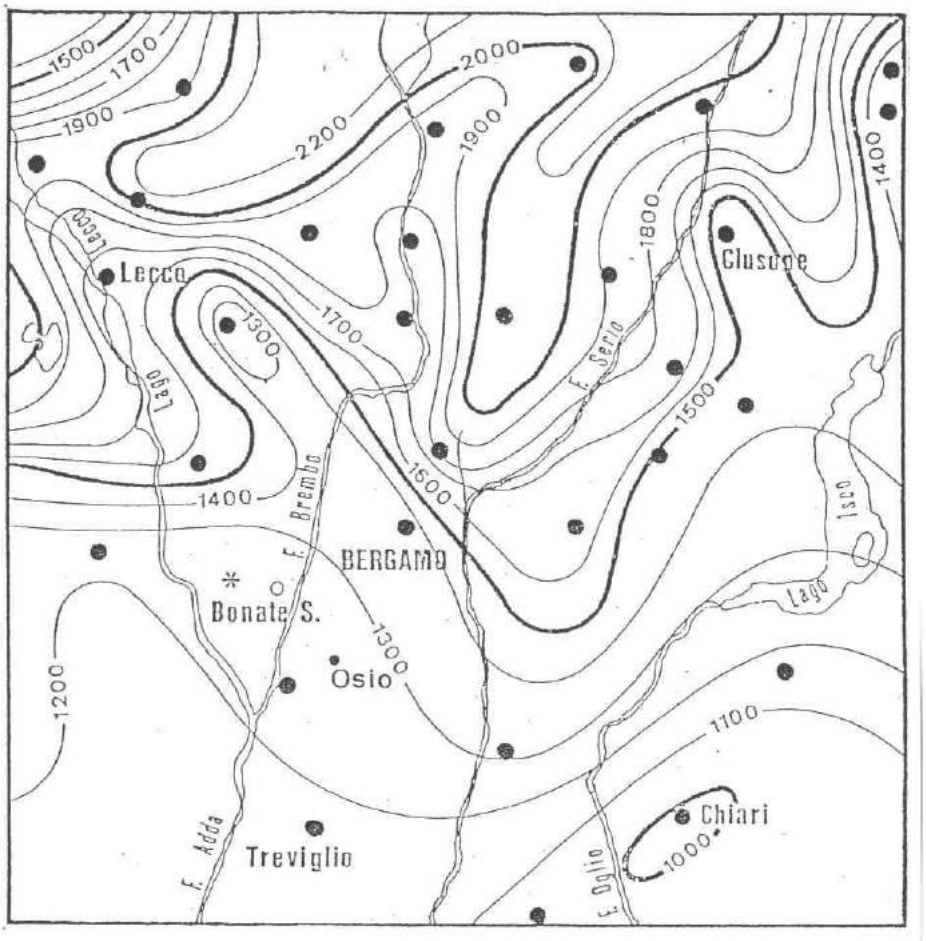
Le caratteristiche stratigrafiche, idrogeologiche e piezometriche dell'area interessata dalla realizzazione della nuova strada, anche in assenza di sondaggi profondi specifici e dedicati, sono state desunte da cognizioni generali e dall'esame dei dati dei pozzi presenti nell'intorno.

La superficie freatica della falda si localizza a 50-60 metri dal piano di campagna.

NOTE DI METEOROLOGIA E PLUVIOMETRIA

Ho analizzato le pluviometrie di circa 10 anni in alcune stazioni nelle vicinanze dell'area in esame (Bergamo, Cisano Bergamasco e Brembate St.) nel decennio 1956-66.

La carta delle precipitazioni nell'anno 1966, riportata di seguito, evidenzia l'andamento delle isoiete nel territorio in esame.



I dati pluviometrici analizzati possono essere così sintetizzati:

§ i valori minimi mensili di precipitazioni (circa 50-60 mm) si hanno nei mesi di gennaio e febbraio: i valori massimi nei mesi di giugno e novembre (mediamente da 150 a 190 mm).

§ il numero dei giorni piovosi in un anno varia in media da 60 a 140 giorni

§ le precipitazioni medie annue nel territorio considerato, ottenute per interpolazione dei valori registrati a Cisano, Bergamo e Brembate (rispettivamente uguali a 1518.6, 1260.0 e 1255.4) sono comprese tra 1250 e 1350 mm/anno.

L'esame invece di circa 20 anni di piovosità, finalizzate alla ricerca delle piogge ***brevi e intense***, per il dimensionamento delle opere di smaltimento delle acque raccolte sulle superfici impermeabilizzate, consente di ricostruire un valore massimo di 60-80 mm/ora per piogge che però statisticamente **mostrano una durata media/massima di 20' minuti primi (')** e che sono localizzate essenzialmente (o comunque principalmente) nel mese di agosto.

Alla luce delle precipitazioni degli ultimi 2-3 anni, riteniamo però di dover prevedere, cautelativamente, e pur in assenza di dati pluviometrici ufficiali, un valore di 3 cm di acqua caduta durante una pioggia *breve e intensa* di durata di 20 minuti primi (precipitazione di 3 cm in 20 minuti primi di pioggia ininterrotta *breve e intensa*).

Immagine satellitare e tracciato e planimetria generale

INDAGINE E RELAZIONE PRELIMINARE 2004

Ubicazione delle prove penetrometriche del 2004 e delle linee di sismica a rifrazione tradizionale geognostica per investigazione stratigrafica

Postazione prova SCPT n°3

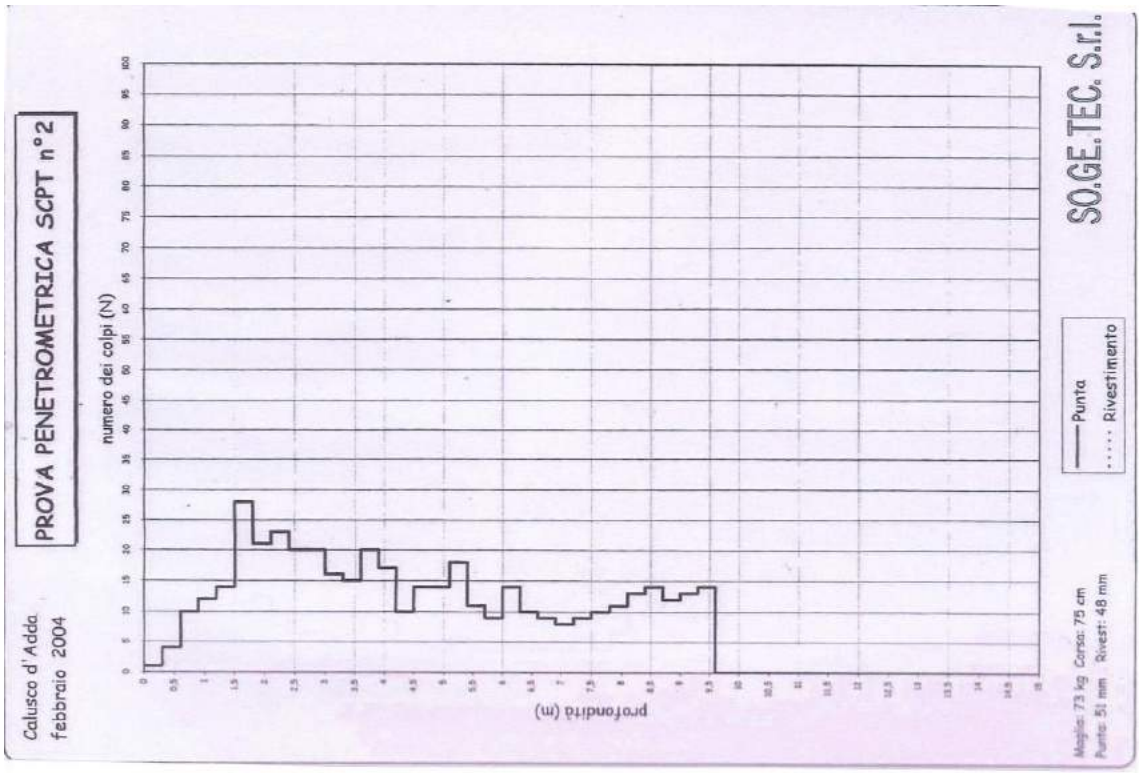
Postazione prova SCPT n°4

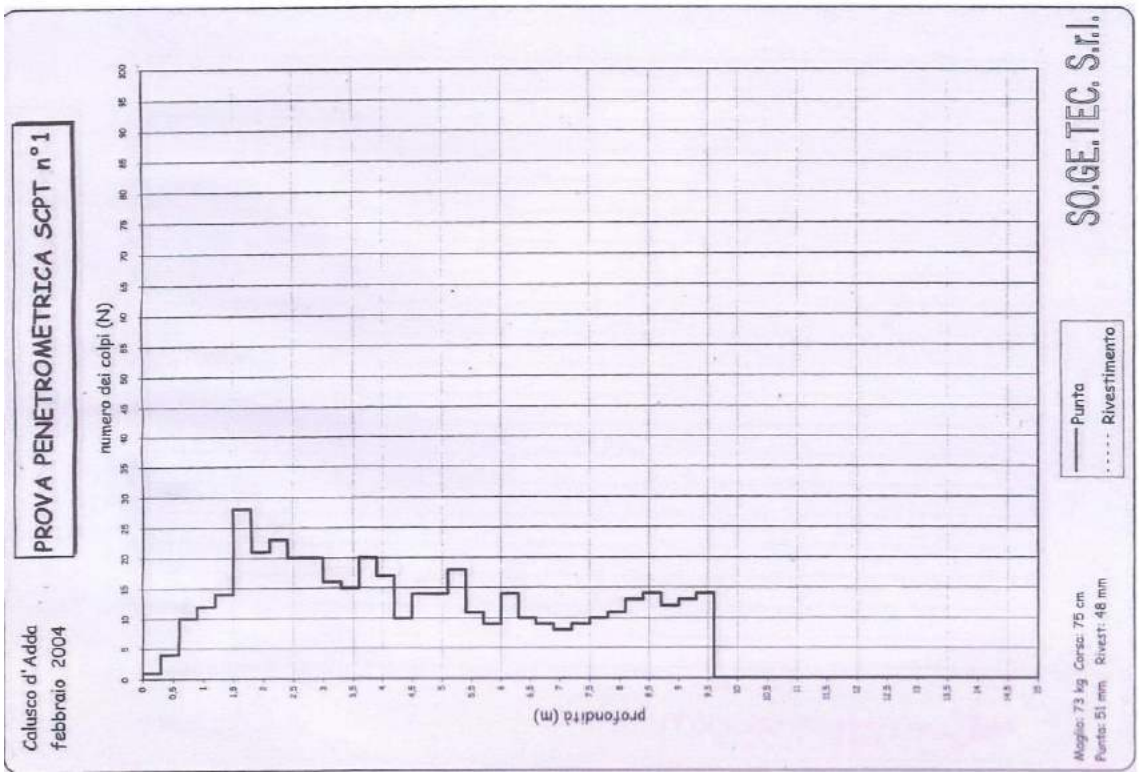
Postazione prova SCPT n°5

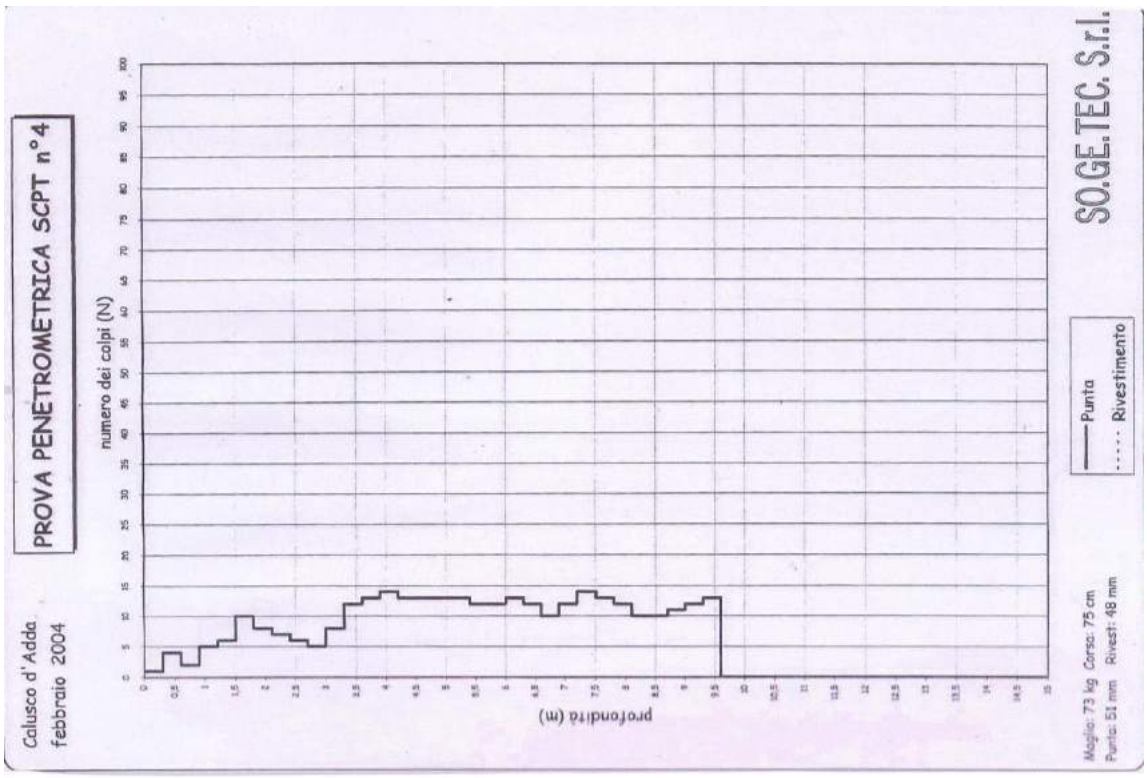
Postazione prova SCPT n°53

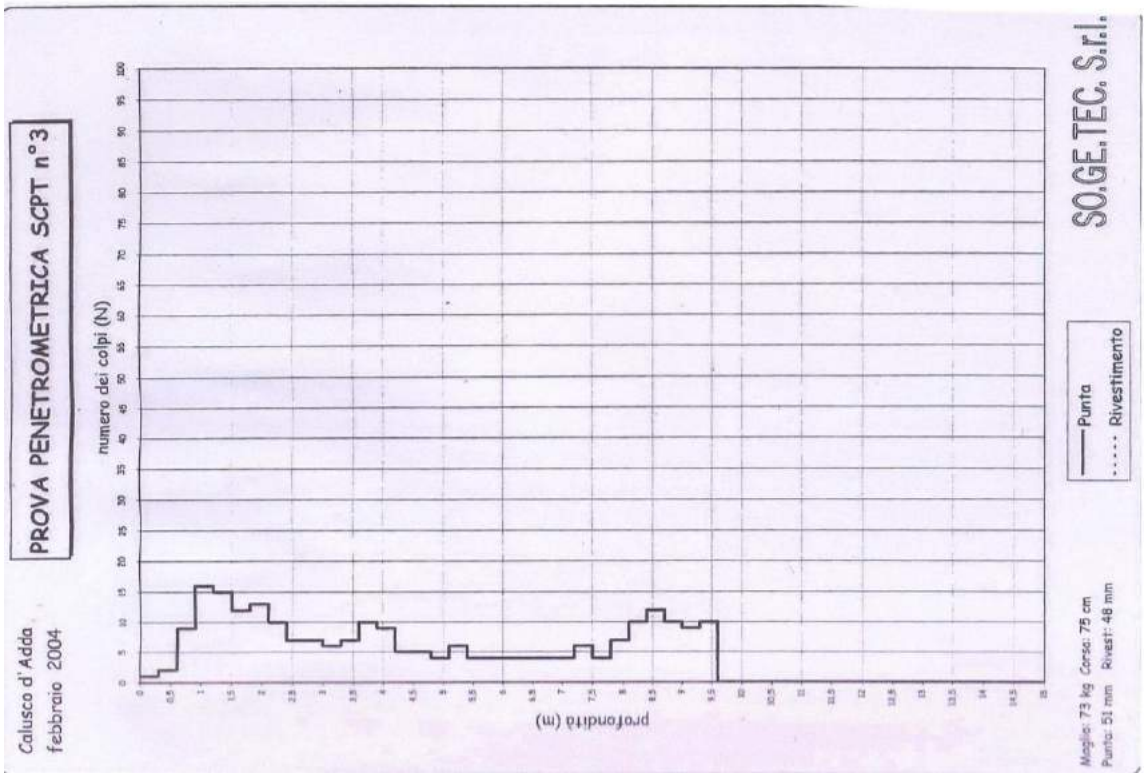
Postazione prova SCPT n°7

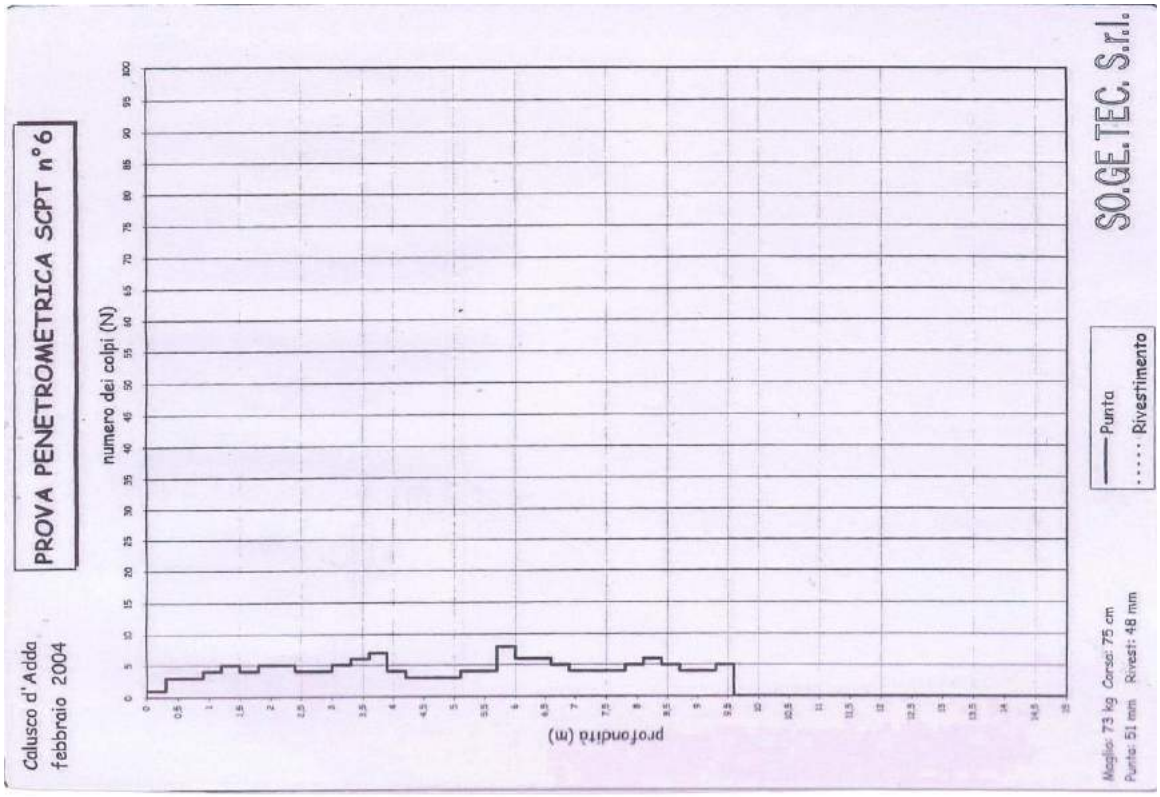
Postazione prova SCPT n°10

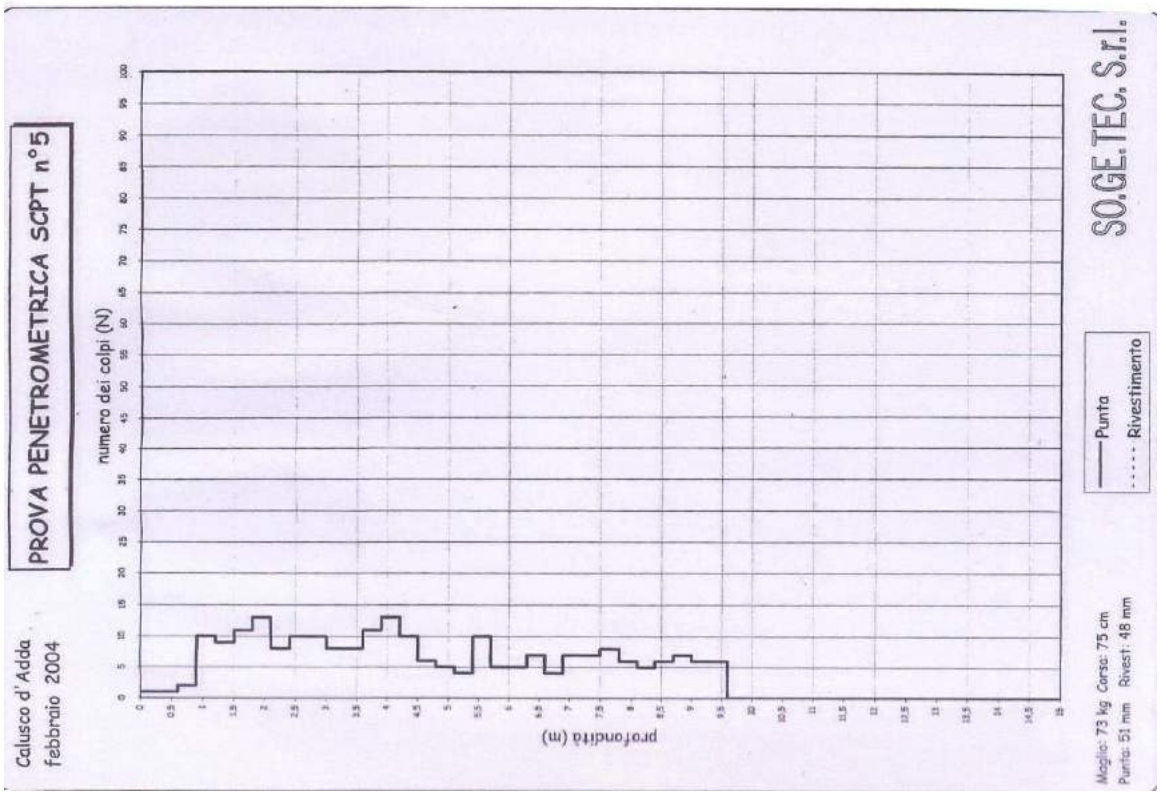

PROVA PENETROMETRICA SCPT n°2
Calusco d'Adda
febbraio 2004
numero dei colpi (N)
profondità (m)
Punta
Rivestimento
SO.GE.TEC. S.r.l.
Maglio: 73 kg Corsa: 75 cm
Punta: 51 mm Rivest: 48 mm

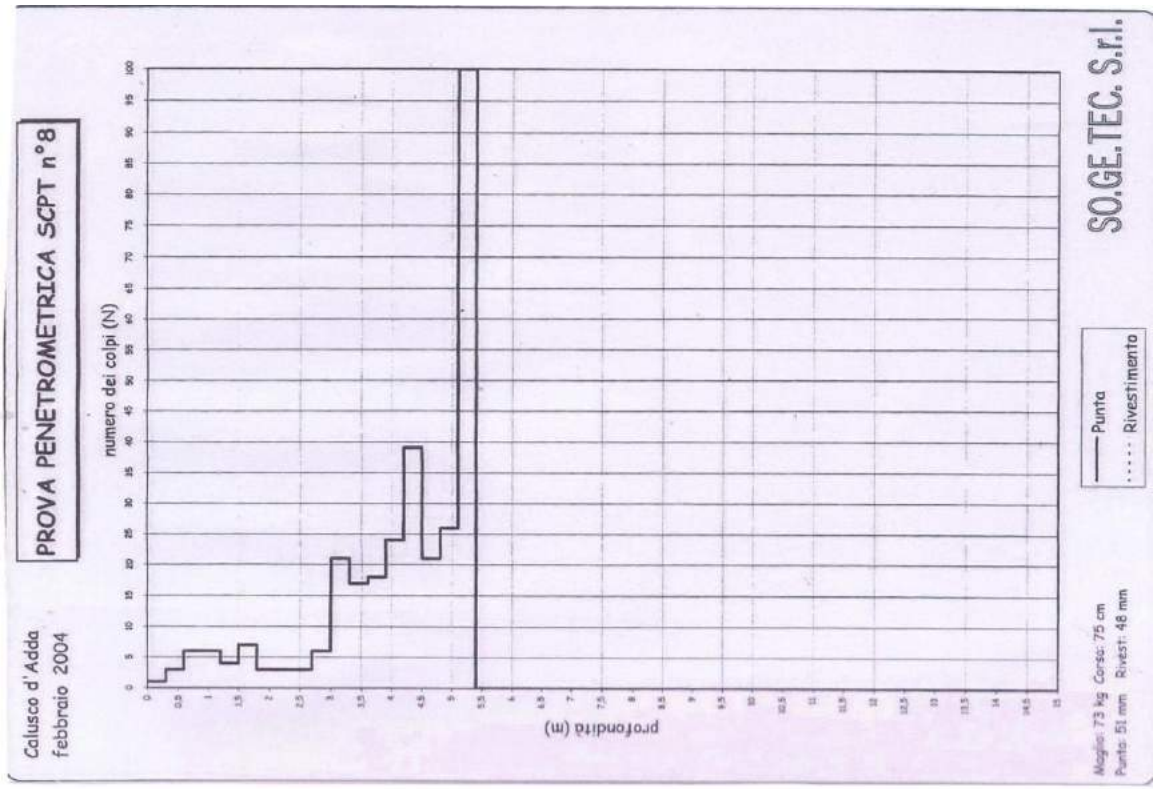

PROVA PENETROMETRICA SCPT n°1
Calusco d'Adda
febbraio 2004
numero dei colpi (N)
profondità (m)
Punta
Rivestimento
SO.GE.TEC. S.r.l.
Maglio: 73 kg Corsa: 75 cm
Punta: 51 mm Rivest: 48 mm

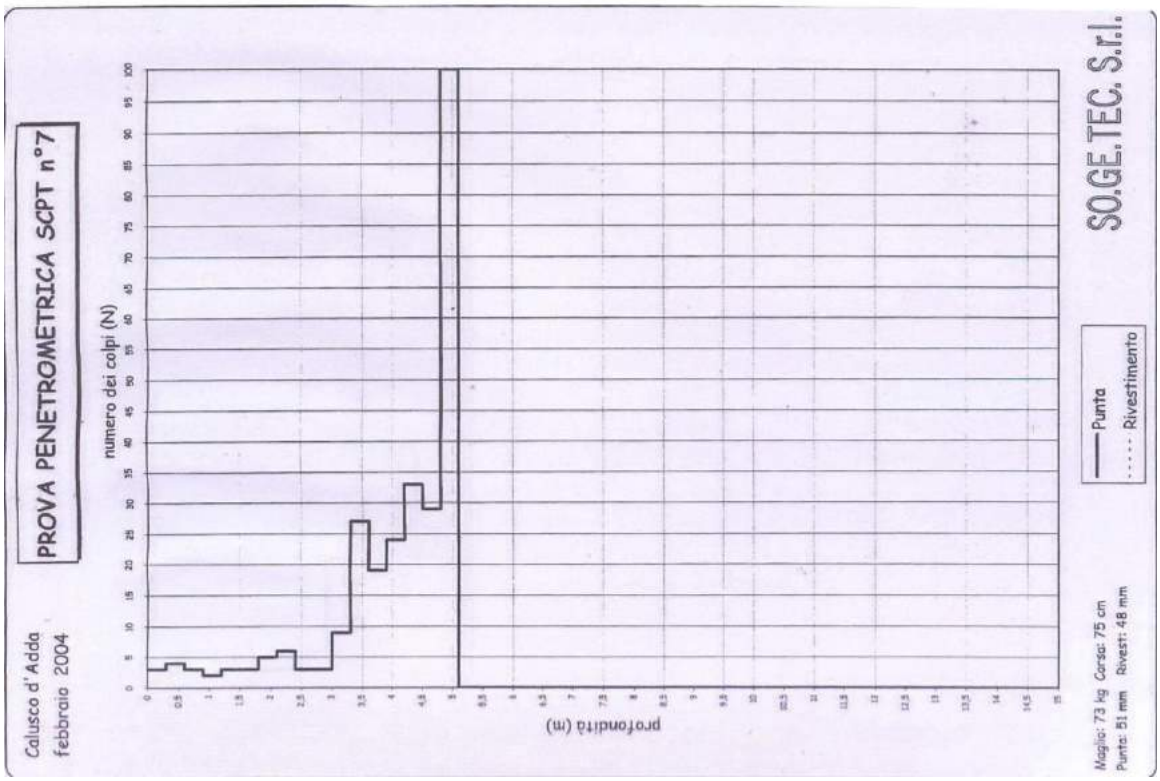

PROVA PENETROMETRICA SCPT n°4
Calusco d'Adda
febbraio 2004
numero dei colpi (N)
profondità (m)
Punta
Rivestimento
Maglio: 73 kg Corsa: 75 cm
Punta: 51 mm Rivest: 48 mm
SO.GE.TEC. S.r.l.

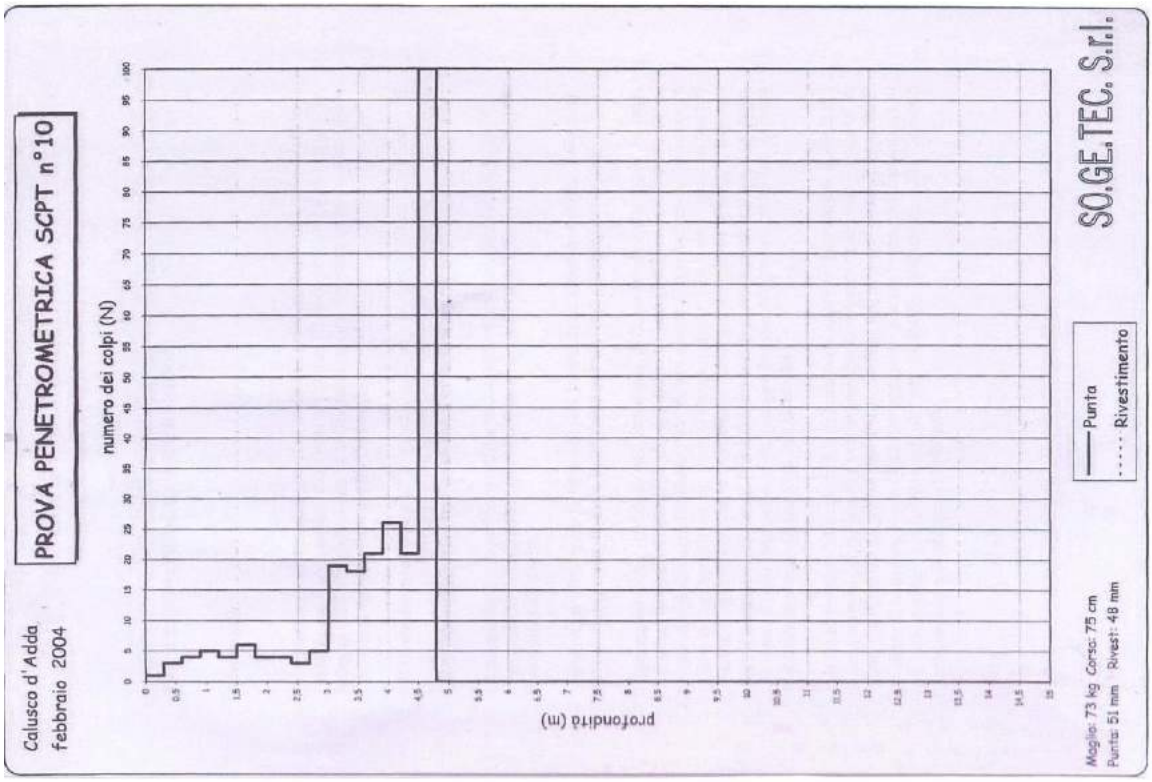

PROVA PENETROMETRICA SCPT n°3
Calusco d'Adda
febbraio 2004
numero dei colpi (N)
profondità (m)
Punta
Rivestimento
Maglio: 73 kg Corsa: 75 cm
Punta: 51 mm Rivest: 48 mm
SO.GE.TEC. S.r.l.

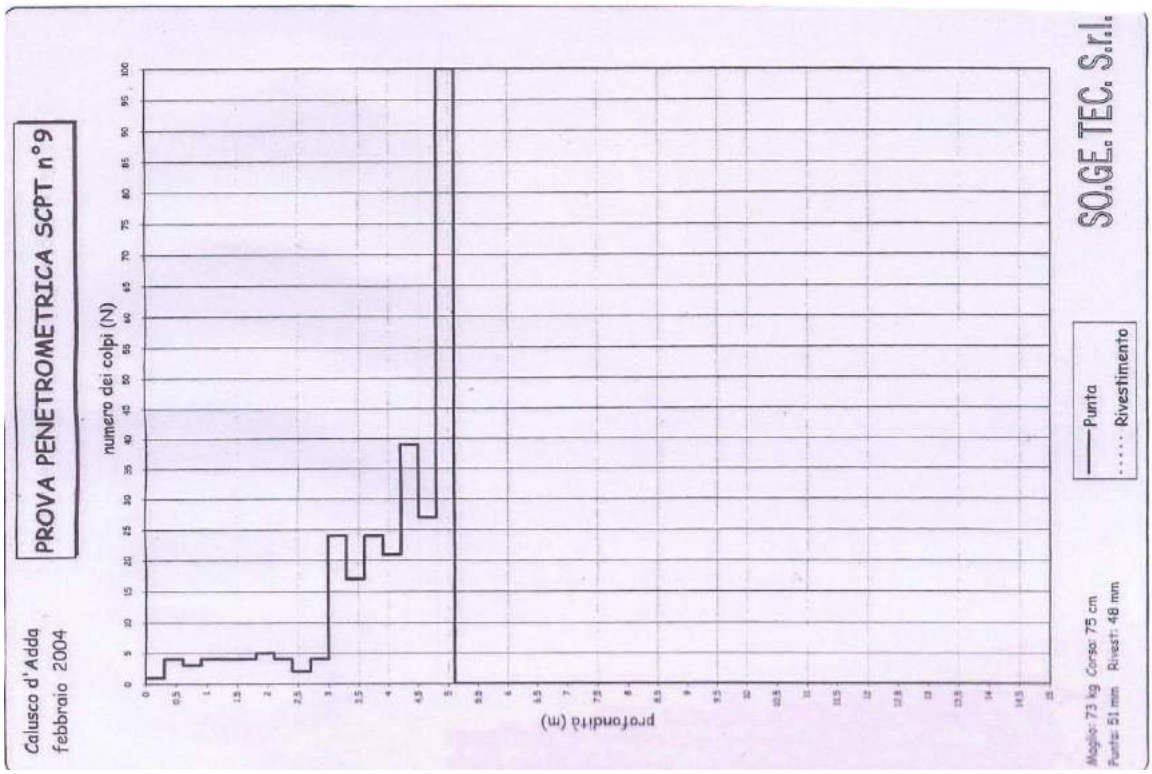

PROVA PENETROMETRICA SCPT n°6
Calusco d'Adda
febbraio 2004
numero dei colpi (N)
profondità (m)
Punta
Rivestimento
Maglio: 73 kg Corsa: 75 cm
Punta: 51 mm Rivest: 48 mm
SO.GE.TEC. S.r.l.


PROVA PENETROMETRICA SCPT n°5
Calusco d'Adda
febbraio 2004
numero dei colpi (N)
profondità (m)
Punta
Rivestimento
Maglio: 73 kg Corsa: 75 cm
Punta: 51 mm Rivest: 48 mm
SO.GE.TEC. S.r.l.


PROVA PENETROMETRICA SCPT n°8
Calusco d'Adda
febbraio 2004
numero dei colpi (N)
profondità (m)
Punta
Rivestimento
Maglio: 73 kg Corsa: 75 cm
Punta: 51 mm Rivest: 48 mm
SO.GE.TEC. S.r.l.

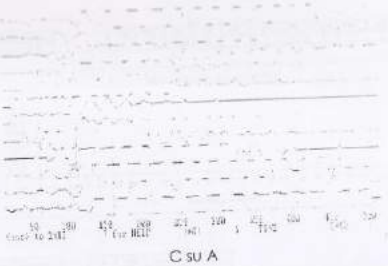

PROVA PENETROMETRICA SCPT n°7
Calusco d'Adda
febbraio 2004
numero dei colpi (N)
profondità (m)
Punta
Rivestimento
Maglio: 73 kg Corsa: 75 cm
Punta: 51 mm Rivest: 48 mm
SO.GE.TEC. S.r.l.


PROVA PENETROMETRICA SCPT n°10
Calusco d'Adda
febbraio 2004
numero dei colpi (N)
profondità (m)
Punta
Rivestimento
Maglio: 73 kg Corsa: 75 cm
Punta: 51 mm Rivest: 48 mm
SO.GE.TEC. S.r.l.

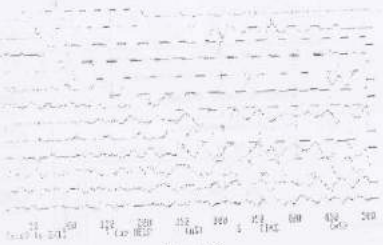

PROVA PENETROMETRICA SCPT n°9
Calusco d'Adda
febbraio 2004
numero dei colpi (N)
profondità (m)
Punta
Rivestimento
Maglio: 73 kg Corsa: 75 cm
Punta: 51 mm Rivest: 48 mm
SO.GE.TEC. S.r.l.

Calusco - Linea sismica 1

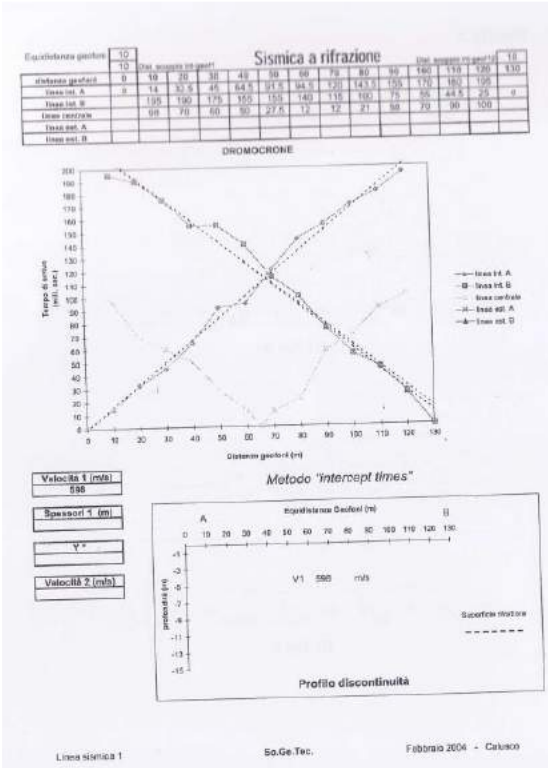
A est 10

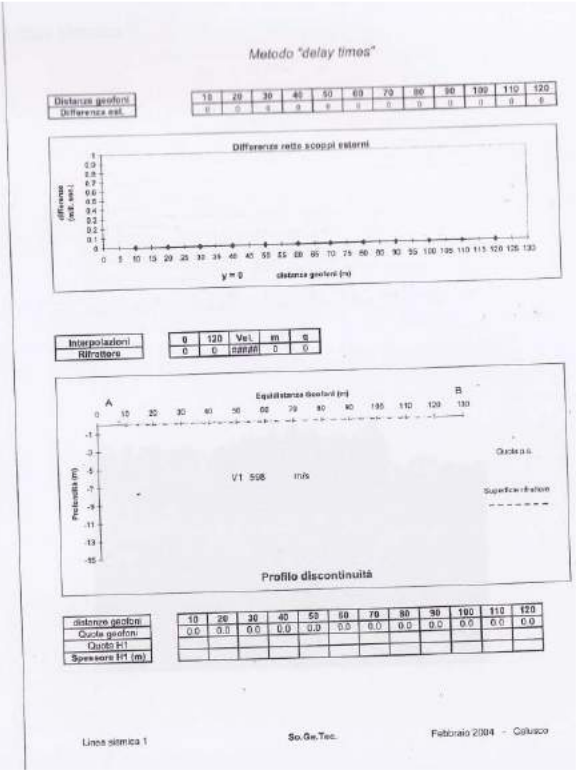


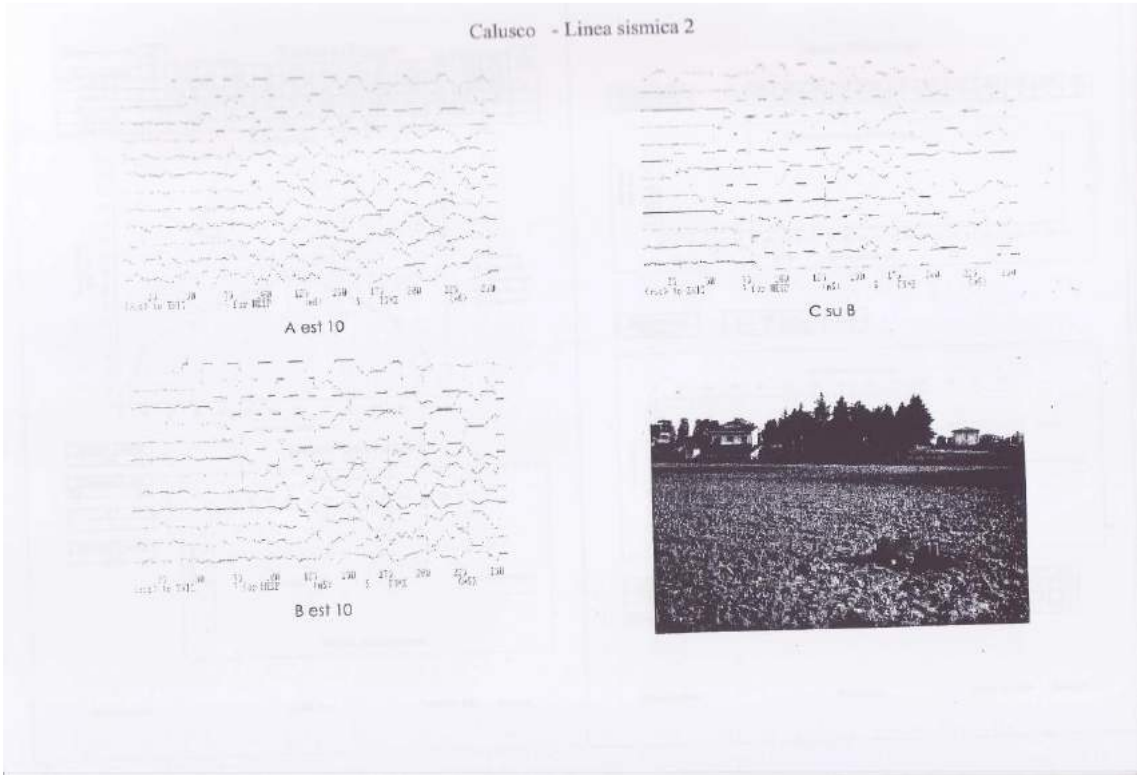
C su A

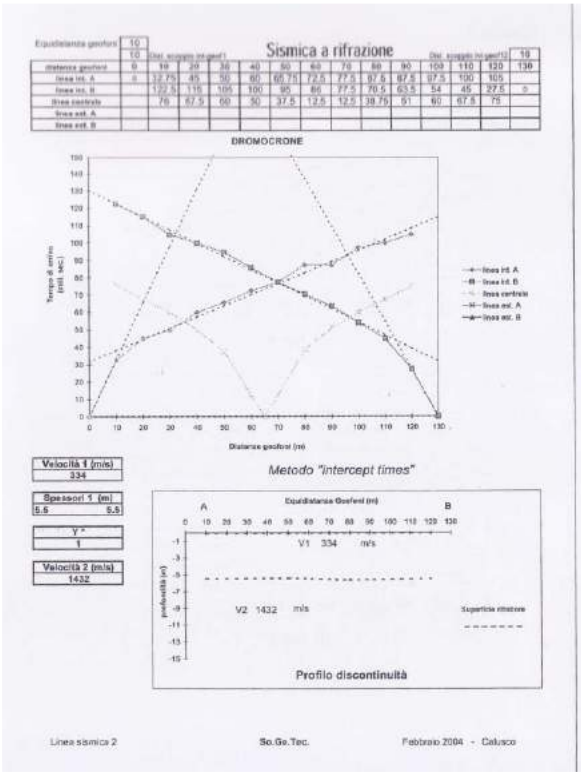


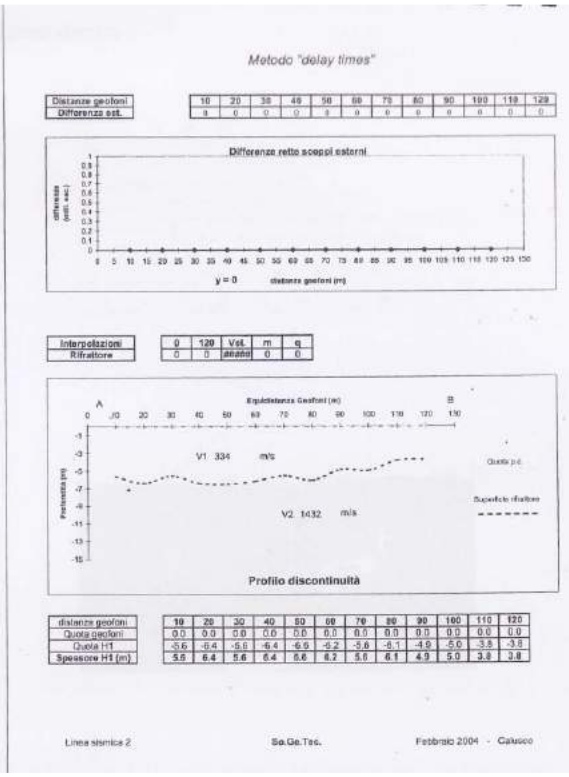
B est 10

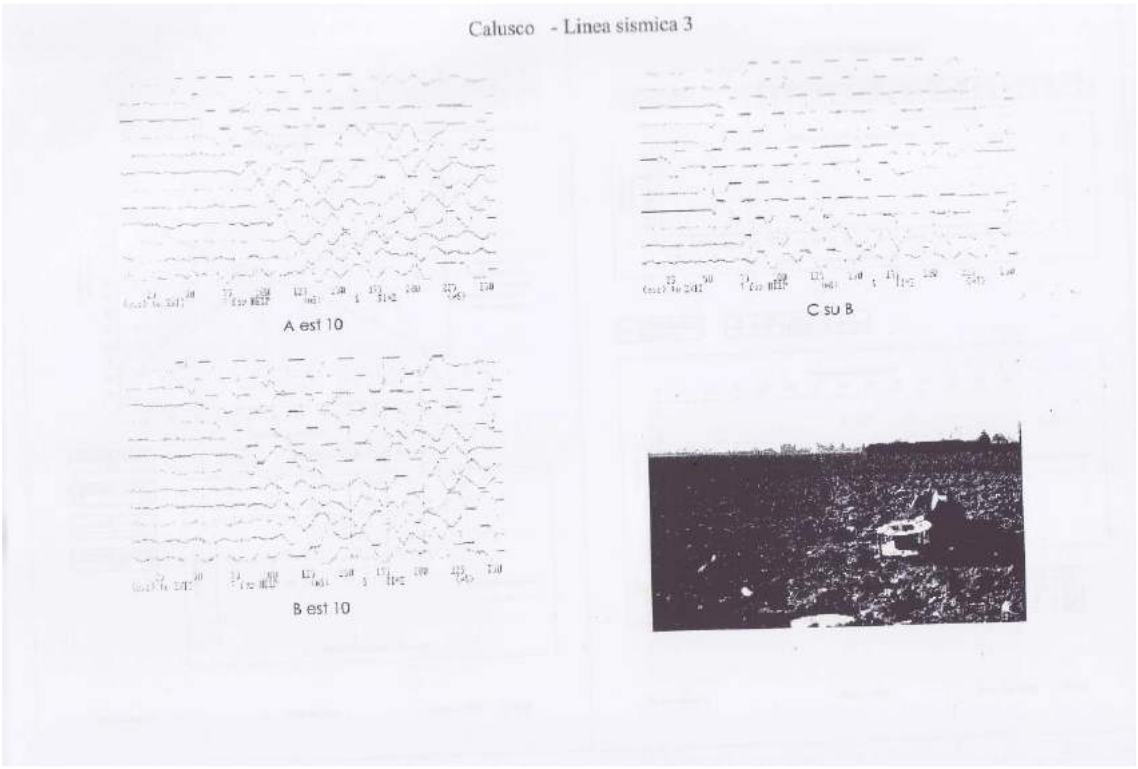


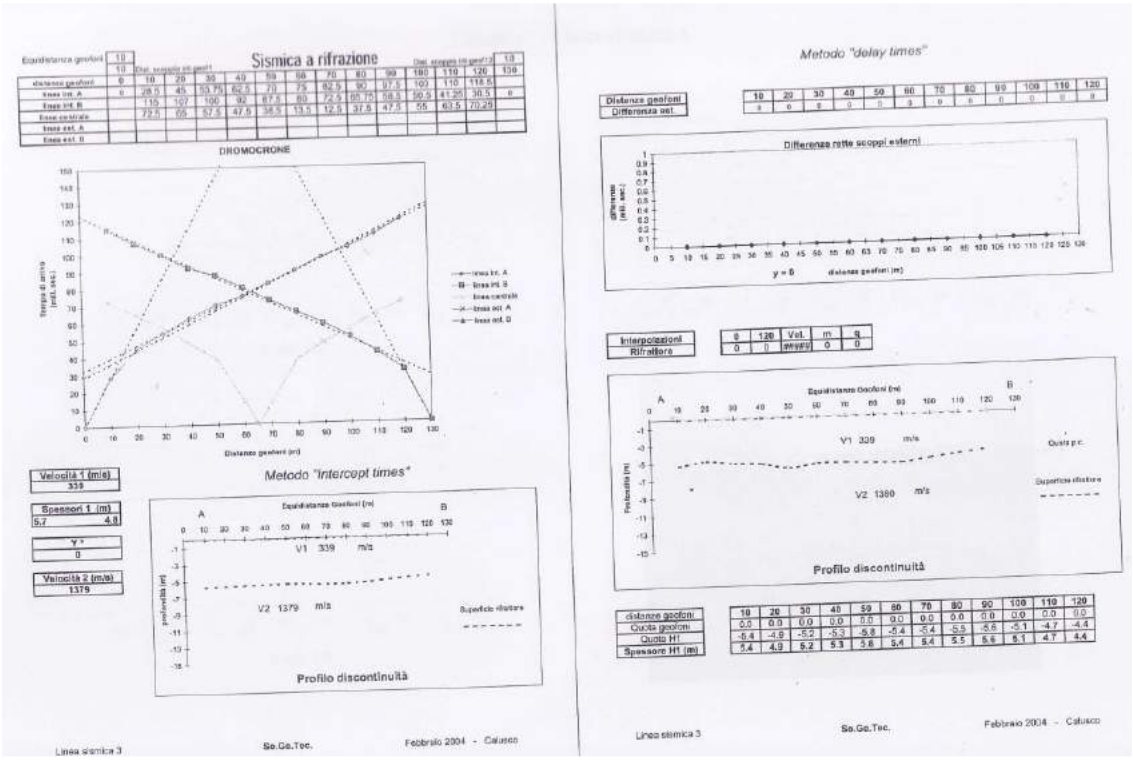


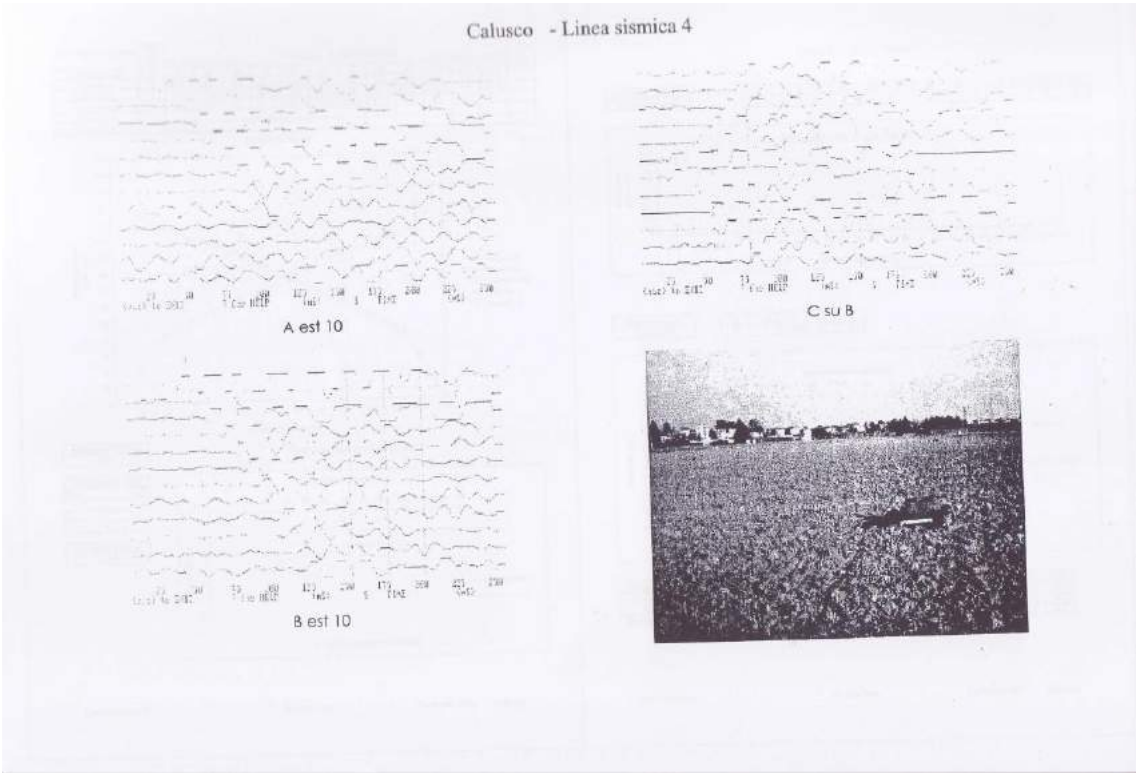

Calusco - Linea sismica 2
A est 10
C su B
B est 10

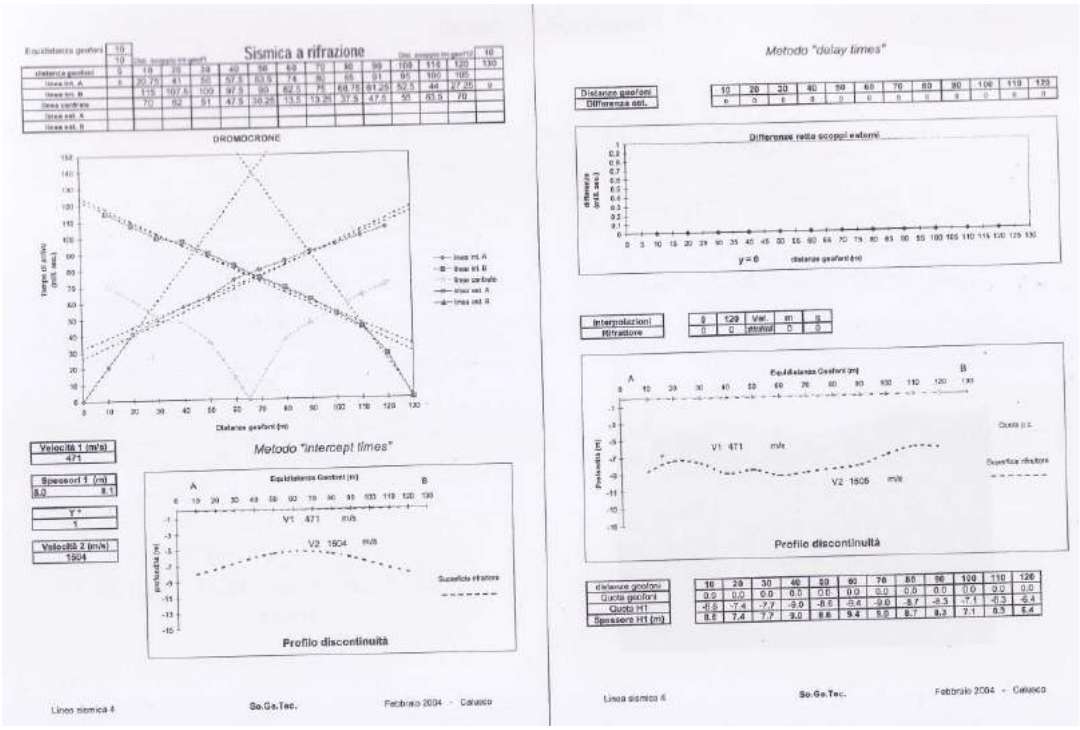

Sismica a rifrazione
DROMOCRONE
Metodo "intercept times"
Velocità 1 (m/s)
334
Spessori 1 (m)
5.5 5.5
Velocità 2 (m/s)
1432
V1 334 m/s
V2 1432 m/s
Profilo discontinuità
Linea sismica 2
So.Ge.Tec.
Febbraio 2004 - Calusco

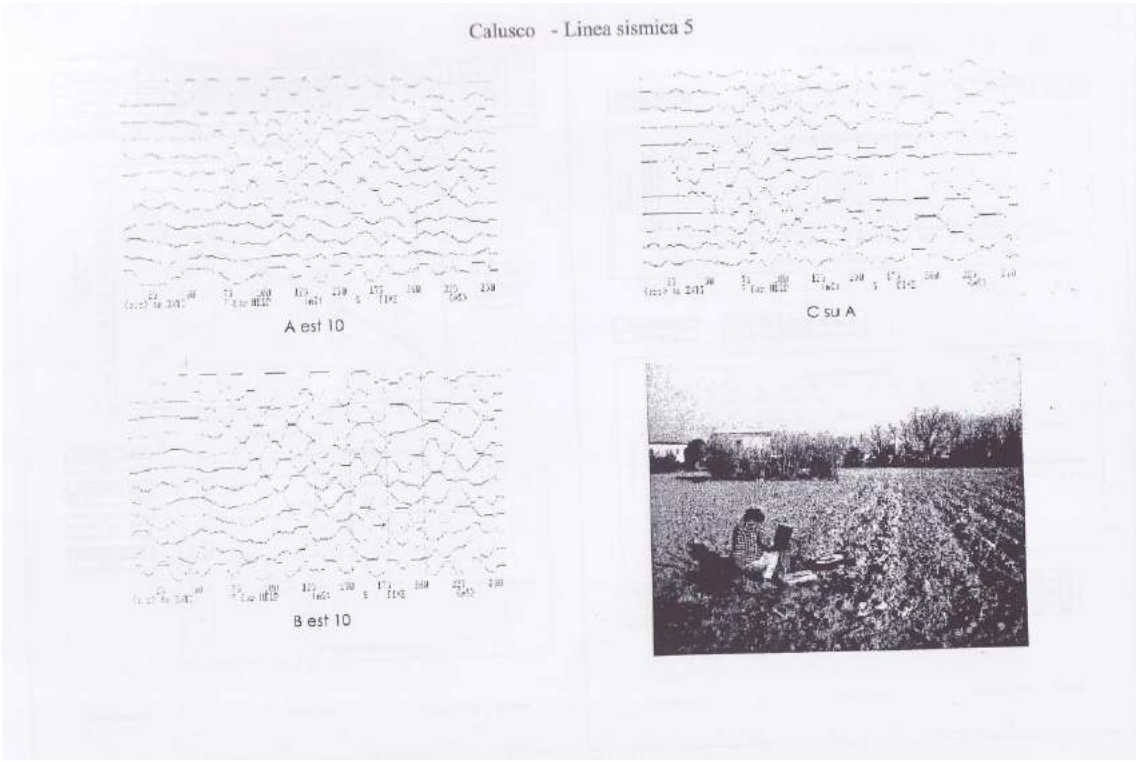

Metodo "delay times"
Differenze rette scoppi esterni
Profilo discontinuità
Linea sismica 2
So.Ge.Tec.
Febbraio 2004 - Calusco

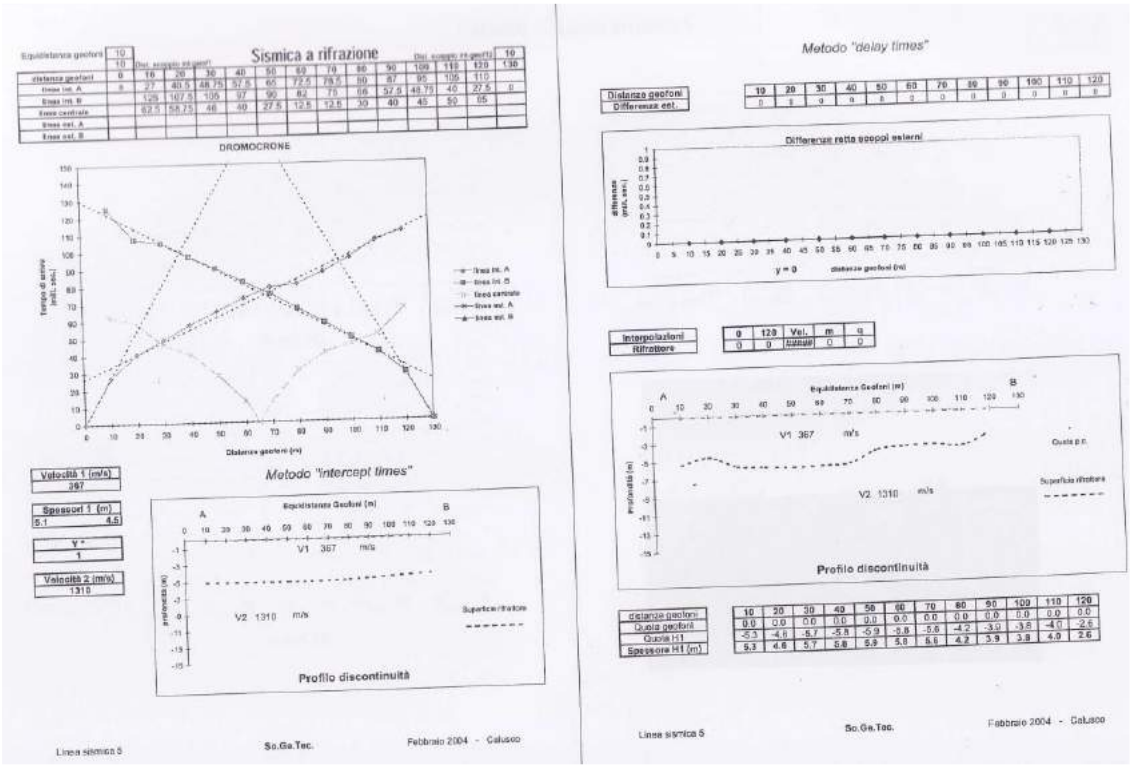

Calusco - Linea sismica 3
A est 10
C su B
B est 10

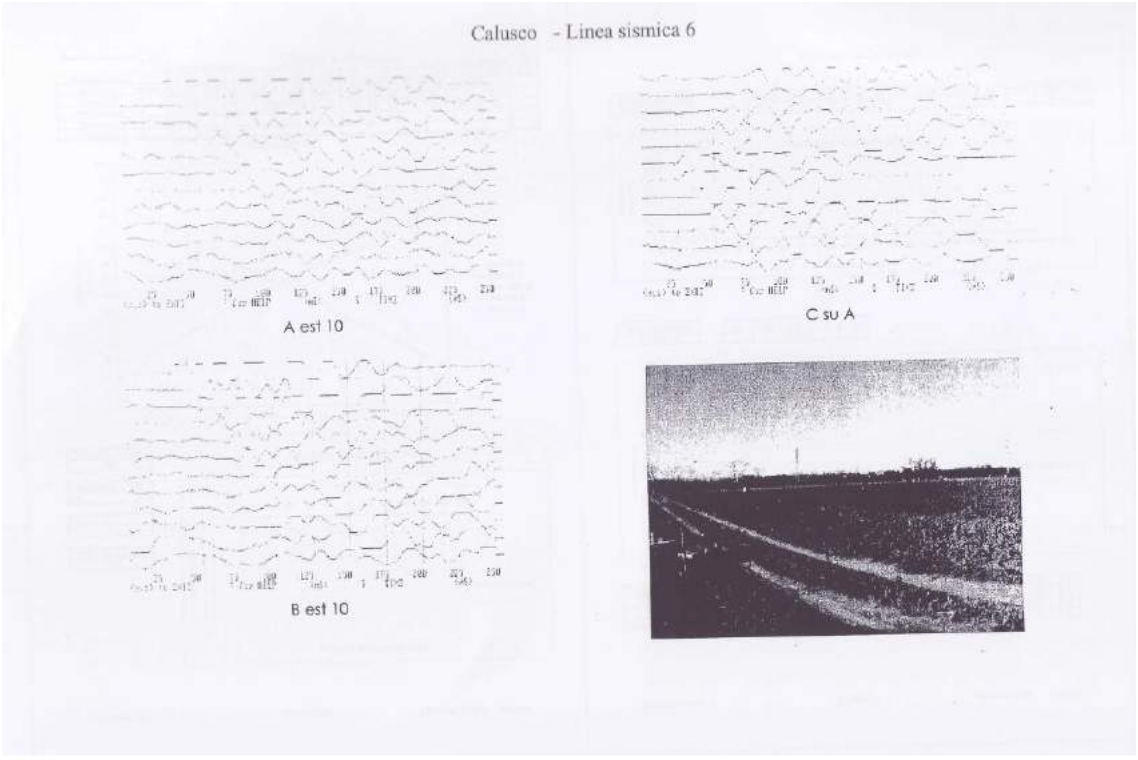

Sismica a rifrazione
DROMOCRONE
Metodo "intercept times"
Velocità 1 (m/s)
339
Spessori 1 (m)
5.7
4.8
Velocità 2 (m/s)
1379
V1 339 m/s
V2 1379 m/s
Profilo discontinuità
Se.Ge.Tec.
Febbraio 2004 - Calusco
Metodo "delay times"
Differenza rette scoppi esterni
Profilo discontinuità
Se.Ge.Tec.
Febbraio 2004 - Calusco

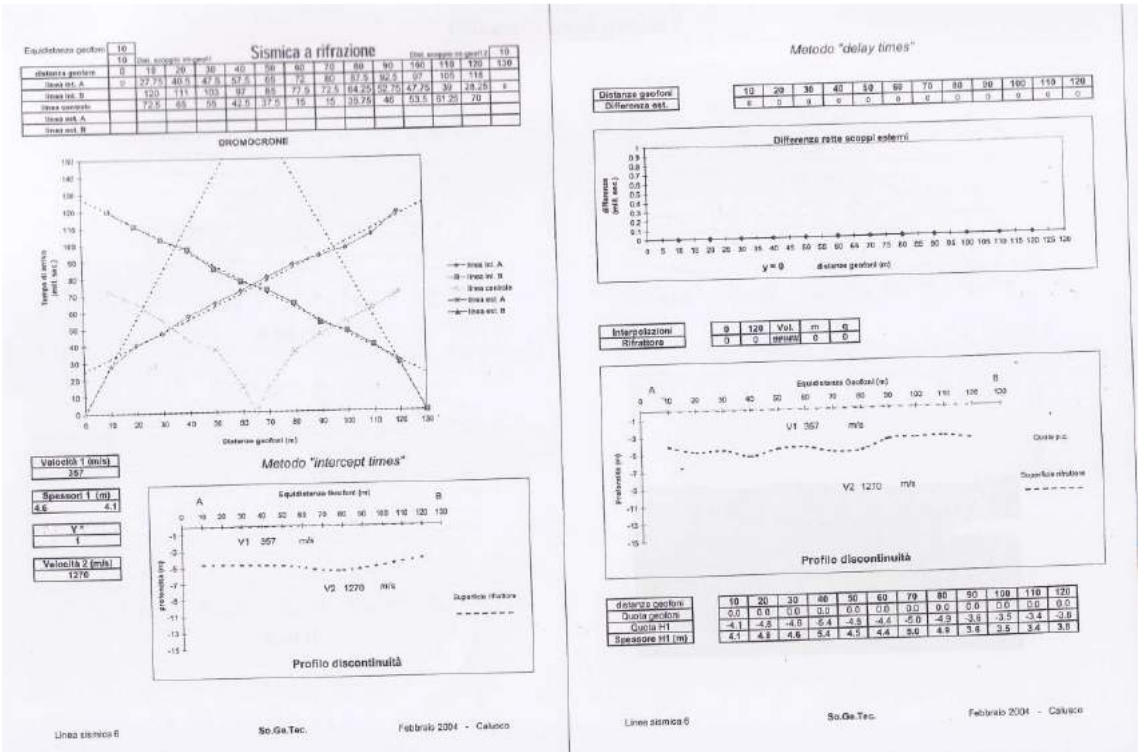

Calusco - Linea sismica 4
A est 10
C su B
B est 10


Sismica a rifrazione
DROMOCRONE
Metodo "intercept times"
Profilo discontinuità
Linea sismica 4
So.Ge.Tec.
Febbraio 2004 - Calusco
Metodo "delay times"
Profilo discontinuità
Linea sismica 4
So.Ge.Tec.
Febbraio 2004 - Calusco

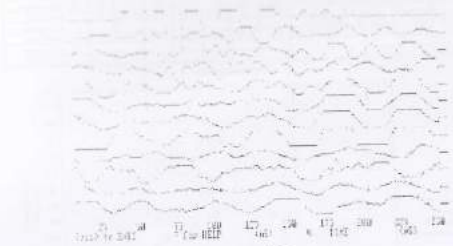

Calusco - Linea sismica 5
A est 10
C su A
B est 10


Sismica a rifrazione
DROMOCRONE
Metodo "intercept times"
Velocità 1 (m/s)
367
Spessori 1 (m)
Velocità 2 (m/s)
1310
Profilo discontinuità
So.Ge.Tec.
Febbraio 2004 - Calusco
Metodo "delay times"
Differenze rette scoppi reciproci
Profilo discontinuità
So.Ge.Tec.
Febbraio 2004 - Calusco


Calusco - Linea sismica 6
A est 10
C su A
B est 10

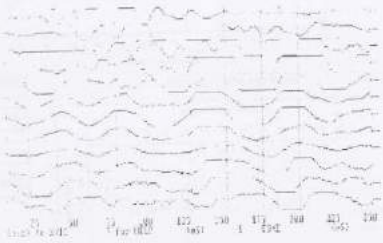

Sismica a rifrazione
DROMOCRONE
Metodo "intercept times"
Velocità 1 (m/s)
357
Spessori 1 (m)
4.6
4.1
V°
1
Velocità 2 (m/s)
1276
V1 357 m/s
V2 1270 m/s
Profilo discontinuità
Linea sismica 6
So.Ge.Tec.
Febbraio 2004 - Calusco
Metodo "delay times"
Distanza geofoni
Differenza est.
Differenza rette scoppi esterni
Interpolazioni
Rifrattore
V1 357 m/s
V2 1270 m/s
Profilo discontinuità
distanza geofoni
Quota geofoni
Quota H1
Spessore H1 (m)
Linea sismica 6
So.Ge.Tec.
Febbraio 2004 - Calusco

Calusco - Linea sismica 7



A est 10

C su A

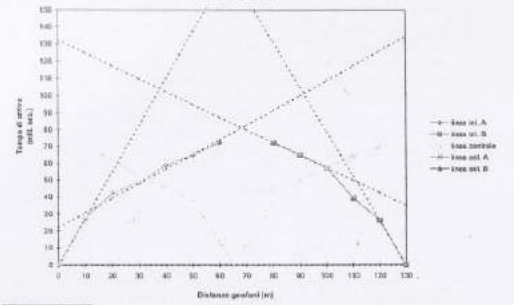


B est 10

Sismica a rifrazione

Equidistanza geofoni	10	10												
distanza geofoni	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130
linea ini. A	0	27.5	42.5	48.5	59	66	72.5							
linea ini. B									72.5	65	57.5	50.25	29.25	6
linea centrale		70	62.5	52.5	46.5	37.5	13	12.5	35	50	57.5	64.25	70	
linea est. A														
linea est. B														

DROMOCRONE



Velocità 1 (m/s)
372

Spessori 1 (m)	
4.3	6.6

V n
4

Velocità 2 (m/s)
1238

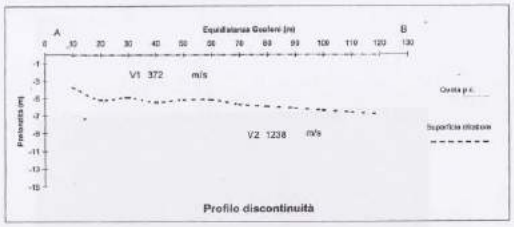
Metodo "intercept times"

Linea sismica 7 So.Ge.Tec. Febbraio 2004 - Calusco

Metodo "delay times"

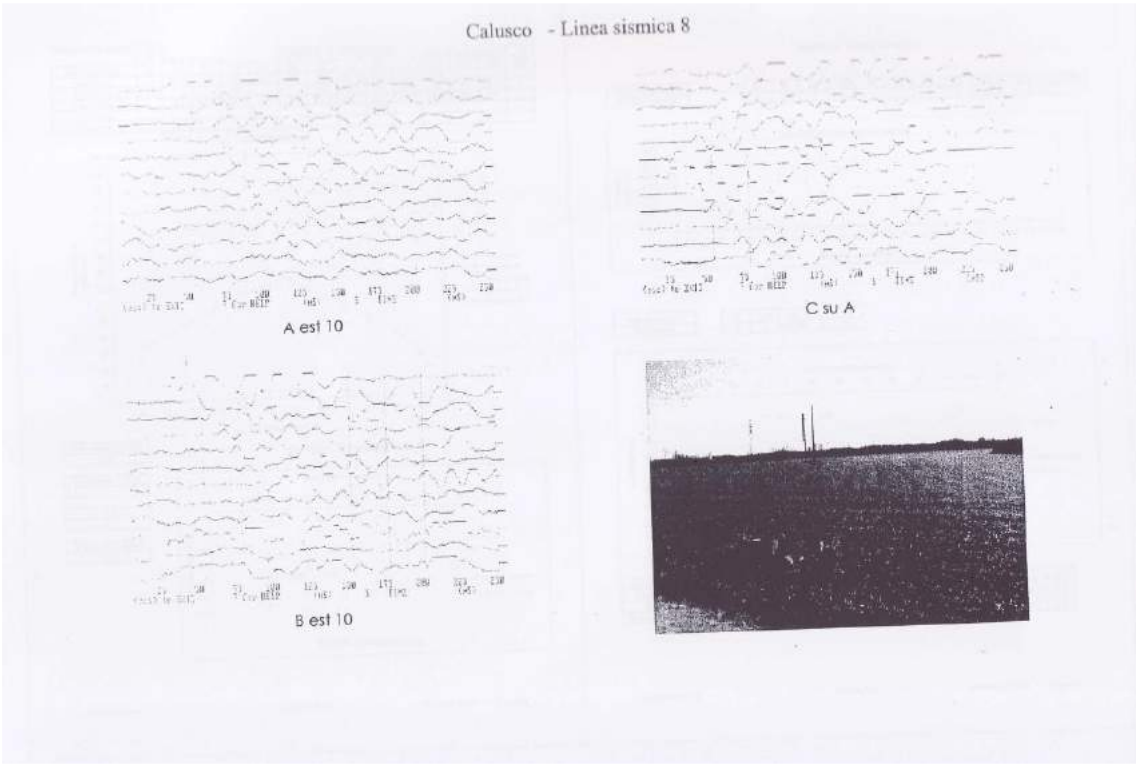
Distanze geofoni	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
Differenze est.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

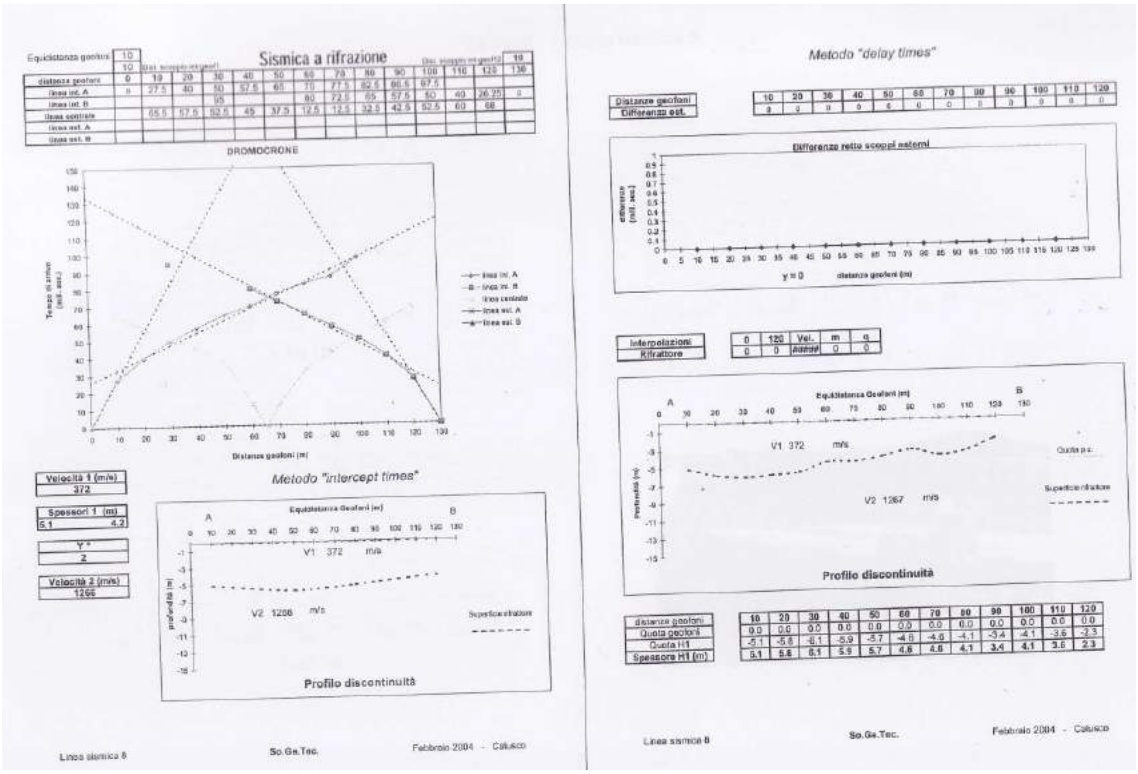
Interpolazioni	0	120	Vel.	m	q
Rifrattore	0	0	inverse	0	0

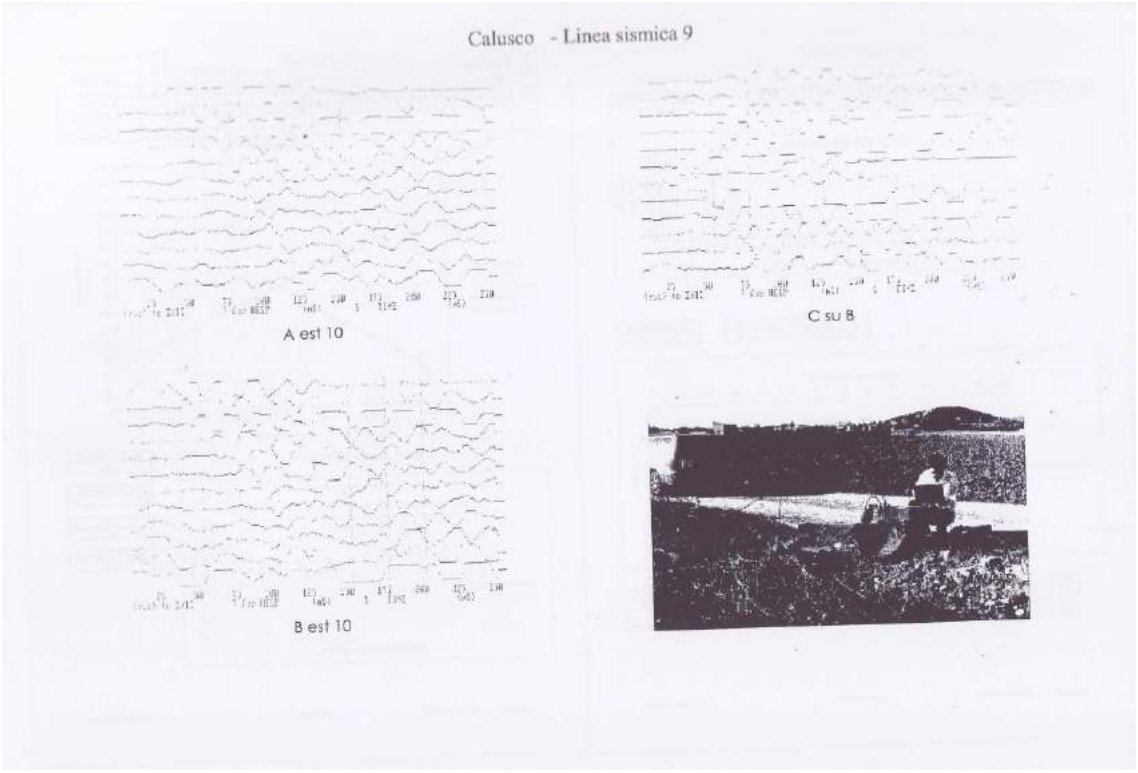


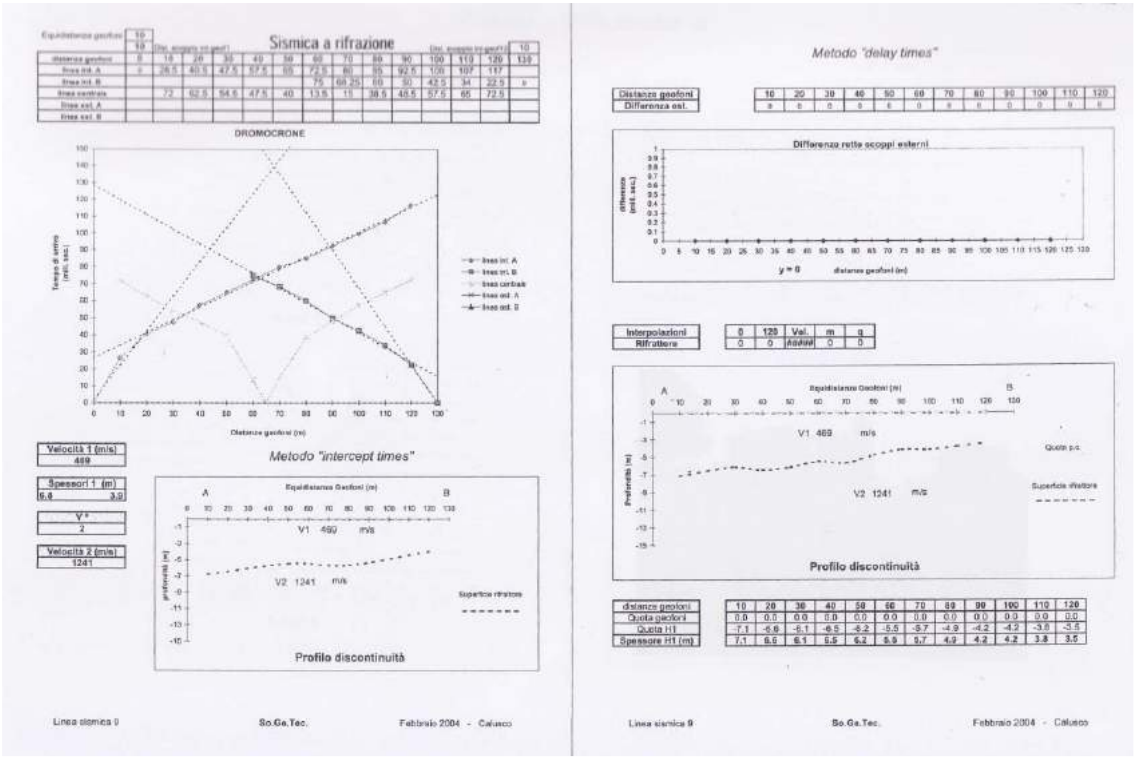
distanze geofoni	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
Quota geofoni	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Quota H1	-3.7	-5.1	-4.9	-5.4	-5.1	-5.1	-5.7	-5.9	-6.1	-6.4	-6.6	-6.6
Spessore H1 (m)	3.7	5.1	4.9	5.4	5.1	5.1	5.7	5.9	6.1	6.4	6.6	6.6

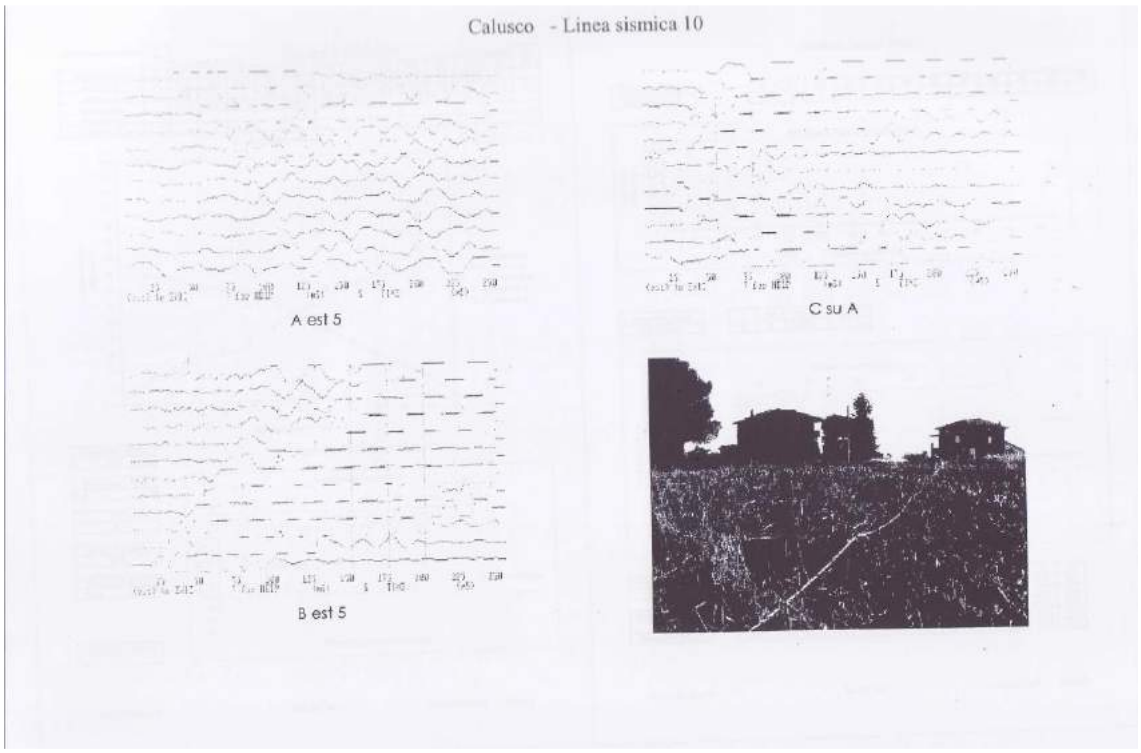
Linea sismica 7 So.Ge.Tec. Febbraio 2004 - Calusco

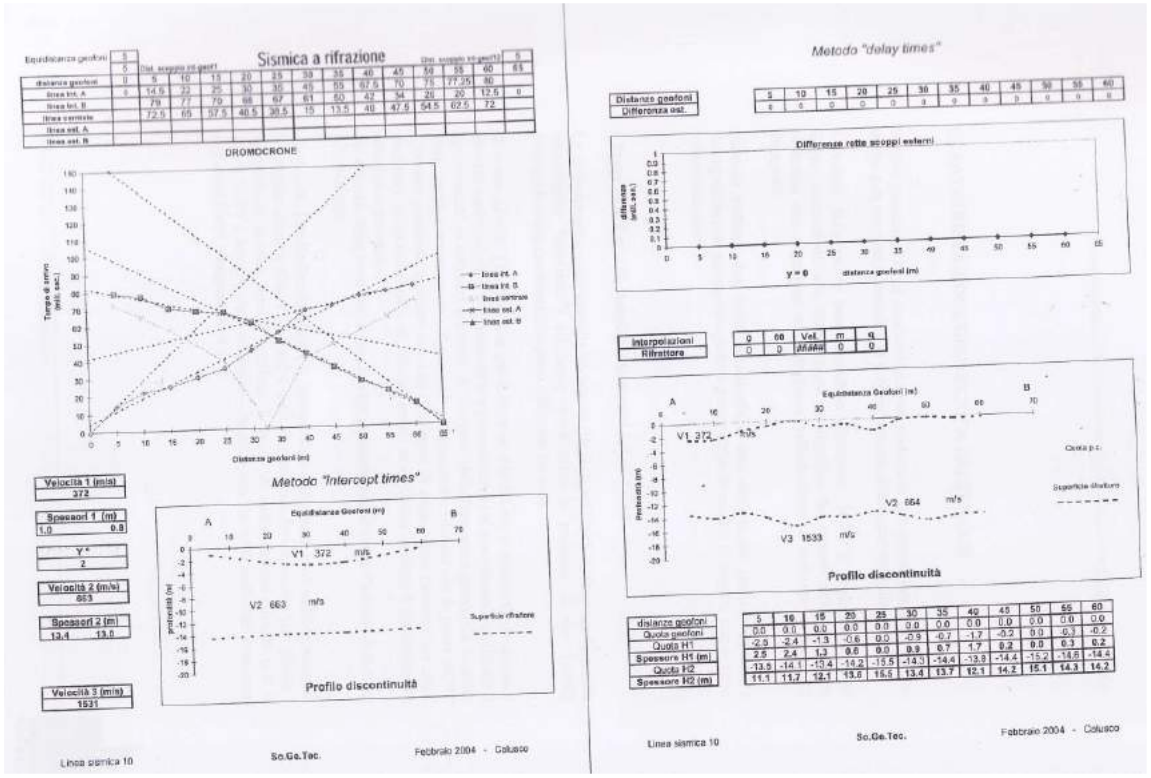

Calusco - Linea sismica 8
A est 10
C su A
B est 10

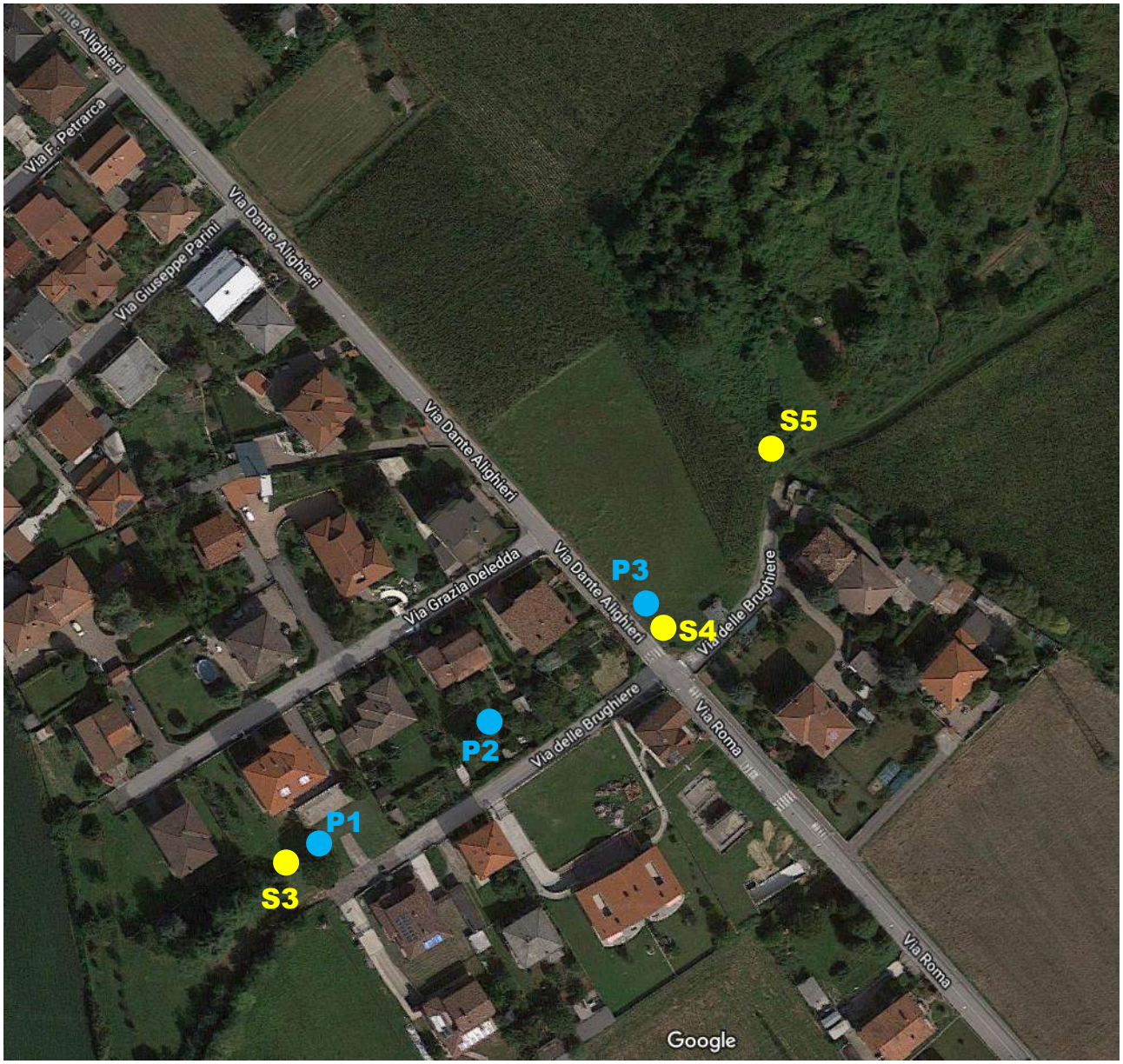

Sismica a rifrazione
DROMOCRONE
Metodo "intercept times"
Velocità 1 (m/s)
372
Spessori 1 (m)
5.1 4.2
V°
2
Velocità 2 (m/s)
1266
Profilo discontinuità
Linea sismica 8
So.Ge.Tec.
Febbraio 2004 - Calusco
Metodo "delay times"
Differenze rette scoppi esterni
Interpolazioni
Rifrattore
V1 372 m/s
V2 1267 m/s
Profilo discontinuità
Linea sismica 8
So.Ge.Tec.
Febbraio 2004 - Calusco


Calusco - Linea sismica 9
A est 10
C su B
B est 10

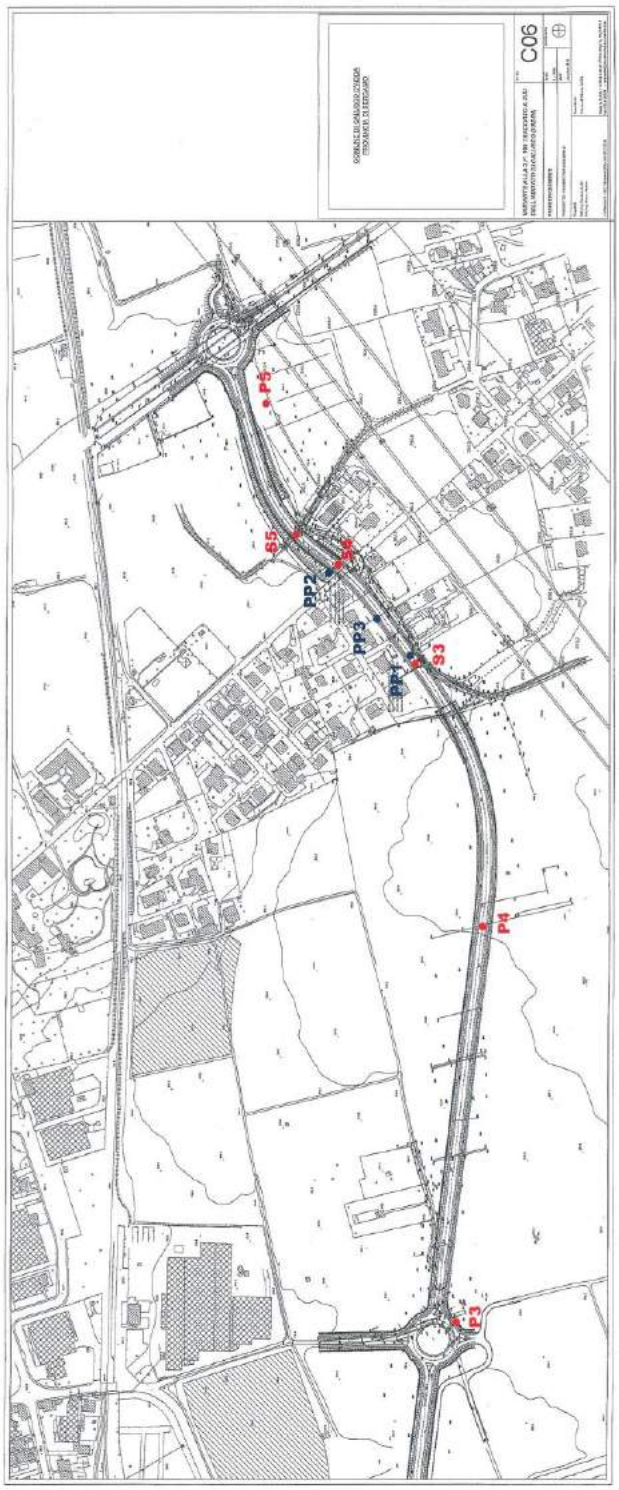

Sismica a rifrazione
DROMOCRONE
Metodo "intercept times"
Velocità 1 (m/s)
469
Spessori 1 (m)
6.6 3.9
V°
2
Velocità 2 (m/s)
1241
V1 469 m/s
V2 1241 m/s
Profilo discontinuità
Linea sismica 9
So.Ge.Tec.
Febbraio 2004 - Calusco
Metodo "delay times"
Distanza geofoni
Differenza ost.
Differenza rette scoppi esterni
Interpolazioni
Rifrattore
V1 469 m/s
V2 1241 m/s
Profilo discontinuità
distanza geofoni
Quota geofoni
Quota H1
Spessore H1 (m)
Linea sismica 9
So.Ge.Tec.
Febbraio 2004 - Calusco


Calusco - Linea sismica 10
A est 5
C su A
B est 5


Sismica a rifrazione
DROMOCRONE
Metodo "Intercept times"
Velocità 1 (m/s)
372
Spessori 1 (m)
1.0 0.8
Y*
2
Velocità 2 (m/s)
663
Spessori 2 (m)
13.4 13.0
Velocità 3 (m/s)
1531
Profilo discontinuità
Linea sismica 10
So.Ge.Tec.
Febbraio 2004 - Calusco
Metodo "delay times"
Differenze rette scoppi esterni
Profilo discontinuità
Linea sismica 10
So.Ge.Tec.
Febbraio 2004 - Calusco



Localizzazione dei sondaggi (3-4-5) e delle prove penetrometriche (entrambi del 2015) finalizzati alla galleria artificiale


C06
P5
S5
S6
PP2
PP3
PP1
S3
P4
P3

PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE DPSH-SCPT 2015

Le prove penetrometriche dinamiche DPSH-SCPT sono state eseguite con penetrometro dinamico pesante PAGANI modello TG 63 modificato, montato su carro cingolato in gomma i cui componenti sono rigorosamente conformi alle norme geotecniche in materia.

In particolare il penetrometro impiegato può essere descritto come penetrometro classe DPSH tipo "Meardi" o "Terzaghi Modificato" o "Superpesante" o *"STANDARD CONE PENETRATION TEST"*.

I dati tecnici del penetrometro sono così riassumibili:

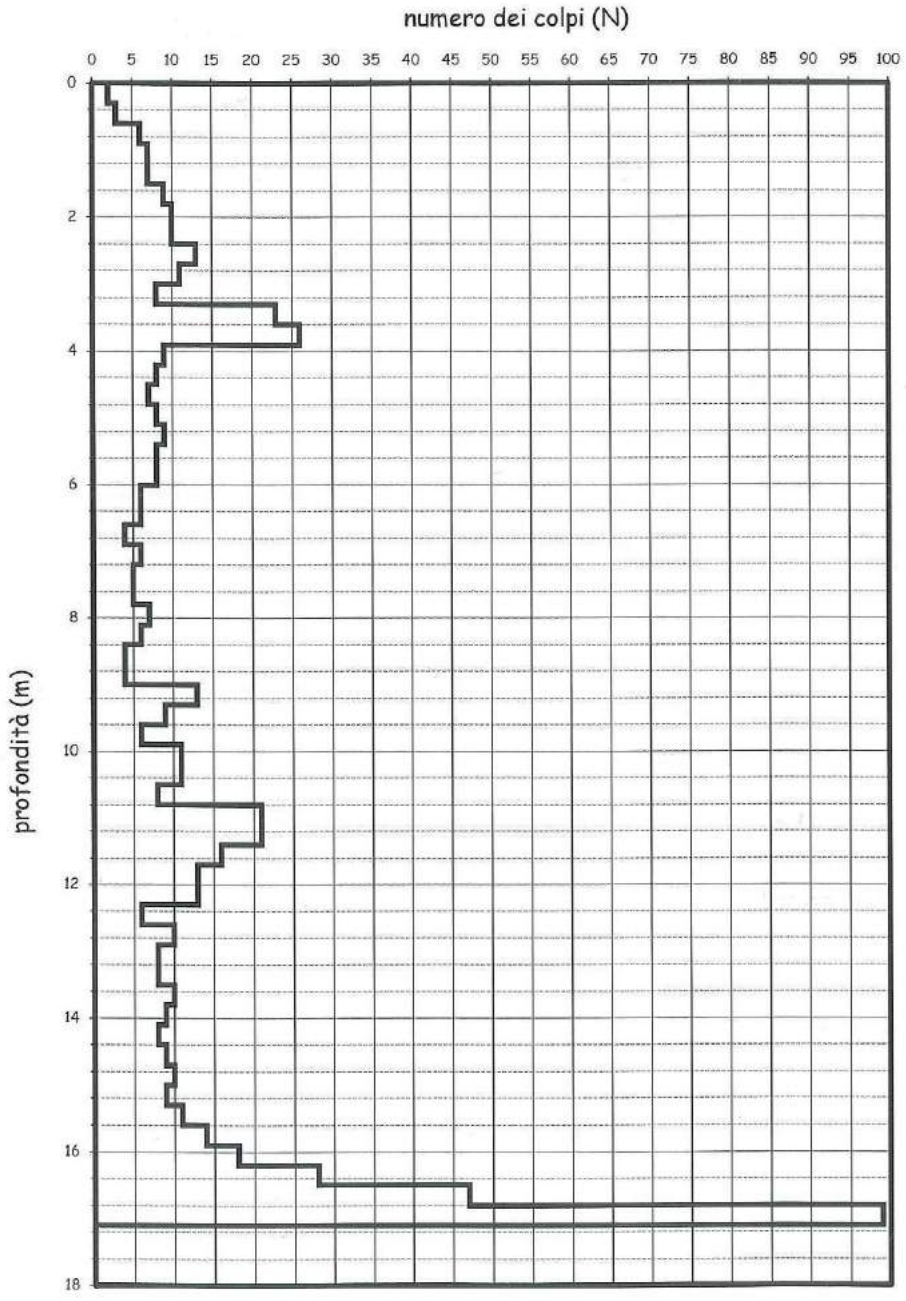
Diametro delle aste	***:***	***34 mm***	
Diametro dei rivestimenti	***:***	***48 mm***	***1" ½***
Punta conica – diametro	***:***	***50.8 mm***	***2"***
Conicità	***:***	***60°***	
Peso del maglio	***:***	***73 kg***	***160 libbre***
Altezza di caduta (volata)	***:***	***75 cm***	***30"***

La prova consiste nel misurare il numero dei colpi (N_{SCPT}) necessari all'infissione delle aste D. 34 mm per un intervallo pari a 30 centimetri (N/colpi/piede) seguite dai tubi di rivestimento D. 48 mm per evitare attrito tra aste e terreno (e per l'avanzamento dei quali si registra il numero dei colpi necessario all'avanzamento).

Allegati alla presente sono esposti i diagrammi relativi alle prove SCPT dove, in ascissa, in funzione della profondità, con linea continua viene esposto il valore "N_{SCPT}" relativo all'avanzamento delle aste e con linea a tratto il valore "N_{SCPT}" relativo all'avanzamento dei tubi di rivestimento (se utilizzati).

CALUSCO (BG)
Circonvallazione
24/06/2015

PROVA PENETROMETRICA SCPT n°1



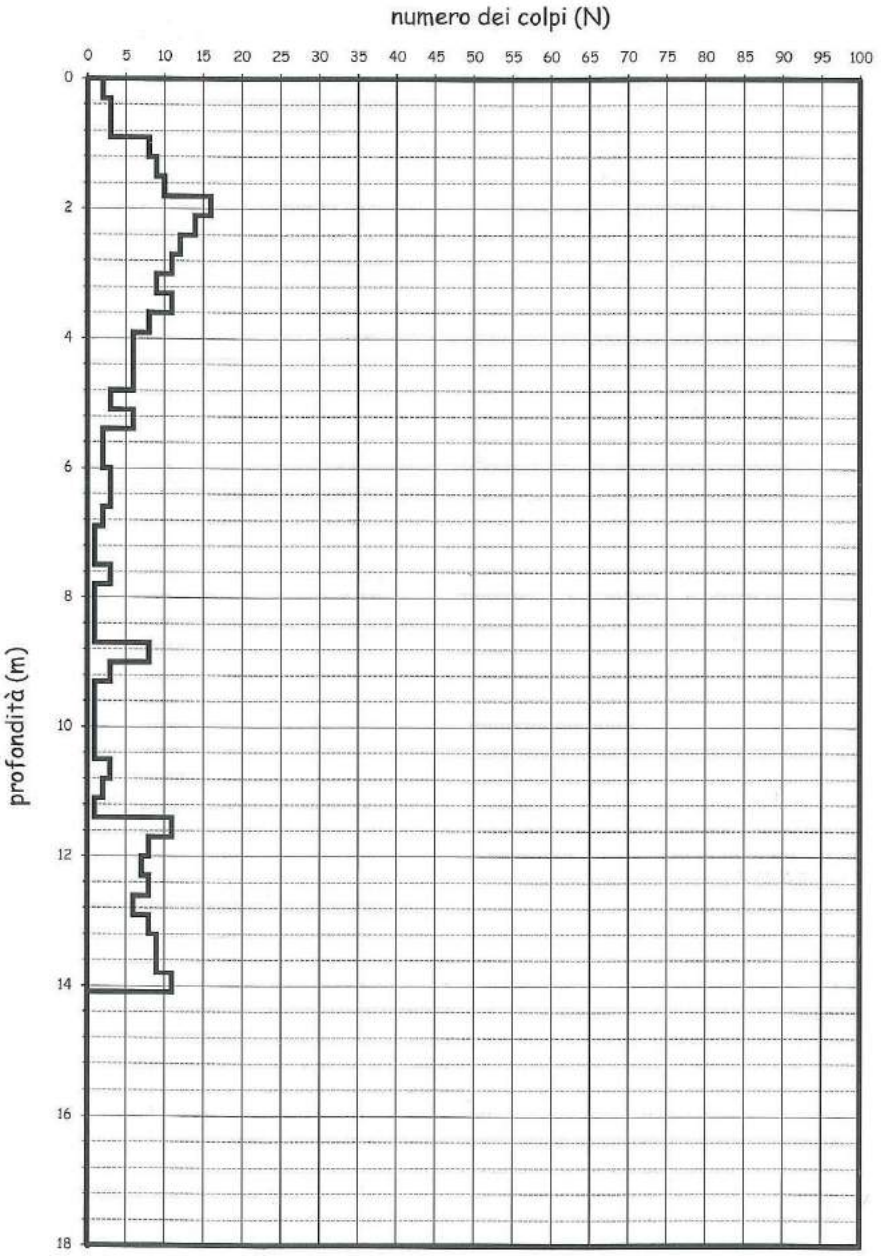
Maglio: 73 kg Corsa: 75 cm
Punta: 51 mm Rivest: 48 mm

Punta
Rivestimento

Fabio BAIO
geologo

CALUSCO (BG)
Circonvallazione
26/06/2015

PROVA PENETROMETRICA SCPT n° 2



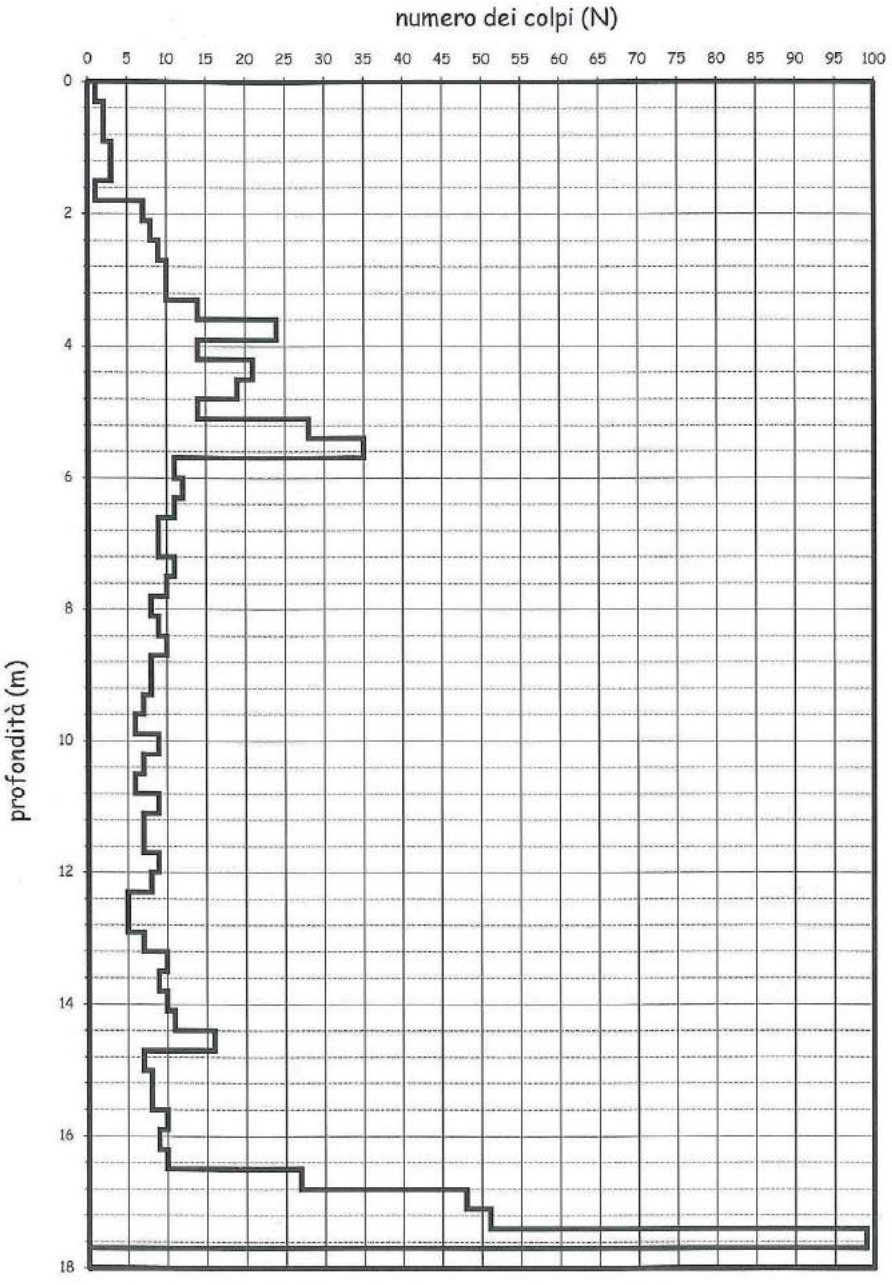
Maglio: 73 kg Corsa: 75 cm
Punta: 51 mm Rivest: 48 mm

Punta
Rivestimento

Fabio BAIO
geologo

CALUSCO (BG)
Circonvallazione
24/06/2015

PROVA PENETROMETRICA SCPT n° 3



Maglio: 73 kg Corsa: 75 cm
Punta: 51 mm Rivest: 48 mm

Punta
Rivestimento

Fabio BAIO
geologo

SONDAGGI MECCANICI A CAROTAGGIO CONTINUO

- Generalità e attrezzature

Per eseguire i carotaggi è stata utilizzata una sonda idraulica cingolata a rotazione, di media potenza e dimensioni, avente le seguenti caratteristiche e con i sottoelencati attrezzi e accessori:

- sonda idraulica a rotazione BOART LONGYEAR DELTABASE 520 cingolata "ex NENZI GELMINA"
- pompa a pistoni NENZI TRIPLEX TP 200

aventi le caratteristiche elencate sulla scheda tecnica allegata.

Sono poi stati impiegati i seguenti accessori e materiali di perforazione:

- batteria di tubi di rivestimenti "casing" D. 127 mm
- batteria delle aste di manovra D. 76 mm
- carotieri per campionare D. 101 mm "S" e "T2"

- Modalità operative

Si procede all'avanzamento della perforazione a carotaggio continuo (con carotiere semplice D. 101 mm S) in terreni sempre e completamente "sciolti" per brevi tratti successivi rigorosamente "a secco" e, posando la tubazione temporanea di rivestimento (casing) di D. 127 mm, per sostenere le pareti del foro.

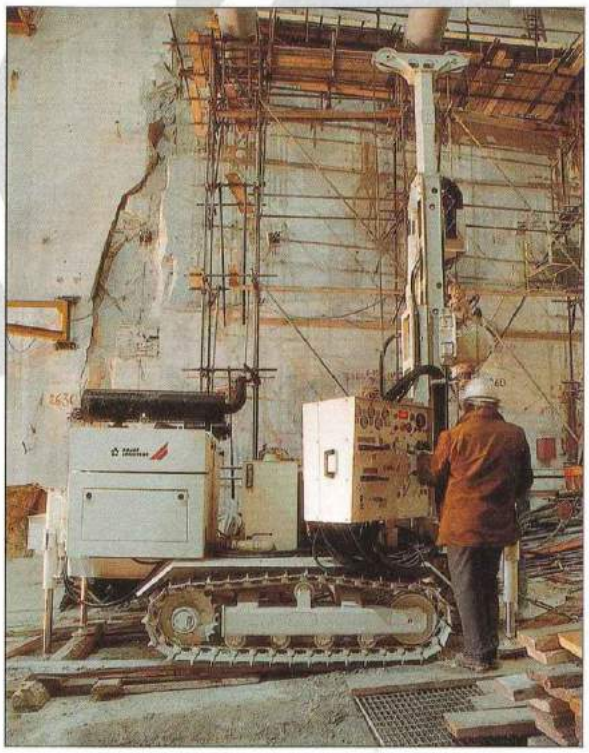
L'avanzamento del tubo di rivestimento è stato effettuato, per la presenza di grossi ciottoli di litologie molto "competenti" (resti di CLS, ciottoli, ghiaie molto silicee), pompando acqua (secondo lo schema "a circolazione diretta").

Nel sondaggio 1, la presenza di un grosso "trovante" di calcestruzzo o più probabilmente di un relitto di un'antica fondazione abbandonata, ha reso necessario l'impiego del tricono a distruzione di nucleo per brevi tratti per la difficoltà che il foro molto preciso e calibrato, fatto dal carotiere (D. 101 mm) creava difficoltà al successivo passaggio al tubo di rivestimento (D. 127 mm).

Le descrizioni stratigrafica di dettaglio degli strati attraversati è stata fatta a fine sondaggio ed esposto nei logs allegati.

I campioni sono stati comunque alloggiati in cassette catalogatrici in PEAD coperte e sigillate, fotografate, e che attendono di essere ricoverate in un idoneo magazzino di stoccaggio del comune.

DELTABASE 520



Sonda Idraulica Scomponibile

La DELTABASE 520 è una unità di perforazione compatta, leggera, versatile, progettata per soddisfare le esigenze dei cantieri moderni.
La sua scomponibilità negli elementi principali la rende particolarmente adatta per lavori in zone di difficile accesso (alta montagna con trasporto aereo, interni di fabbricati, su ponteggi).

Modular Hydraulic Rotary Drill

The DELTABASE 520 is a compact, light weight, versatile drilling unit, specially designed to fit any application on the modern job sites.

The fast set-up of the main components makes this drill ideal for reliable drilling in remote and hard to reach land sites (high mountain, inside buildings, on scaffoldings).

BOART LONGYEAR

A Partnership for Progress

Caratteristiche Tecniche
Technical Specifications

Coppia max - *Max torque*	Nm	4600
Velocità rotazione - *Speed ranges*	giri/min RPM	38 - 550
Passaggio Testa - *Rotary head spindle*	mm	60
Spinta - *Pull down*	kN	25
Tiro - *Pullback*	kN	39
Velocità risalita lenta - *Slow feeding upwards*	m/min	20
Velocità risalita rapida - *Rapid feeding upwards*	m/min	40
Velocità discesa lenta - *Slow feeding downwards*	m/min	32
Velocità discesa rapida - *Rapid feeding downwards*	m/min	63
Corsa testa idr. - *Feed travel*	mm	1700
Motore diesel - *Diesel engine*	kW	60
Cap. Tiro max argano - *Max hoist cap.*	kN	20
Freno svitatore cap. - *Break out hydr. clamp cap.*	mm	203

Componenti - *Components*	**Kg**
Slitta, controslitta, testa idraulica completa - *Mast, sliding mast, drill head ass.*	721
Gruppo telaio, pannello comandi - *Frame, control panel.*	760
Gruppo motore, serbatoio olio, ventilatore - *Diesel engine with oil-cooler and tank*	980
Prolunga da 1 mt con carrucole - *Extension 1 meter with pulley*	70
Sottocarro cingolato divisibile - *Crawler track in two elements*	1200
Argano - *Winch*	200
Gruppo freno svitatore - *Break out hydr. clamp.*	400

For further information please contact
Per informazioni contattate
Boart Nenzi S.p.A.
Via Archimede, 16
20090 Segrate (Milano) Italia
Tel. +39 2 269910.21
Fax +39 2 269910.20

BOART LONGYEAR
A Partnership for Progress

Località: CALUSCO BG	Committente: AMM. COMUNALE di CALUSCO	Rif. foro: S1
Data: Giugno 2015	Progetto: circonvallazione sud di Calusco	Note:
A cura di: geol. F. BAIO	Carotaggio continuo D. 101/127 mm	Impresa: GEOPROVE snc

Prof.	Descrizione	Prof	SPT	K	H2O
	ASFALTO e riporto di sottofondo ghiaioso	0,2			
1	RIPORTO ghiaioso sabbioso color nocciola				
2	e beige con tracce di un suolo relitto.				
	Ciottoli e blocchi di calcestruzzo.	2,4			
3					
4	Calcestruzzo di discreta qualità con tondini in				
5	acciaio D. 12-14 mm lisci. Apparentemente				
6	blocco di fondazione in posto	6,0			
7	CLS poco o nulla armato di qualità scarsa				
8	(inferiore al precedente): da 6 a 7 m scadente e da 7 a 8 m sembra blocco in posto	8,0			
9					
10	Ghiaie e sabbie subordinate con ciottoli ben				
11	arrotondati con D. medio/max di 60/80 mm				
12	e raramente da 100 mm . Poligenici di natura				
13	cristallina. Locali passate di limo nocciola				
14	e beige.				
15		15,0			
16	Ghiaie e sabbie nocciola, con limo interstiziale				
17	apprezzabile. Ciottoli arrotondati prevalentemente				
18	sedimentari				
19					
20		20,0			

STUDIO GEOLOGICO dr. geol. Fabio BAIO - via Chioso 4/a - 24030 VILLA d'ADDA (BG)

Località: CALUSCO BG	Committente: AMM. COMUNALE di CALUSCO	Rif. foro: S2
Data: Giugno 2015	Progetto: circonvallazione sud di Calusco	Note:.....
A cura di: geol. F. BAIO	Carotaggio continuo D. 101/127 mm	Impresa: GEOPROVE snc

Prof.	Descrizione	Prof	SPT	K	H2O
1	Suolo eluviale marrone-bruno. Con ghiaie e sabbie e limi subordinati. Ciottoli e S.O.	1,0			
2	Ghiaie e sabbie con ciottoli colore bruno. Ciottoli D. 60-80 mm ben arrotondati e sedimentari				
3		2,7			
4	Ghiaie e sabbie beige con ciottoli ben arrotondati D. medio 60-80 mm fino a 100 mm. Limo interstiziale scarso				
5					
6					
7					
8					
9					
10		9,4			
11	Ghiaie e sabbie con ciottoli anche abbondanti ben D. 60-80 mm e max 100 mm. Livelletti debolmente cementati				
12					
13					
14					
15					
16					
17					
18					
19					
20		20,0			

STUDIO GEOLOGICO dr. geol. Fabio BAIO - via Chioso 4/a - 24030 VILLA d'ADDA (BG)

Località: CALUSCO BG	Committente: AMM. COMUNALE di CALUSCO	Rif. foro: S3
Data: Giugno 2015	Progetto: circonvallazione sud di Calusco	Note:.....
A cura di: geol. F. BAIO	Carotaggio continuo D. 101/127 mm	Impresa: GEOPROVE snc

Prof.	Descrizione	Prof	SPT	K	H2O
	Riporto per cassonetto piazzale	0,2			
1	Limo sabbioso (forse LOESS) color ocra	1,60			
2	Limo sabbiosio (ferretto) con ciottoli residuali e "fantasmi" di ciottoli completamente alterati colore da marrone intenso a nocciola chiaro debolmente coesivo. Rari ciottoli D. 100 mm poco alterati				
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9		9,4			
10	Ghiaie e sabbie con ciottoli D. 60-80 mm. Limo nocciola e beige abbondante	10,6			
11	C.S. ma localmente cementato				
12		12,0			
13	Materiale c.s. ferrettizzato e ben alterato				
14					
15		15,0			
16	Ghiaie e sabbie con ciottoli, prevalentemente calcarei e sedimentari				
17					
18					
19					
20		20,0			

STUDIO GEOLOGICO dr. geol. Fabio BAIO - via Chioso 4/a - 24030 VILLA d'ADDA (BG)

Località: CALUSCO BG	Committente: AMM. COMUNALE di CALUSCO	Rif. foro: S4
Data: Giugno 2015	Progetto: circonvallazione sud di Calusco	Note:
A cura di: geol. F. BAIO	Carotaggio continuo D. 101/127 mm	Impresa: GEOPROVE snc

Prof.	Descrizione	Prof	SPT	K	H2O
1	Suolo marrone chiaro	0,3			
2	Limo sabbioso (forse LOESS) color nocciola-ocra	1,60			
3	Limo sabbiosio (ferretto) con ciottoli residuali e "fantasmi" di ciottoli completamente alterati colore da marrone intenso a nocciola chiaro debolmente coesivo. Rari ciottoli D. 100 mm poco alterati				
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10		10,8			
11	Limo sabbioso con ciottoli localmente cementato				
12		12,0			
13	Cavità (*Occhio Pollino*)	12,7			
14	Materiale c.s. ferrettizzato e ben alterato bruno scuro	14,3			
15	Ghiaie e sabbie con ciottoli, prevalentemente calcarei e sedimentari, abbondante limo nocciola				
16					
17					
18					
19					
20		20,0			

STUDIO GEOLOGICO dr. geol. Fabio BAIO - via Chioso 4/a - 24030 VILLA d'ADDA (BG)

Località: CALUSCO BG	Committente: AMM. COMUNALE di CALUSCO	Rif. foro: S5
Data: Giugno 2015	Progetto: circonvallazione sud di Calusco	Note:
A cura di: geol. F. BAIO	Carotaggio continuo D. 101/127 mm	Impresa: GEOPROVE snc

Prof.	Descrizione	Prof	SPT	K	H2O
1	Suolo marrone-bruno con resti di laterizi rimaneggiato dall'agricoltura	1,30			
2	Limo sabbioso (forse LOESS) color ocra	2,2			
3	Limo sabbioso (ferretto) con cottoli residuali e fantasmi di ciottoli completamente alterati colore marrone e nocciola.				
4					
5		5,0			
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					
13					
14					
15					
16					
17					
18					
19					
20					

STUDIO GEOLOGICO dr. geol. Fabio BAIO - via Chioso 4/a - 24030 VILLA d'ADDA (BG)

POZZETTI ESPLORATIVI SUPERFICIALI

(indagine del 2015)

Per integrare i dati stratigrafici sulla tratta restante della strada, non investigata con le prove geotecniche descritte, sono stati eseguiti alcuni pozzetti esplorativi con un saggio di scavo diretto con miniescavatore (siglati "P" da 1 a 5 sulla planimetria del tracciato stradale).

I saggi hanno anche permesso di acquisire campioni rappresentativi per valutare le modalità e le caratteristiche di un eventuale "trattamento a cemento" del terreno per limitare lo scavo e migliorare le caratteristiche del terreno in posto.

- **Generalità**

Come accennato, pe rintegrare le informazioni stratigrafiche, soprattutto per lo spessore del terreno più superficiale, in un ambito (la piana all'incirca intorno alla cementeria), già indagata nella fase preliminare e al contorno, per altro committente e con altre finalità, si sono praticati alcuni saggi di scavo, per visualizzare la stratigrafia del primo metro e soprattutto per acquisire alcuni campioni su cui eventualmente ipotizzare un trattamento a cemento, per minimizzare e ridurre l'asportazione del terreno naturale in posto per la bonifica geotecnica.

Pozzetto 1 (su cartografia provvisoria 1bis)

Stratigrafia:

0.00 - 0.20 : suolo vegetale bruno ricco di S.O.
0.20 - 1.00 : sabbie debolmente limose con ghiaie color beige/nocciola e ciottoli, molto ben addensato, ciottoli D. anche 200-300 mm

Campioni 1A a -0.30 m pc (portato al laboratorio come campione C4)
1B a -0.60 m pc
1C a 1.00 m pc

Pozzetto 2

Stratigrafia:

0.00 - 0.20 : suolo vegetale bruno moderata S.O. (ricco di radici)
0.20 – 0.70 : sabbie debolmente limose con ghiaie color beige/nocciola e ciottoli, ben addensato, ciottoli D. fino a 100-150 mm
0.70-1.20 : ghiaie e sabbie con ciottoli D. anche fino a 200 mm, molto compatto, limo interstiziale modesto (scarso)

Campioni 2A a -0.30 m pc (portato al laboratorio come campione C5)
2B a -0.60 m pc
2C a 1.00 m pc

Pozzetto 3

Stratigrafia:

0.00 - 0.20 : suolo vegetale bruno chiaro con S.O.
0.20 – 1.00 : sabbie limose con ghiaie color nocciola e rari ciottoli, mediamente addensato, resti di laterizi fino a -1.00 m
1.00-1.40 : ghiaie e sabbie con ciottoli di piccolo D. di 20-40 mm, molto compatto, limo interstiziale modesto (scarso), compatto

Campioni 3A a -0.30 m pc (portato al laboratorio come campione C6)
3B a -0.60 m pc
3C a 1.00 m pc

Pozzetto 4

Stratigrafia:

0.00 - 0.20 : suolo vegetale bruno con S.O.
0.20 – 0.50 : sabbie limose con poca ghiaia color beige/nocciola e piccoli ciottoli, ben addensato
0.50-1.00 : ghiaie e sabbie, compatto, limo interstiziale modesto (scarso)

Campioni 4A a -0.30 m pc (portato al laboratorio come campione C7)
4B a -0.60 m pc
4C a 1.00 m pc

Pozzetto 5

Stratigrafia:

0.00 - 0.40 : suolo vegetale bruno con S.O.
0.40-1.60 : limi argillosi bruno nocciola, poco coesivi, liste e venature grigie, tracce evidenti di ossidazioni

Campioni 5A a -0.50 m pc (portato al laboratorio come campione C8)
5B a -0.80 m pc
5C a 1.20 m pc

OCCHI POLLINI

Il fenomeno cosiddetto degli *"occhi pollini"*, è stato descritto in passato dal "collega" geologo Pollini ed è entrato della letteratura geologica e geomorfologia con il suo nome; fa riferimento a un fenomeno diffuso nella fascia dell'alta pianura "ferrettizzata" del milanese, dall'Adda fino a Monza e zone limitrofe poste a nord e recentemente con alcuni eventi anche abbastanza catastrofici a Medolago (BG), determinando l'estensione del fenomeno anche nell'isola bergamasca.

Frequente, in depositi di questa origine, è la possibilità di rilevare, anche a debole profondità dal piano campagna, delle cavità, talora parzialmente riempite da terreni di scarsissima consistenza, o vuoti veri e propri, noti in letteratura geologica con il termine di "*occhi pollini*".

Di forma a volte cilindrica, o talvolta ad imbuto, lentiformi o sub-sferici, hanno dimensioni variabili: il diametro varia da 0.5 a 1.5 m e la profondità può raggiungere anche i 12-13 m. Il limite inferiore è a volte in corrispondenza di lenti o livelli di ghiaie cementate (conglomerati).

Se superficiali, tali cavità possono dar luogo a franamenti, collassi superficiali e/o alla creazione di "pozzi" e/o "doline", mentre se presenti a profondità inferiori, sono "riempite" da materiale limoso.

Per capire la genesi di queste cavità si deve pensare ad una circolazione idrica di tipo "carsico" di acqua in grado di asportare meccanicamente il materiale del *diluvium antico*, chimicamente insolubile.

Spesso queste situazioni restano in un "equilibrio" labile fino a che una causa scatenante porta al collasso: quasi sempre questa causa scatenante è l'infiltrazione massiccia e concentrata di acqua (pozzi perdenti, ristagni in scavi, perdite di tubazioni ecc) che, percolando nel terreno e asportando le frazioni granulometriche più fini, agevola e accelera la formazione di vuoti e il collasso della porzione di terreno interessato dagli "*occhi pollini*".

Questo fenomeno è quindi, notevolmente pericoloso per le fondazioni delle strutture in CA in quanto, evidentemente, una struttura appoggiata in corrispondenza di un tale fenomeno è fortemente a rischio per la sua stabilità.

Clamoroso "l'evento" del 2016 che ha visto sprofondare un tratto di pista ciclabile a Bernareggio con seri danni all'adiacente pubblica via e "regressione" dell'evento fino a 2 palazzine residenziali sfollate per ovvii motivi di sicurezza e rimaste tali in parte a tutt'oggi, e con dichiarazione successiva di inagibilità definitiva di uno dei due edifici.

Localmente, in Brianza, il fenomeno è indentificato (Vedano al Lambro e dintorni) come fenomeno dei … "*nespolini*".

BIBLIOGRAFIA SPECIFICA

DELL'OCA Salvatore: sulla formazione di una dolina di sprofondamento in Concorrezzo (Milano). 1950.

CAPPA Giulio: : sulla formazione di una dolina di sprofondamento in Concorrezzo (Milano). 1950. Soc. It. Sc. Nat. Milano 1953.

BINI A. e ZUCCOLI L,: formazione di un pozzo di crollo in depositi quaternari Appiano Gentile – Como) Grotte di Lombardia – 2 – 1995.

STRINI G. A. Andrea: erosione sotterranea e sprofondamenti nell'alta pianura lombarda: gli "occhi pollini" . Estratto dalla tesi di dottorato di ricerca presso il Dipartimento di Scienze della Terra "A. Desio" dell'università degli studi di Milano. 2001.

CRIPPA Fausto: le strutture polliniche: discontinuità geomeccaniche presenti nel sottosuolo in parte del settore territoriale milanese. *Parte prima*, PG professione geologo – OGL – n° 15 – novembre 2002.

CRIPPA Fausto: le strutture polliniche: discontinuità geomeccaniche presenti nel sottosuolo in parte del settore territoriale milanese. *Parte seconda*, PG professione geologo – OGL – n° 16 – marzo 2013.

GATTINONI Paola et al.: stability problems for infrastructure in the areas interested by cavities (*Occhi pollini*) in the Pleistocene sediments in the Lombardy plain (Italy). Mem. Descr. Carta Geol. D'Italia XCIX 9/7 2015.

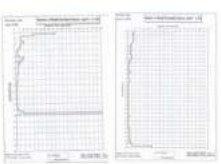
Articoli di quotidiani, Comunicazioni personali e relazione della società SOGETEC Srl.

OCCHIO POLLINO: è un fenomeno geologico della fascia "alta" della pianura, tra l'Adda e la "Brianza" con sprofondamenti e formazioni di cavità che arrivano a volte fino in superficie, creando cedimenti e sprofondamenti.

169

Bernareggio sprofonda

Sprofonda la strada, paura a Medolago

Via Salvo D'Acquisto ko per un «occhio pollino»


IG. GE. TEC.

STRATIGRAFIA DEI TERRENI SUPERFICIALI

Sulla scorta delle informazioni geologiche dei depositi superficiali quaternari, dei sondaggi meccanici a carotaggio continuo, delle prove penetrometriche dinamiche eseguite ora e nel 2004 il tratto di strada in esame può essere diviso in due parti che corrispondono a due contesti geologici differenti e omogenei per caratteristiche granulometriche e geotecniche.

1. dal sovrappasso della linea ferroviaria FFS/RFI (estremità ovest del tracciato) all'inizio del "terrazzo" che sta all'imbocco della galleria artificiale
2. dall'imbocco della galleria artificiale all'intersezione con la strada provinciale rivierasca attuale

La successione stratigrafica del terreno investigato, può essere così schematizzata:

1. dalla SP 166 e dal sovrappasso della linea ferroviaria FFS/RFI (estremità ovest del tracciato) all'inizio del "terrazzo morfologico" che sta all'imbocco della galleria artificiale (verso est)

STRATO SUPERFICIALE: dal piano campagna per uno spessore di 0.30-0.50 m.

Si tratta del suolo agrario-vegetale superficiale, rimaneggiato dall'attività agricola, di nessun interesse dal punto di vista della presente indagine.
Andrà presumibilmente rimosso o trattato a cemento.

Il materiale infatti, per l'abbondante presenza di sostanza organica è fortemente compressibile.

PRIMO STRATO : dalla base dello strato precedente fino alla profondità di 2-3 metri.

Il valore di N_{SCPT} (numero dei colpi necessari all'avanzamento di 30 cm della punta conica) si mantiene su valori prossimi e di poco inferiori a 5 colpi.

Dal punto di vista granulometrico si tratta di limi sabbiosi ghiaiosi con ciottoli residuali. Si tratta del materiale "eluviale" frutto dell'alterazione in posto delle alluvioni fluvioglaciali "fresche" sottostanti.

Andrà rimossa solo in coincidenza delle fondazioni di opere d'arte impegnative.

Secondo la terminologia proposta da COLOMBO nel 1978 tali terreni possono essere descritti come "sciolti".

Per questi terreni è ipotizzabile un valore di Φ (Angolo di attrito interno) di 24°-26°.

SECONDO STRATO : dalla base dello strato precedente fino alla massima profondità investigata e ben oltre.

Si tratta di materiale ghiaioso sabbioso con grossi ciottoli che ha determinato in tutte le prove rifiuto alla penetrazione dopo modeste infissioni (nelle prove del 2004) prove n° 7-8-9-10.
Si tratta di uno strato con ottime caratteristiche di capacità portante : è un terreno che si presta ottimamente ad ospitare le fondazioni di plinti, anche se opere significative in assenza di vincoli dimensionali delle stesse.

L'angolo di attrito interno (Φ) potrà essere assunto a un valore medio di 34°.

NOTA PARTICOLARE: il sondaggio S1 in corrispondenza della spalla nord del ponte-sovrappasso della linea ferroviaria (in trincea) FFS/RFI presenta un'anomalia stratigrafica in superficie, per la presenza di un relitto di fondazione in calcestruzzo (o grossi blocchi di riporto). Oltre alla considerazione che le spalle del ponte, per motivi di carichi e di vincoli dimensionali per la vicinanza della linea ferroviaria attiva, erano previste sicuramente su pali, sarà opportuno considerarne il progetto con MICROPALI che in qualsiasi condizione di "ostacolo" sotterraneo, anche consistente, possono essere portati a quota di progetto.

2. dall'imbocco della galleria artificiale all'intersezione con la strada provinciale rivierasca attuale (SP 170)

STRATO SUPERFICIALE: dal piano di lavoro fino alla profondità di circa 0.30 – 1.0 metro.

Si tratta di terreno vegetale superficiale, rimaneggiato dall'attività agricola, di modesto interesse dal punto di vista della presente indagine.

Pur essendo facilmente prevedibile la sua rimozione, ma in considerazione di uno spessore anche rilevante, potrà essere opportuno ed economico trattarlo in sito "a cemento" per ridurne lo spessore di scolturamento.

Il materiale infatti, per l'abbondante presenza di sostanza organica è fortemente compressibile.

STRATO : dalla base dello strato precedente fino alla massima profondità investigata (20 m).

Il valore di N_{SCPT} (numero dei colpi necessari all'avanzamento di 30 cm della punta conica) si mantiene su valori inferiori a 10 e mediamente tra 5 e 10 o decisamente inferiori (nella prova n° 2/2015 da -5.0 a -11 è presente presumibilmente un occhio pollino).

Dal punto di vista granulometrico si tratta di limi sabbioso ghiaiosi con ciottoli residuali. E' il *"ferretto"* che è la coltre superficiale di alterazione in posto di depositi fluvioglaciali antichi.

Localmente il ferretto lascia spazio a livelli un po' meno alterati (ghiaie) e molto poco cementati. In S4 è stata rilevata una piccola cavità (60-70 cm) mentre come già riferito la prova penetrometrica n° 2 ha evidenziato un *occhio pollino* rilevante.

Secondo la terminologia proposta da COLOMBO nel 1978 tali terreni possono essere descritti come "molto sciolti" e "sciolti".

Per questi terreni è ipotizzabile un valore di Φ (Angolo di attrito interno) di 25°-27° (ad eccezione dell'*occhio pollino* più scadente).

PROVE DI LABORATORIO DI CARATTERIZZAZIONE

(Da REPORT 2015)

Sia nei sondaggi meccanici a carotaggio continuo e sia nei saggi di scavo, sono stati prelevati campioni di terreno che sono in corso di analisi fisiche di caratterizzazione da parte del laboratorio geotecnico ALTAIR srl di Cinisello B.mo (MI).

I campioni sono risultati così localizzati:

Dai carotaggi:

C1 in S3 da -5.70 a -6.00 m
C2 : in S4 da -6.00 a -6.40 m
C3 : in S5 da -4.70 a -5.00 m

Dai saggi di scavo con escavatore:

C4: in pozzetto 1bis a -0.30 m da pc (subito sotto il suolo bruno)
C5: in pozzetto 2 a -0.30 m da pc (subito sotto il suolo bruno)
C6: in pozzetto 3 a -0.30 m da pc (subito sotto il suolo bruno)
C7: in pozzetto 4 a -0.30 m da pc (subito sotto il suolo bruno)
C8 : in pozzetto 5 a -0.50 m da pc (sotto il suolo bruno nel campo coltivato

Tutti i campioni sono stati sottoposti a analisi fisiche di caratterizzazione in laboratorio geotecnico (analisi granulometrica per setacciatura e per sedimentazione (aerometria), limiti di consistenza (di Atterberg : limite plastico e limite liquido – LP e LL).

		va1889	va1889	va1889	va1889	va1889	va1889	va1889	va1889
		rim	rim	rim	rim	rim	rim	rim	rim
		pozzetto 1bis	pozzetto 2	pozzetto 3	pozzetto 4	pozzetto 5	s3	s4	s5
		cr4	cr5	cr6	cr7	cr8	cr1	cr2	cr3
		-0,3	-0,3	-0,3	-0,3	-0,5	5,7-6,0	6,0-6,4	4,7-5,0
Ghiaia g	%	0,0	0,0	0,0	5,8	0,0	19,1	4,8	0,0
Ghiaia f	%	7,1	6,4	4,8	7,1	0,6	9,2	11,6	7,7
Sabbia g	%	7,3	4,4	5,5	5,2	2,2	5,4	7,9	6,2
Sabbia m	%	21,3	12,5	19,0	13,9	7,3	15,1	15,5	18,3
Sabbia f	%	26,6	12,6	18,7	14,9	7,7	10,9	18,7	23,5
Limo+argilla	%	37,7	64,0	52,0	53,1	82,3	40,2	41,5	44,3
Limo	%	29,6	49,8	40,4	38,5	66,7	21,8	20,2	22,5
Argilla	%	8,1	14,2	11,6	14,6	15,6	18,4	21,3	21,8
cu	-								
cc	-								
limite liquido	%	41	37	37	37	33	42	54	48
limite plastico	%	23	22	21	21	21	20	27	24
indice di plasticità	%	18	15	16	16	12	22	27	24
classificazione astm	-	sc	cl o ol	cl o ol	cl o ol	cl o ol	sc	sc	sc
classificazione aashto m 145-82	-	a7-6	a6	a6	a6	a6	a7-6	a7-6	a7-6

ALTAIR SRL

Laboratorio Autorizzato dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti prove terre (settore "a") e rocce (settore "b")
D.P.R. 06.06.2004 n.380 - Circ. 7618/STC del 08.09.2010 Autorizzazione n. 52505 del 11.10.2004 e successivi rinnovi
Laboratorio Certificato UNI EN ISO 9001:2008 ICMQ n.11353 del 28.10.2011

Certificato	2189	del 20/10/2015	Accettazione	1889	del 08/10/2015
SETACCIATURA - SEDIMENTAZIONE *(ASTM D2487-D422-D6913)*			data inizio prova	08/10/2015	data fine prova 16/10/2015
LIMITI DI CONSISTENZA *(ASTM D4318)*			data inizio prova	08/10/2015	data fine prova 19/10/2015

COMMITTENTE:	DOTT. GEOL. FABIO BAIO		
COMMESSA:	CIRCONVALLAZIONE SUD		
LOCALITA':	TANGENZIALE DI CALUSCO D'ADDA (BG)		
POZZETTO :	1 BIS	CAMPIONE: CR4 IN CLASSE Q3	PROFONDITA' : -0,30 m

ANALISI PER SETACCIATURA

Peso iniziale			505,2	g
Diametro massimo			20	mm
Diametro minimo			10	mm
	mm	in.-No.		
Passante	75,0	3	100,00	%
Passante	50,8	2	100,00	%
Passante	38,1	1 1/2	100,00	%
Passante	25,4	1	100,00	%
Passante	19,0	3/4	100,00	%
Passante	9,5	3/8	97,02	%
Passante	4,75	No. 4	92,94	%
Passante	2,0	No. 10	85,62	%
Passante	0,850	No. 20	75,24	%
Passante	0,425	No. 40	64,31	%
Passante	0,254	No. 60	55,71	%
Passante	0,150	No. 100	46,35	%
Passante	0,075	No. 200	37,67	%

Ghiaia g	(19-75)	0,00	%
Ghiaia f	(4,75-19,0)	7,06	%
Sabbia g	(2-4,75)	7,33	%
Sabbia m	(0,425-2)	21,31	%
Sabbia f	(0,075-0,425)	26,64	%
Limo+argilla	(< 0,075)	37,67	%
Limo	(0,005-0,075)	29,56	%
Argilla	(< 0,005)	8,11	%

ANALISI PER SEDIMENTAZIONE

Peso iniziale		50	g
Diametro massimo		0,075	mm
	Diametro		Percentuale
	0,0528	mm	34,38 %
	0,0386	mm	31,39 %
	0,0283	mm	27,80 %
	0,0210	mm	23,01 %
	0,0152	mm	20,62 %
	0,0114	mm	17,03 %
	0,0082	mm	14,63 %
	0,0060	mm	11,05 %
	0,0044	mm	6,26 %
	0,0031	mm	5,06 %
	0,0022	mm	3,87 %
	0,0016	mm	2,67 %
	0,0013	mm	1,47 %

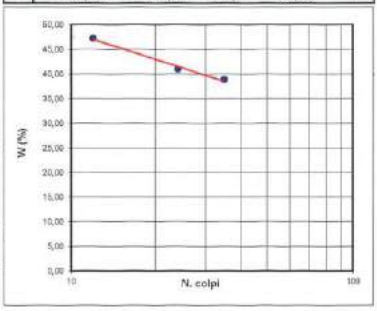
CLASSIFICAZIONE ASTM
SC
AASHTO M 145-82
a7-6

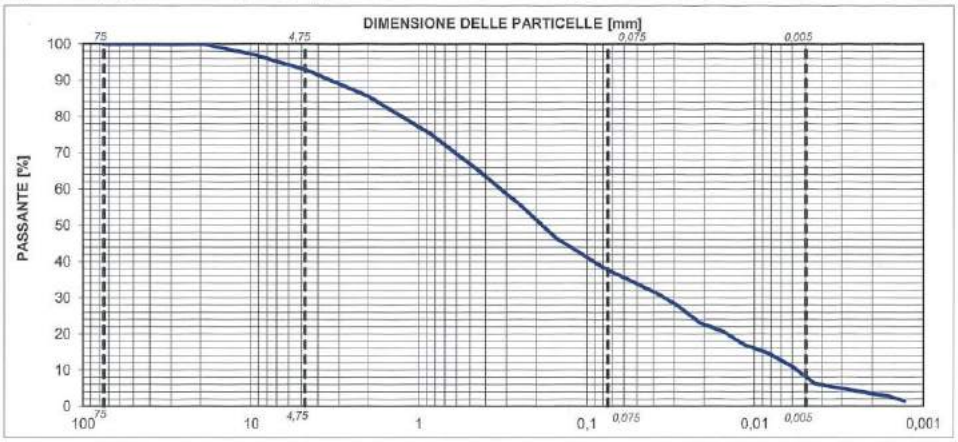
γs	-	Mg/mc
CU	-	-
CC	-	-

LIMITI DI CONSISTENZA

Limite Liquido	41	%
Limite Plastico	23	%
Indice di Plasticità	18	%

	TARA (g)	PESO UMIDO (g)	PESO SECCO (g)	UMIDITA' (%)	N. COLPI
LL	23,53	56,00	45,58	47,26	12
	22,75	60,58	49,57	41,05	24
	22,74	56,76	47,23	38,91	35
LP	23,28	31,82	30,19	23,59	-
	22,76	29,86	28,51	23,83	-





IL DIRETTORE DEL LABORATORIO

Capitale Sociale € 95.000,00 - i.v. Sede Legale Via E. Pagliano, 37 20149 MILANO
Laboratorio: Via A. Martini, 11 20092 CINISELLO BALSAMO (MI) Tel. 0261293850 r.a. Fax 0261770281
E-mail:info@geoaltair.it P.E.C.:altairsrl1@legalmail.it R.E.A. n. 1198777 – Registro Imprese Milano / C.F. / p.IVA n. 08041580153

Pagina 1 di 1

ALTAIR SRL

Laboratorio Autorizzato dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti prove terre (settore "a") e rocce (settore "b")
D.P.R. 06.06.2004 n.380 - Circ. 7618/STC del 08.09.2010 Autorizzazione n. 52505 del 11.10.2004 e successivi rinnovi
Laboratorio Certificato UNI EN ISO 9001:2008 ICMQ n.11353 del 28.10.2011

Certificato	2190	del	20/10/2015	Accettazione	1889	del	08/10/2015

SETACCIATURA - SEDIMENTAZIONE *(ASTM D2487-D422-D6913)*	data inizio prova	08/10/2015	data fine prova	16/10/2015
LIMITI DI CONSISTENZA *(ASTM D4318)*	data inizio prova	08/10/2015	data fine prova	19/10/2015

COMMITTENTE:	DOTT. GEOL. FABIO BAIO			
COMMESSA:	CIRCONVALLAZIONE SUD			
LOCALITA':	TANGENZIALE DI CALUSCO D'ADDA (BG)			
POZZETTO :	2	CAMPIONE:	CR5 IN CLASSE Q3	PROFONDITA' : -0,30 m

ANALISI PER SETACCIATURA

Peso iniziale			536,9	g
Diametro massimo			20	mm
Diametro minimo			15	mm
	mm	in.-No.		
Passante	75,0	3	100,00	%
Passante	50,8	2	100,00	%
Passante	38,1	1 1/2	100,00	%
Passante	25,4	1	100,00	%
Passante	19,0	3/4	100,00	%
Passante	9,5	3/8	97,14	%
Passante	4,75	No. 4	93,59	%
Passante	2,0	No. 10	89,15	%
Passante	0,850	No. 20	82,74	%
Passante	0,425	No. 40	76,65	%
Passante	0,254	No. 60	72,93	%
Passante	0,150	No. 100	68,91	%
Passante	0,075	No. 200	64,02	%

Ghiaia g	(19-75)	0,00	%
Ghiaia f	(4,75-19,0)	6,41	%
Sabbia g	(2-4,75)	4,45	%
Sabbia m	(0,425-2)	12,50	%
Sabbia f	(0,075-0,425)	12,63	%
Limo+argilla	(< 0,075)	64,02	%
Limo	(0,005-0,075)	49,77	%
Argilla	(< 0,005)	14,25	%

ANALISI PER SEDIMENTAZIONE

Peso iniziale		50	g
Diametro massimo		0,075	mm
Diametro		*Percentuale*	
0,0531	mm	57,41	%
0,0386	mm	53,34	%
0,0280	mm	49,28	%
0,0207	mm	41,14	%
0,0152	mm	35,04	%
0,0114	mm	28,94	%
0,0083	mm	22,84	%
0,0060	mm	16,74	%
0,0043	mm	12,67	%
0,0031	mm	8,61	%
0,0022	mm	6,57	%
0,0016	mm	4,54	%
0,0013	mm	2,50	%

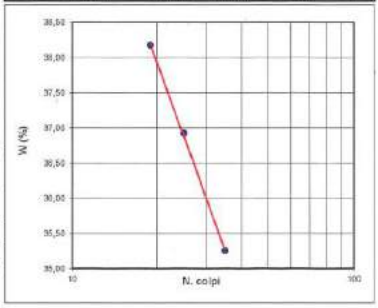
CLASSIFICAZIONE ASTM
CL o OL
AASHTO M 145-82
a6

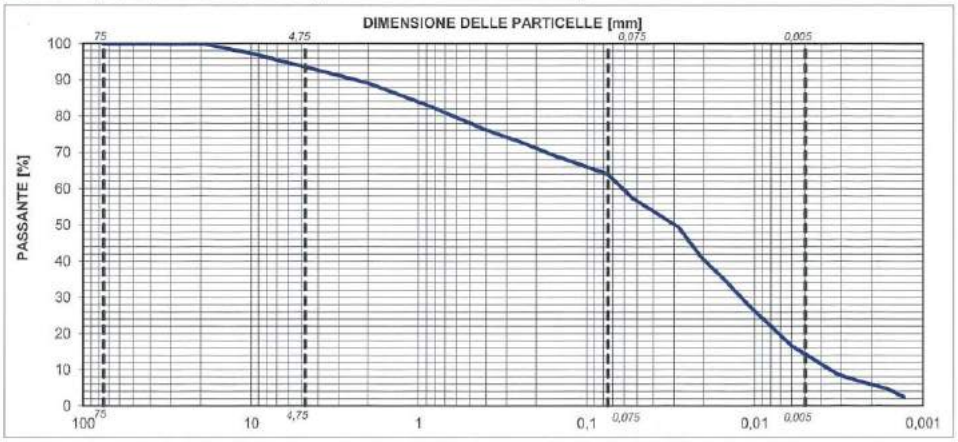
γs	-	Mg/mc
CU	-	-
CC	-	-

LIMITI DI CONSISTENZA

Limite Liquido	37	%
Limite Plastico	22	%
Indice di Plasticità	15	%

	TARA (g)	PESO UMIDO (g)	PESO SECCO (g)	UMIDITA' (%)	N. COLPI
LL	23,09	61,13	50,62	38,18	19
	22,52	63,16	52,20	36,93	25
	22,93	52,47	44,77	35,26	35
LP	23,16	34,2	32,15	22,80	-
	22,59	32,62	30,74	23,07	-





IL DIRETTORE DEL LABORATORIO

Capitale Sociale € 95.000,00 - i.v. Sede Legale Via E. Pagliano, 37 20149 MILANO
Laboratorio: Via A. Martini, 11 20092 CINISELLO BALSAMO (MI) Tel. 0261293850 r.a. Fax 0261770281
E-mail:info@geoaltair.it P.E.C.:altairsrl1@legalmail.it R.E.A. n. 1198777 – Registro Imprese Milano / C.F. / p.IVA n. 08041580153

Pagina 1 di 1

ALTAIR SRL

Laboratorio Autorizzato dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti prove terre (settore "a") e rocce (settore "b")
D.P.R. 06.06.2004 n.380 - Circ. 7618/STC del 08.09.2010 Autorizzazione n. 52505 del 11.10.2004 e successivi rinnovi
Laboratorio Certificato UNI EN ISO 9001:2008 ICMQ n.11353 del 28.10.2011

Certificato	2191	del 20/10/2015	Accettazione	1889	del 08/10/2015
SETACCIATURA - SEDIMENTAZIONE *(ASTM D2487-D422-D6913)*			data inizio prova	08/10/2015	data fine prova 16/10/2015
LIMITI DI CONSISTENZA *(ASTM D4318)*			data inizio prova	08/10/2015	data fine prova 19/10/2015

COMMITTENTE:	DOTT. GEOL. FABIO BAIO
COMMESSA:	CIRCONVALLAZIONE SUD
LOCALITA':	TANGENZIALE DI CALUSCO D'ADDA (BG)
POZZETTO :	3 CAMPIONE: CR6 IN CLASSE Q3 PROFONDITA' : -0,30 m

ANALISI PER SETACCIATURA

Peso iniziale			551,2	g
Diametro massimo			15	mm
Diametro minimo			10	mm
	mm	in.-No.		
Passante	75,0	3	100,00	%
Passante	50,8	2	100,00	%
Passante	38,1	1 1/2	100,00	%
Passante	25,4	1	100,00	%
Passante	19,0	3/4	100,00	%
Passante	9,5	3/8	98,92	%
Passante	4,75	No. 4	95,24	%
Passante	2,0	No. 10	89,71	%
Passante	0,850	No. 20	80,34	%
Passante	0,425	No. 40	70,71	%
Passante	0,254	No. 60	64,70	%
Passante	0,150	No. 100	58,09	%
Passante	0,075	No. 200	51,96	%

Ghiaia g	(19-75)	0,00	%
Ghiaia f	(4,75-19,0)	4,76	%
Sabbia g	(2-4,75)	5,53	%
Sabbia m	(0,425-2)	19,00	%
Sabbia f	(0,075-0,425)	18,75	%
Limo+argilla	(< 0,075)	51,96	%
Limo	(0,005-0,075)	40,39	%
Argilla	(< 0,005)	11,56	%

ANALISI PER SEDIMENTAZIONE

Peso iniziale		50	g
Diametro massimo		0,075	mm
Diametro		*Percentuale*	
0,0528	mm	47,42	%
0,0381	mm	44,94	%
0,0280	mm	39,99	%
0,0205	mm	35,04	%
0,0152	mm	28,44	%
0,0114	mm	23,49	%
0,0083	mm	18,54	%
0,0060	mm	13,59	%
0,0043	mm	10,28	%
0,0031	mm	6,98	%
0,0022	mm	5,33	%
0,0016	mm	3,68	%
0,0013	mm	2,03	%

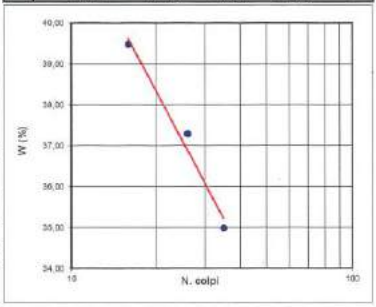
CLASSIFICAZIONE ASTM
CL o OL
AASHTO M 145-82
a6

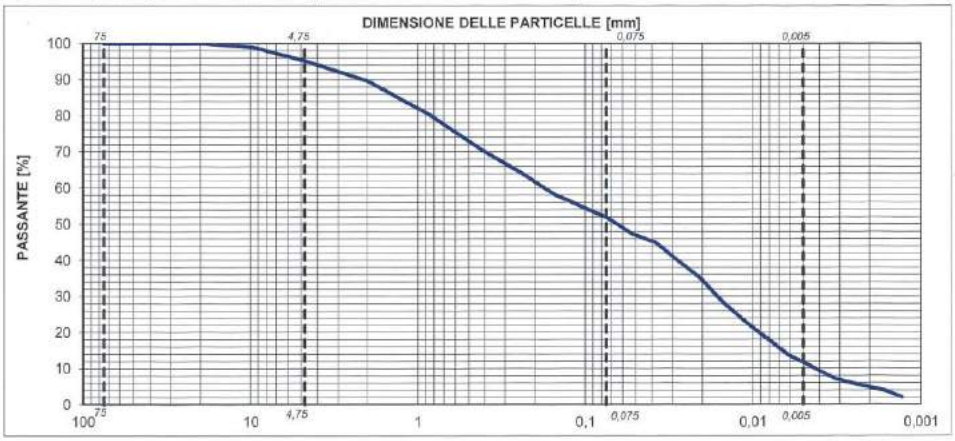
γ_s	-	Mg/mc
CU	-	-
CC	-	-

LIMITI DI CONSISTENZA

Limite Liquido		37	%
Limite Plastico		21	%
Indice di Plasticità		16	%

	TARA (g)	PESO UMIDO (g)	PESO SECCO (g)	UMIDITA' (%)	N. COLPI
LL	22,98	52,94	44,46	39,48	16
	23,00	51,53	43,78	37,30	26
	22,76	48,07	41,51	34,99	35
LP	23,28	30,56	29,25	21,94	-
	23,04	31,91	30,32	21,84	-





IL DIRETTORE DEL LABORATORIO

Capitale Sociale € 95.000,00.- i.v. Sede Legale Via E. Pagliano, 37 20149 MILANO
Laboratorio: Via A. Martini, 11 20092 CINISELLO BALSAMO (MI) Tel. 0261293850 r.a. Fax 0261770281
E-mail:info@geoaltair.it P.E.C.:altairsrl!@legalmail.it R.E.A. n. 1198777 – Registro Imprese Milano / C.F. / p.IVA n. 08041580153

Pagina 1 di 1

ALTAIR SRL

Laboratorio Autorizzato dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti prove terre (settore "a") e rocce (settore "b")
D.P.R. 06.06.2004 n.380 - Circ. 7618/STC del 08.09.2010 Autorizzazione n. 52505 del 11.10.2004 e successivi rinnovi
Laboratorio Certificato UNI EN ISO 9001:2008 ICMQ n.11355 del 28.10.2011

Certificato	2192	del 20/10/2015	Accettazione	1889	del 08/10/2015
SETACCIATURA - SEDIMENTAZIONE *(ASTM D2487-D422-D6913)*			data inizio prova	08/10/2015	data fine prova 16/10/2015
LIMITI DI CONSISTENZA *(ASTM D4318)*			data inizio prova	08/10/2015	data fine prova 19/10/2015

COMMITTENTE:	DOTT. GEOL. FABIO BAIO		
COMMESSA:	CIRCONVALLAZIONE SUD		
LOCALITA':	TANGENZIALE DI CALUSCO D'ADDA (BG)		
POZZETTO :	4 CAMPIONE: CR7 IN CLASSE Q3	PROFONDITA' :	-0,30 m

ANALISI PER SETACCIATURA

Peso iniziale			385,83	g
Diametro massimo			30	mm
Diametro minimo			25	mm
	mm	in.-No.		
Passante	75,0	3	100,00	%
Passante	50,8	2	100,00	%
Passante	38,1	1 1/2	100,00	%
Passante	25,4	1	100,00	%
Passante	19,0	3/4	94,24	%
Passante	9,5	3/8	90,94	%
Passante	4,75	No. 4	87,11	%
Passante	2,0	No. 10	81,90	%
Passante	0,850	No. 20	75,21	%
Passante	0,425	No. 40	67,98	%
Passante	0,254	No. 60	63,26	%
Passante	0,150	No. 100	58,62	%
Passante	0,075	No. 200	53,09	%

Ghiaia g	(19-75)	5,76	%
Ghiaia f	(4,75-19,0)	7,13	%
Sabbia g	(2-4,75)	5,21	%
Sabbia m	(0,425-2)	13,92	%
Sabbia f	(0,075-0,425)	14,89	%
Limo+argilla	(< 0,075)	53,09	%
Limo	(0,005-0,075)	38,49	%
Argilla	(< 0,005)	14,60	%

ANALISI PER SEDIMENTAZIONE

Peso iniziale		50	g
Diametro massimo		0,075	mm
Diametro		*Percentuale*	
0,0524	mm	49,29	%
0,0386	mm	44,23	%
0,0280	mm	40,86	%
0,0206	mm	34,96	%
0,0150	mm	30,74	%
0,0114	mm	24,00	%
0,0082	mm	22,31	%
0,0060	mm	15,57	%
0,0043	mm	13,88	%
0,0031	mm	8,82	%
0,0022	mm	5,45	%
0,0016	mm	4,61	%
0,0013	mm	3,76	%

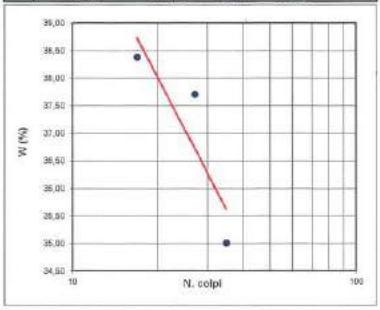
CLASSIFICAZIONE ASTM
CL o OL
AASHTO M 145-82
a6

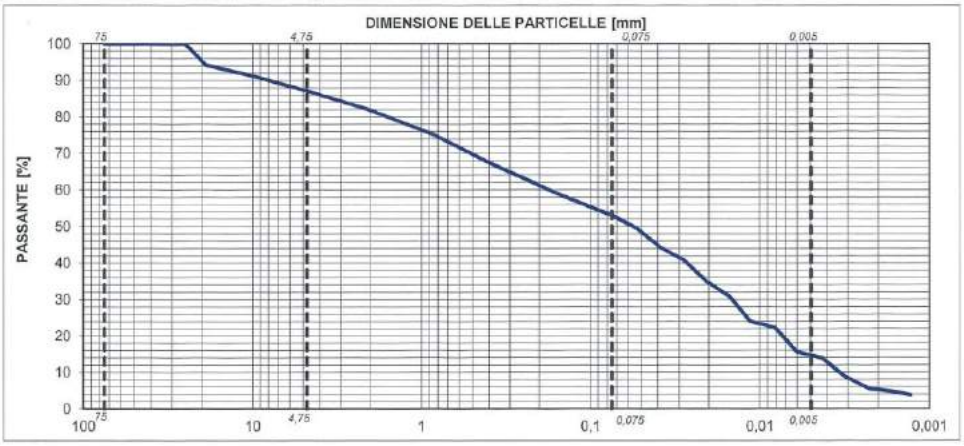
γs	-	Mg/mc
CU	-	-
CC	-	-

LIMITI DI CONSISTENZA

Limite Liquido	37	%
Limite Plastico	21	%
Indice di Plasticità	16	%

	TARA (g)	PESO UMIDO (g)	PESO SECCO (g)	UMIDITA' (%)	N. COLPI
LL	22,58	50,92	43,06	38,38	17
	23,31	52,60	44,58	37,71	27
	23,09	54,29	46,20	35,01	35
LP	23,26	29,64	28,53	21,06	-
	23,16	29,92	28,74	21,15	-





IL DIRETTORE DEL LABORATORIO

Capitale Sociale € 95.000,00.- i.v. Sede Legale Via E. Pagliano, 37 20149 MILANO
Laboratorio: Via A. Martini, 11 20092 CINISELLO BALSAMO (Mi) Tel. 0261293850 r.a. Fax 0261770281
E-mail:info@geoaltair.it P.E.C.:altairsrl1@legalmail.it R.E.A. n. 1198777 – Registro Imprese Milano / C.F. / p.IVA n. 08041580153

Pagina 1 di 1

ALTAIR SRL

Laboratorio Autorizzato dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti prove terre (settore "a") e rocce (settore "b") D.P.R. 06.06.2004 n.380 - Circ. 7618/STC del 08.09.2010 Autorizzazione n. 52505 del 11.10.2004 e successivi rinnovi
Laboratorio Certificato UNI EN ISO 9001:2008 ICMQ n.11353 del 28.10.2011

Certificato	2193	del	20/10/2015	Accettazione	1889	del	08/10/2015
SETACCIATURA - SEDIMENTAZIONE *(ASTM D2487-D422-D6913)*				data inizio prova	08/10/2015	data fine prova	16/10/2015
LIMITI DI CONSISTENZA *(ASTM D4318)*				data inizio prova	08/10/2015	data fine prova	19/10/2015

COMMITTENTE:	DOTT. GEOL. FABIO BAIO
COMMESSA:	CIRCONVALLAZIONE SUD
LOCALITA':	TANGENZIALE DI CALUSCO D'ADDA (BG)
POZZETTO : 5	CAMPIONE: CR8 IN CLASSE Q3 — PROFONDITA' : -0,50 m

ANALISI PER SETACCIATURA

Peso iniziale			414,4	g
Diametro massimo			10	mm
Diametro minimo			5	mm
	mm	in.-No.		
Passante	75,0	3	100,00	%
Passante	50,8	2	100,00	%
Passante	38,1	1½	100,00	%
Passante	25,4	1	100,00	%
Passante	19,0	3/4	100,00	%
Passante	9,5	3/8	100,00	%
Passante	4,75	No. 4	99,44	%
Passante	2,0	No. 10	97,28	%
Passante	0,850	No. 20	93,07	%
Passante	0,425	No. 40	90,01	%
Passante	0,254	No. 60	88,20	%
Passante	0,150	No. 100	86,38	%
Passante	0,075	No. 200	82,28	%

Ghiaia g	(19-75)	0,00	%
Ghiaia f	(4,75-19,0)	0,56	%
Sabbia g	(2-4,75)	2,17	%
Sabbia m	(0,425-2)	7,26	%
Sabbia f	(0,075-0,425)	7,73	%
Limo+argilla	(< 0,075)	82,28	%
Limo	(0,005-0,075)	66,71	%
Argilla	(< 0,005)	15,57	%

ANALISI PER SEDIMENTAZIONE

Peso iniziale		50	g
Diametro massimo		0,075	mm
Diametro		*Percentuale*	
0,0528	mm	75,09	%
0,0381	mm	71,17	%
0,0276	mm	65,94	%
0,0207	mm	52,88	%
0,0152	mm	45,04	%
0,0114	mm	37,20	%
0,0084	mm	26,74	%
0,0061	mm	18,90	%
0,0044	mm	13,67	%
0,0031	mm	8,45	%
0,0022	mm	5,83	%
0,0016	mm	4,53	%
0,0013	mm	3,22	%

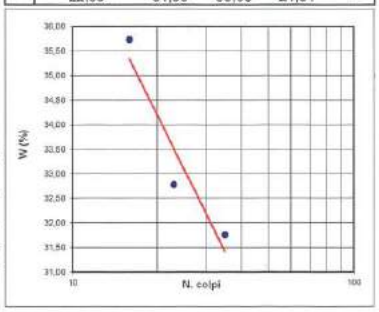
CLASSIFICAZIONE ASTM
CL o OL
AASHTO M 145-82
a6

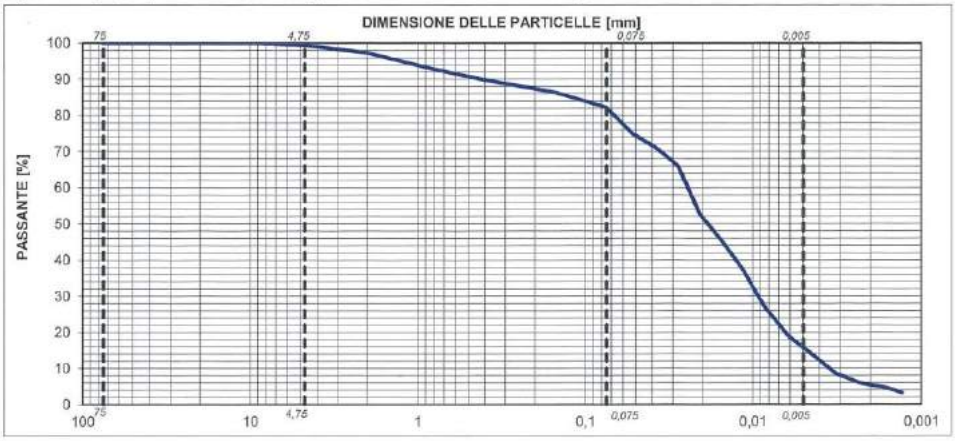
γs	-	Mg/mc
CU	-	-
CC	-	-

LIMITI DI CONSISTENZA

Limite Liquido	33	%
Limite Plastico	21	%
Indice di Plasticità	12	%

	TARA (g)	PESO UMIDO (g)	PESO SECCO (g)	UMIDITA' (%)	N. COLPI
LL	23,50	57,04	48,21	35,73	16
	23,20	53,90	46,32	32,79	23
	22,89	53,38	46,03	31,76	35
LP	22,53	31,17	29,63	21,69	-
	22,88	31,65	30,08	21,81	-





IL DIRETTORE DEL LABORATORIO

Capitale Sociale € 95.000,00 - i.v. Sede Legale Via E. Pagliano, 37 20149 MILANO
Laboratorio: Via A. Martini, 11 20092 CINISELLO BALSAMO (MI) Tel. 0261293850 r.a. Fax 0261770281
E-mail:info@geoaltair.it P.E.C.:altairsrl1@legalmail.it R.E.A. n. 1198777 – Registro Imprese Milano / C.F. / p.IVA n. 08041580153

Pagina 1 di 1

ALTAIR SRL

Laboratorio Autorizzato dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti prove terre (settore "a") e rocce (settore "b")
D.P.R. 06.06.2004 n.380 - Circ. 7618/STC del 08.09.2010 Autorizzazione n. 52505 del 11.10.2004 e successivi rinnovi
Laboratorio Certificato UNI EN ISO 9001:2008 ICMQ n.11353 del 28.10.2011

Certificato	2194	del 20/10/2015	Accettazione	1889	del 08/10/2015
SETACCIATURA - SEDIMENTAZIONE *(ASTM D2487-D422-D6913)*			data inizio prova	08/10/2015	data fine prova 16/10/2015
LIMITI DI CONSISTENZA *(ASTM D4318)*			data inizio prova	08/10/2015	data fine prova 19/10/2015

COMMITTENTE:	DOTT. GEOL. FABIO BAIO		
COMMESSA:	CIRCONVALLAZIONE SUD		
LOCALITA':	TANGENZIALE DI CALUSCO D'ADDA (BG)		
SONDAGGIO :	S3	CAMPIONE: CR1 IN CLASSE Q3	PROFONDITA' : 5,70-6,00 m

ANALISI PER SETACCIATURA

Peso iniziale			596,7	g
Diametro massimo			45	mm
Diametro minimo			20	mm
	mm	in.-No.		
Passante	75,0	3	100,00	%
Passante	50,8	2	100,00	%
Passante	38,1	1 1/2	100,00	%
Passante	25,4	1	92,68	%
Passante	19,0	3/4	80,93	%
Passante	9,5	3/8	75,01	%
Passante	4,75	No. 4	71,69	%
Passante	2,0	No. 10	66,28	%
Passante	0,850	No. 20	57,88	%
Passante	0,425	No. 40	51,13	%
Passante	0,254	No. 60	47,44	%
Passante	0,150	No. 100	43,83	%
Passante	0,075	No. 200	40,22	%

Ghiaia g	(19-75)	19,07	%
Ghiaia f	(4,75-19,0)	9,24	%
Sabbia g	(2-4,75)	5,41	%
Sabbia m	(0,425-2)	15,15	%
Sabbia f	(0,075-0,425)	10,92	%
Limo+argilla	(< 0,075)	40,22	%
Limo	(0,005-0,075)	21,81	%
Argilla	(< 0,005)	18,40	%

ANALISI PER SEDIMENTAZIONE

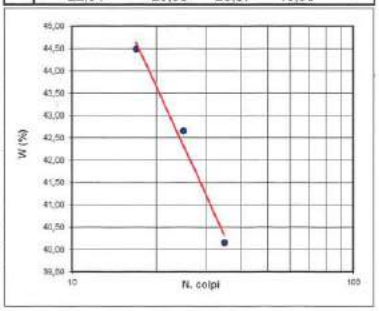
Peso iniziale		50	g
Diametro massimo		0,075	mm
Diametro		Percentuale	
0,0524	mm	37,34	%
0,0381	mm	34,79	%
0,0276	mm	32,23	%
0,0200	mm	29,68	%
0,0147	mm	25,85	%
0,0110	mm	23,29	%
0,0078	mm	22,01	%
0,0057	mm	19,46	%
0,0041	mm	16,90	%
0,0029	mm	14,35	%
0,0021	mm	13,07	%
0,0015	mm	11,79	%
0,0012	mm	10,52	%

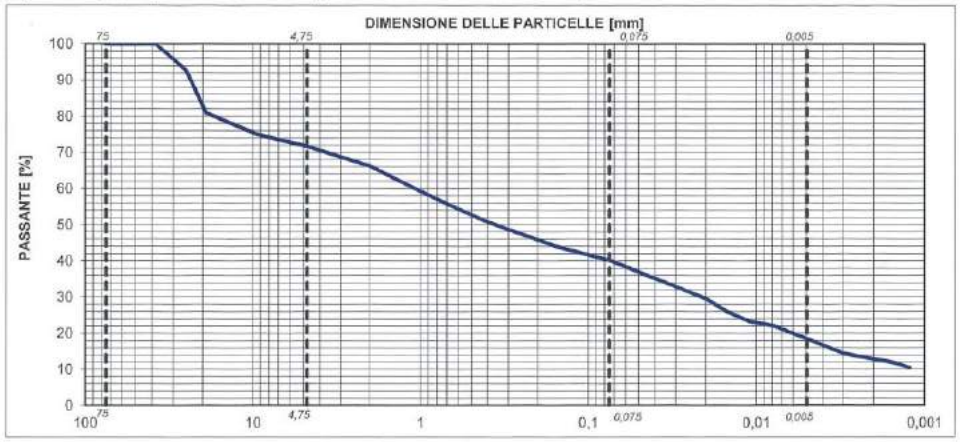
CLASSIFICAZIONE ASTM		
SC		
AASHTO M 145-82		
a7-6		
γs	-	Mg/mc
CU	-	-
CC	-	-

LIMITI DI CONSISTENZA

Limite Liquido	42	%
Limite Plastico	20	%
Indice di Plasticità	22	%

	TARA (g)	PESO UMIDO (g)	PESO SECCO (g)	UMIDITA' (%)	N. COLPI
LL	23,55	64,18	51,67	44,49	17
	23,03	56,14	46,24	42,65	25
	22,64	58,24	48,04	40,16	35
LP	23,45	30,5	29,31	20,31	-
	22,94	29,69	28,57	19,89	-





IL DIRETTORE DEL LABORATORIO

Capitale Sociale € 95.000,00.- i.v. Sede Legale Via E. Pagliano, 37 20149 MILANO
Laboratorio: Via A. Martini, 11 20092 CINISELLO BALSAMO (MI) Tel. 0261293850 r.a. Fax 0261770281
E-mail:info@geoaltair.it P.E.C.:altairsrl1@legalmail.it R.E.A. n. 1198777 – Registro Imprese Milano / C.F. / p.IVA n. 08041580153

Pagina 1 di 1

ALTAIR SRL

Laboratorio Autorizzato dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti prove terre (settore "a") e rocce (settore "b")
D.P.R. 06.06.2004 n.380 - Circ. 7618/STC del 08.09.2010 Autorizzazione n. 52505 del 11.10.2004 e successivi rinnovi
Laboratorio Certificato UNI EN ISO 9001:2008 ICMQ n.11353 del 28.10.2011

Certificato	2195	del 20/10/2015	Accettazione	1889	del 08/10/2015
SETACCIATURA - SEDIMENTAZIONE *(ASTM D2487-D422-D6913)*			data inizio prova	08/10/2015	data fine prova 16/10/2015
LIMITI DI CONSISTENZA *(ASTM D4318)*			data inizio prova	08/10/2015	data fine prova 19/10/2015

COMMITTENTE:	DOTT. GEOL. FABIO BAIO		
COMMESSA:	CIRCONVALLAZIONE SUD		
LOCALITA':	TANGENZIALE DI CALUSCO D'ADDA (BG)		
SONDAGGIO :	S4	CAMPIONE: CR2 IN CLASSE Q3	PROFONDITA' : 6,00-6,40 m

ANALISI PER SETACCIATURA

Peso iniziale			528,4	g
Diametro massimo			30	mm
Diametro minimo			20	mm
	mm	in.-No.		
Passante	75,0	3	100,00	%
Passante	50,8	2	100,00	%
Passante	38,1	1 1/2	100,00	%
Passante	25,4	1	100,00	%
Passante	19,0	3/4	95,15	%
Passante	9,5	3/8	89,67	%
Passante	4,75	No. 4	83,55	%
Passante	2,0	No. 10	75,69	%
Passante	0,850	No. 20	68,40	%
Passante	0,425	No. 40	60,20	%
Passante	0,254	No. 60	53,94	%
Passante	0,150	No. 100	46,92	%
Passante	0,075	No. 200	41,50	%

Ghiaia g	(19-75)	4,85	%
Ghiaia f	(4,75-19,0)	11,60	%
Sabbia g	(2-4,75)	7,87	%
Sabbia m	(0,425-2)	15,48	%
Sabbia f	(0,075-0,425)	18,70	%
Limo+argilla	(< 0,075)	41,50	%
Limo	(0,005-0,075)	20,20	%
Argilla	(< 0,005)	21,31	%

ANALISI PER SEDIMENTAZIONE

Peso iniziale	50	g
Diametro massimo	0,075	mm

Diametro		Percentuale	
0,0524	mm	38,54	%
0,0376	mm	37,22	%
0,0276	mm	33,26	%
0,0198	mm	31,95	%
0,0143	mm	29,31	%
0,0107	mm	26,67	%
0,0077	mm	25,35	%
0,0055	mm	22,72	%
0,0040	mm	18,76	%
0,0029	mm	17,44	%
0,0021	mm	16,13	%
0,0015	mm	14,81	%
0,0012	mm	13,49	%

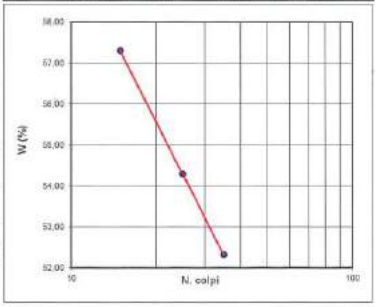
CLASSIFICAZIONE ASTM
SC
AASHTO M 145-82
a7-6

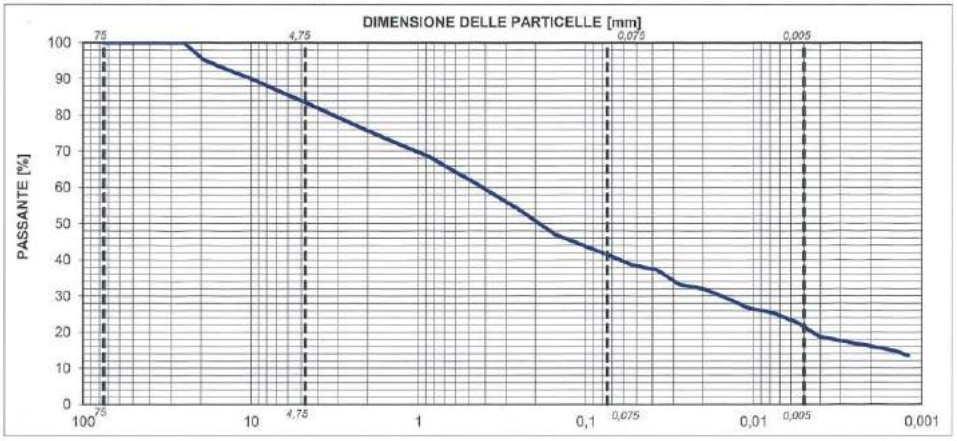
γs	-	Mg/mc
CU	-	-
CC	-	-

LIMITI DI CONSISTENZA

Limite Liquido	54	%
Limite Plastico	27	%
Indice di Plasticità	27	%

	TARA (g)	PESO UMIDO (g)	PESO SECCO (g)	UMIDITA' (%)	N. COLPI
LL	23,47	54,27	43,05	57,30	15
	22,78	54,44	43,30	54,29	25
	22,54	54,68	43,64	52,32	35
LP	23,29	29,64	28,27	27,51	-
	23,05	29,37	28,02	27,16	-





IL DIRETTORE DEL LABORATORIO

Capitale Sociale € 95.000,00 - i.v. Sede Legale Via E. Pagliano, 37 20149 MILANO
Laboratorio: Via A. Martini, 11 20092 CINISELLO BALSAMO (MI) Tel. 0261293850 r.a. Fax 0261770281
E-mail:info@geoaltair.it P.E.C.:altairsrl1@legalmail.it R.E.A. n. 1198777 – Registro Imprese Milano / C.F. / p.IVA n. 08041580153

ALTAIR SRL

Laboratorio Autorizzato dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti prove terre (settore "a") e rocce (settore "b")
D.P.R. 06.06.2004 n.380 - Circ. 7618/STC del 08.09.2010 Autorizzazione n. 52505 del 11.10.2004 e successivi rinnovi
Laboratorio Certificato UNI EN ISO 9001:2008 ICMQ n.11353 del 28.10.2011

Certificato	2196	del	20/10/2015	Accettazione	1889	del	08/10/2015

SETACCIATURA - SEDIMENTAZIONE *(ASTM D2487-D422-D6913)*	data inizio prova	08/10/2015	data fine prova	16/10/2015
LIMITI DI CONSISTENZA *(ASTM D4318)*	data inizio prova	08/10/2015	data fine prova	19/10/2015

COMMITTENTE:	DOTT. GEOL. FABIO BAIO			
COMMESSA:	CIRCONVALLAZIONE SUD			
LOCALITA':	TANGENZIALE DI CALUSCO D'ADDA (BG)			
SONDAGGIO :	S5	CAMPIONE:	CR3 IN CLASSE Q3	PROFONDITA' : 4,70-5,00 m

ANALISI PER SETACCIATURA

Peso iniziale			540,2	g
Diametro massimo			20	mm
Diametro minimo			10	mm
	mm	in.-No.		
Passante	75,0	3	100,00	%
Passante	50,8	2	100,00	%
Passante	38,1	1 1/2	100,00	%
Passante	25,4	1	100,00	%
Passante	19,0	3/4	100,00	%
Passante	9,5	3/8	96,33	%
Passante	4,75	No. 4	92,34	%
Passante	2,0	No. 10	86,11	%
Passante	0,850	No. 20	77,68	%
Passante	0,425	No. 40	67,78	%
Passante	0,254	No. 60	58,17	%
Passante	0,150	No. 100	48,70	%
Passante	0,075	No. 200	44,32	%

Ghiaia g	(19-75)	0,00	%
Ghiaia f	(4,75-19,0)	7,66	%
Sabbia g	(2-4,75)	6,23	%
Sabbia m	(0,425-2)	18,33	%
Sabbia f	(0,075-0,425)	23,46	%
Limo+argilla	(< 0,075)	44,32	%
Limo	(0,005-0,075)	22,54	%
Argilla	(< 0,005)	21,78	%

ANALISI PER SEDIMENTAZIONE

Peso iniziale		50	g
Diametro massimo		0,075	mm
Diametro		*Percentuale*	
0,0520	mm	41,86	%
0,0378	mm	39,04	%
0,0276	mm	35,52	%
0,0200	mm	32,71	%
0,0145	mm	29,89	%
0,0107	mm	28,48	%
0,0077	mm	25,67	%
0,0056	mm	22,85	%
0,0040	mm	20,04	%
0,0029	mm	17,22	%
0,0021	mm	15,81	%
0,0015	mm	14,40	%
0,0012	mm	11,59	%

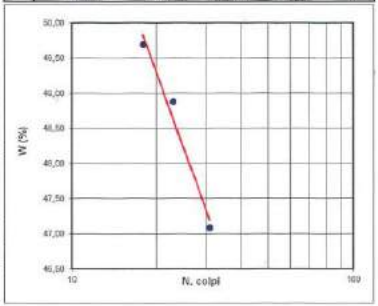
CLASSIFICAZIONE ASTM
SC
AASHTO M 145-82
a7-6

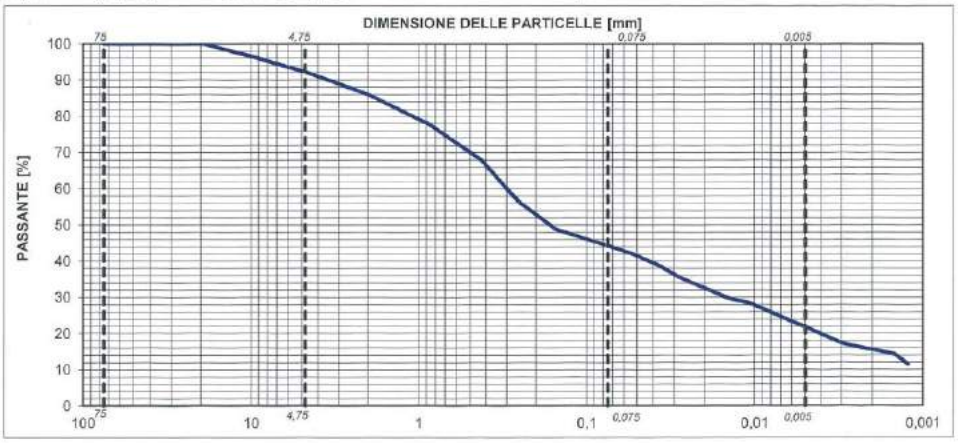
γs	-	Mg/mc	
CU		-	-
CC		-	-

LIMITI DI CONSISTENZA

Limite Liquido	48	%
Limite Plastico	24	%
Indice di Plasticità	24	%

	TARA (g)	PESO UMIDO (g)	PESO SECCO (g)	UMIDITA' (%)	N. COLPI
LL	23,00	54,81	44,25	49,69	18
	22,80	56,03	45,12	48,88	23
	23,15	61,01	48,89	47,09	31
LP	23,06	28,74	27,66	23,48	-
	22,88	29,82	28,45	24,60	-





IL DIRETTORE DEL LABORATORIO

Capitale Sociale € 95.000,00.- i.v. Sede Legale Via E. Pagliano, 37 20149 MILANO
Laboratorio: Via A. Martini, 11 20092 CINISELLO BALSAMO (MI) Tel. 0261293850 r.a. Fax 0261770281
E-mail:info@geoaltair.it P.E.C.:altairsrl1@legalmail.it R.E.A. n. 1198777 – Registro Imprese Milano / C.F. / p.IVA n. 08041580153

Pagina 1 di 1

SINTESI GEOTECNICA

Come già riferito, i "contesti" geologici in cui può essere diviso e descritto il tracciato dal punto di vista geotecnico, sono due:

1. dal sovrappasso della linea ferroviaria FFS/RFI (estremità ovest del tracciato) fino all'inizio del "terrazzo" che sta all'imbocco della galleria artificiale
2. dall'imbocco della galleria artificiale all'intersezione con la strada provinciale rivierasca attuale

Il PRIMO tratto (all'estremità ovest: l'opera d'arte significativa sarà il cavalcavia-ferrovia all'inizio della tratta.)

I parametri sono i seguenti (dopo lo strato superficiale di coltura) utilizzabili per il calcolo dei pali di fondazione del ponte:

PRIMO strato – Livello geotecnico [1]: da -0.30/0.50 m a -2.00/3.00 m

c (coesione) = 0
Φ (fi angolo di attrito interno) = 24-26°
γ (gamma – peso di volume) = 1.6-1.7 t/m^3

SECONDO strato – Livello geotecnico [2]: da -2.00/3.00 m a 20 m e oltre

c (coesione) = 0
Φ (fi angolo di attrito interno) = 34°
γ (gamma – peso di volume) = 1.7 t/m^3

Assenza totale di acqua fino alla profondità investigata (e prevedibilmente oltre fino a grande profondità > 50 m).

Il SECONDO tratto (verso l'estremità est: l'opera d'arte significativa sarà la galleria artificiale nel tratto di confine tra il territorio di Calusco e di Solza.)

I parametri sono i seguenti (dopo lo strato superficiale di coltura) utilizzabili per il calcolo dei pali di "paratia" per realizzare i fianchi della galleria artificiale:

PRIMO e UNICO strato – Livello geotecnico [1]: da -0.30/1.00 m a -20.00 m e oltre

c (coesione) = 0
Φ (fi angolo di attrito interno) = 25-27°
γ (gamma – peso di volume) = 1.8 t/m^3

La prova penetrometrica n° 2 ha evidenziato un probabile *"occhio pollino"* da -5.00 a -11.0 m circa, in cui le caratteristiche del terreno sono peggiori di quelle esposte e difficilmente valutabili.

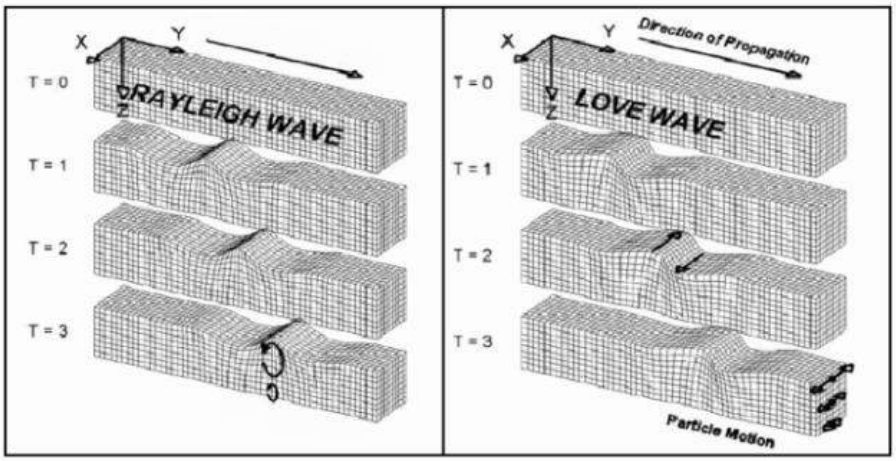
Assenza di acqua di falda fino a profondità di indagine e sicuramente oltre (almeno fino a 50 m). In questo ambito (ferretto) non si può escludere però la presenza di piccole e limitatissime falde sospese a portata bassissima e rapido svuotamento in corrispondenza dei livelli un po' ghiaiosi.

Livelli conglomeratici di modestissima entità.

INDAGINE SISMICA A RIFRAZIONE MASW

Indagini di sismica a rifrazione Tipo MASW

L'indagine MASW è una tecnica di indagine sismica non invasiva per la caratterizzazione sismo-stratigrafica del sottosuolo attraverso l'analisi della propagazione delle onde di superficie (Rayleigh e Love).

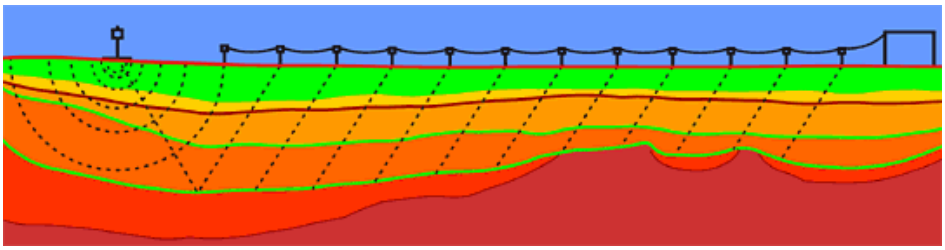


L'analisi sismica di sito viene effettuata tramite l'utilizzo di antenne sismiche che consentono di determinare il profilo di rigidezza del suolo (velocità delle onde di taglio S) tramite la misura della velocità di propagazione delle onde di superficie (onde di Rayleigh e Love) ed un successivo processo di inversione. La restituzione dei dati permette di verificare la mono-dimensionalità degli strati e di calcolare il parametro $V_{s,eq}$ per valorizzare la categoria di sottosuolo.

Il metodo MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) è una tecnica che si basa sulla misura delle onde superficiali (Onde di Rayleigh) eseguita in corrispondenza di diversi sensori posti sulla superficie del suolo, essa è considerata una prova sismica di **tipo "attivo"** in quanto le onde superficiali sono generate ad hoc (metodo attivo) attraverso l'utilizzo, in questo caso, di una mazza, a varie distanze e con varie ripetizioni per sommare algebricamente i segnali ottenuti rendendo in tal modo la potenza del segnale superiore a quella del rumore di fondo.

Il **metodo attivo** è quello che meglio permette la classificazione sismica dei suoli perché fornisce con miglior dettaglio il profilo delle velocità sismiche nei primi 30 metri di profondità dal piano campagna. Infatti si ottiene una curva di dispersione per un range di frequenze normalmente comprese tra 10 e 40 Hz la cui propagazione avviene prevalentemente nella parte più superficiale del suolo in funzione anche delle sue caratteristiche elastiche.

Nel sistema attivo le onde superficiali vengono generate in un punto noto in modo non casuale e vengono registrate da stendimenti lineari di sensori.
Il metodo MASW consente quindi di determinare il profilo di velocità delle onde di taglio V_s nei primi 30 m di profondità ($V_{s,eq}$) e quindi la classificazione del terreno di fondazione in base alle nuove norme tecniche di costruzione (NTC 2018).
Queste indagini geosismiche hanno lo scopo di caratterizzare in modo dinamico, tramite la misura delle onde di taglio (V_{sh}), i litotipi presenti nell'area d'interesse e definirne la geometria di sviluppo nel sottosuolo.



Tale metodologia trova il miglior campo di applicazione per profondità di studio inferiori ai 30 - 40 metri da p.c. È necessario che il volume di terreno sia caratterizzato da valori di velocità di V_p e V_s progressivamente crescenti con la profondità; infatti, come è noto, il principale limite di tale metodologia è rappresentato dal non poter distinguere ed individuare strati con velocità delle onde P e Sh minori sottostanti a strati con velocità più elevate.

L'indagine consiste nel creare delle onde sismiche artificiali sulla superficie del terreno da investigare e registrare le vibrazioni prodotte a distanze note e prestabilite mediante geofoni a prevalente componente orizzontale.
È importante precisare che le onde Sh dirette e rifratte costituiscono sempre il primo arrivo rispetto alle onde superficiali (onde di Love) e che per brevi stendimenti risultano sufficientemente forti da poter essere registrate. Inoltre, con questa metodologia di studio non esistono le limitazioni connesse con l'orizzontalità degli strati proprie delle tecniche utilizzanti le onde superficiali.
Il sistema sorgente utilizzato è in grado di generare onde elastiche ad alta frequenza ricche di energia, con forme d'onda ripetibili e direzionali sia di tipo V_P che V_{Sh}.
Per la ricezione dei segnali sono stati utilizzati dei geofoni orizzontali per le onde Sh a frequenza propria 4,5 Hz.

La strumentazione geosismica utilizzata comprende:

- Sismografo Geode (Geometrics) che consente la rappresentazione degli impulsi sismici mediante programma di digitalizzazione e visualizzazione su Pc; le prime onde rifratte vengono registrate simultaneamente su 24 geofoni e risulta possibile sommare fra loro successivi impulsi sismici migliorando il rapporto fra segnale e rumore. I geofoni utilizzati sono del tipo elettromagnetico a bobina mobile i quali consentono di convertire in segnali elettrici gli spostamenti che si verificano nel terreno, e relativo cavo di collegamento a 24 fili.

- Minibang o mazza e coppia a pendolo; nel caso in esame è stato utilizzato il sistema a mazza di battuta.

Nell'area oggetto d'indagine è stato eseguito un profilo sismico costituito da 24 geofoni a 4.5 Hz ad asse verticale come illustrato nelle figure seguenti.

Considerato che l'obiettivo della prospezione sismica è quello di ottenere un modello di velocità in Vs fino a trenta metri di profondità rispetto al piano campagna, in modo da determinare il parametro $V_{s,eq}$ come previsto da normativa, si è scelto di utilizzare la metodologia MASW ATTIVA. Si è così ottenuta una curva di dispersione acquisita che verrà di seguito discussa.

Considerata la logistica e lo spazio disponibile per l'installazione della linea sismica è stato realizzato uno stendimento, di lunghezza totale di 56m comprensivo dei tiri esterni necessari per l'energizzazione del terreno (+6m e +10m).

Nel dettaglio la linea sismica MASW è stata realizzata, con orientazione circa NO-SE, al fondo di via delle Brughiere.

Nella tabella seguente sono riassunte le caratteristiche della linea sismica realizzata: il numero dei geofoni, la distanza tra un geofono ed il successivo (passo), la lunghezza totale della linea e la profondità raggiunta.

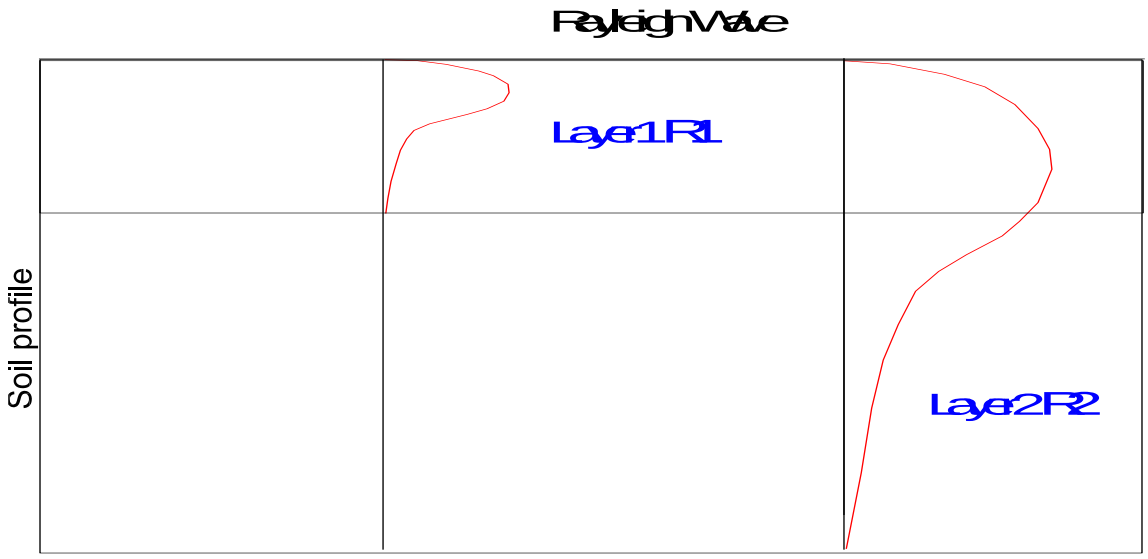
Profilo	Numero geofoni	Passo Geofoni (m)	Lunghezza tot (m)	Profondità max (m)
MASW	24	2	46+52*+56*	>31

*Tiri esterni alla linea sismica

M.A.S.W. - Strumentazione utilizzata, energizzazione del terreno (di repertorio) e fasi di acquisizione del segnale sismico.

Le MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) sono una metodologia d'investigazione che permettono di ricavare le velocità delle onde di taglio verticali Vs dalla determinazione della velocità delle onde superficiali. La misura delle velocità delle onde superficiali viene calcolata grazie all'utilizzo di stendimenti di sensori posti il più possibile in genere a distanze regolari sulla superficie del suolo da indagare.

La porzione che predomina nelle onde superficiali è costituita dalle onde di Rayleigh la cui velocità è correlata alla rigidezza e ai parametri elastici dei suoli attraversati. È importante tenere presente che nei mezzi stratificati le onde di Rayleigh sono dispersive, ovvero le alte frequenze (quindi con lunghezze d'onda corta) si propagano prevalentemente negli strati più superficiali del terreno, invece le onde con lunghezze maggiori tendono a coinvolgere gli strati più profondi cosi come di seguito illustrato.



La metodologia MASW può essere sia attiva che passiva o la combinazione di entrambe. Nel sistema attivo le onde superficiali vengono generate in un punto noto in modo non casuale e vengono registrate da stendimenti lineari di sensori.

Nel metodo PASSIVO (Tipo Re.Mi.), non realizzato nelle indagini in oggetto, lo stendimento di ricezione può essere sia lineare che circolare e si misura il rumore di fondo ambientale esistente.

Il metodo ATTIVO è quello che meglio permette la classificazione sismica dei suoli perché fornisce con miglior dettaglio il profilo delle velocità sismiche nei primi 30 metri di profondità dal piano campagna. Infatti si ottiene una curva di dispersione per un *range* di frequenze normalmente comprese tra 5 e 70 Hz la cui propagazione avviene prevalentemente nella parte più superficiale del suolo in funzione anche delle sue caratteristiche elastiche.

Dall'utilizzo del metodo PASSIVO (non realizzato per la progettazione dell'opera in oggetto), invece, si ottiene una maggiore investigazione in termini di profondità ma una minore risoluzione delle velocità degli strati, soprattutto in quelli più superficiali.

ELABORAZIONE DEI DATI

La procedura elaborativa è sinteticamente descrivibile nei passi seguenti.

- Trasferimento dei sismogrammi al software di prelevamento dei tempi di primo arrivo.
- Emissione delle dromocrone misurate sia in forma grafica che in forma leggibile dal software di elaborazione tradizionale basato sull'algoritmo GRM (Generalized Reciprocal Method).
- Immissione dei valori delle quote dei geofoni e degli spari nel programma di interpretazione GRM e lettura delle dromocrone misurate.
- Elaborazione dei dati e interpretazione tradizionale.
- Emissione del profilo sismico (Logs sismico) riportante le interfacce fra strati di diversa velocità sismica e i valori stessi di velocità e gli spessori di ogni singolo sismostrato. Si noti che le velocità sismiche attribuite a ciascun strato sono caratterizzate da un gradiente nullo in direzione verticale (sono costanti in verticale per ciascuno strato). Vi è una utile possibilità di modellizzare con la procedura GRM delle variazioni orizzontali di velocità che comunque risultano discrete e non continue.
- Emissione di un file riportante l'ubicazione e la quota di ciascun punto di sparo e di ciascun geofono, leggibile dal programma di iterazione tomografica e di *ray-tracing* (tracciamento dei percorsi dei raggi sismici).

Il terreno viene quindi suddiviso in celle di dimensione minima, ciascuna dotata di una diversa velocità sismica e ciascuna pronta a venir modificata dalla procedura di iterazione tomografica allo scopo di ridurre al minimo l'errore fra le dromocrone calcolate in base al modello di terreno e quelle effettivamente misurate durante la prospezione.

Il file contenente le ubicazioni e le quote viene letto dal programma tomografico assieme al file contenente la matrice di velocità e la procedura di *ray-tracing* e di controllo viene attivata.

Per prima cosa viene controllata la correttezza delle ubicazioni dei sensori e degli spari e quindi vengono visionati i percorsi dei raggi sismici e valutato il primo *"fitting"* con i dati misurati, allo scopo di iniziare la procedura tomografica senza la presenza di errori sistematici previamente correggibili.

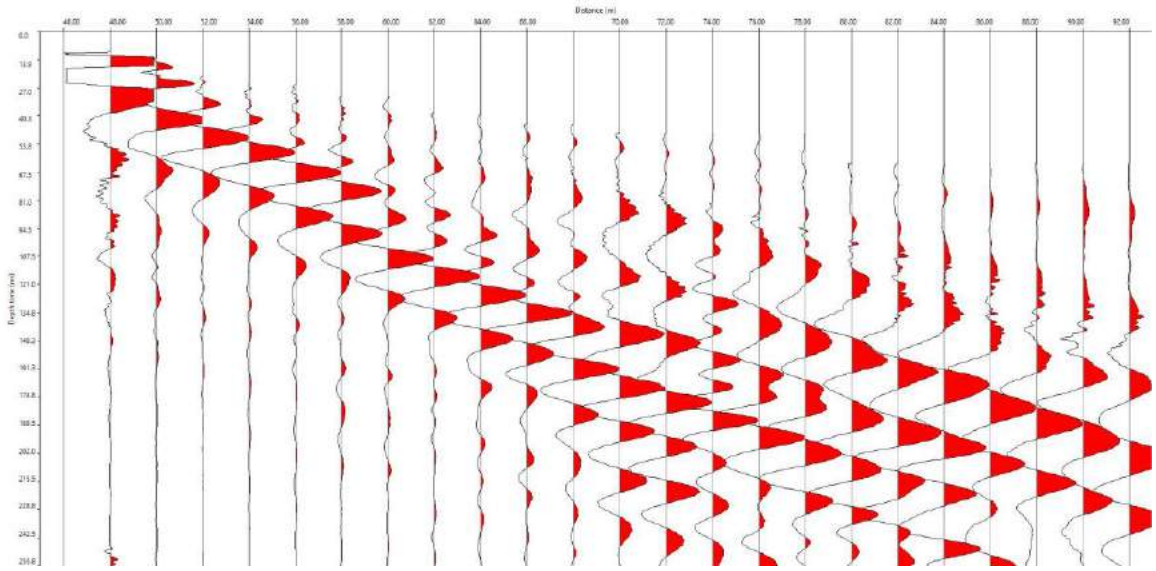
Lo scopo della procedura iterativa è quello di ridurre l'errore fra i tempi delle dromocrone calcolate in base al modello rispetto a quelle effettivamente misurate.

Questo avviene per approssimazioni successive (iterazioni) controllate dall'operatore, il quale interviene nella scelta di molti coefficienti che influenzano il calcolo come anche nella scelta della procedura stessa che viene utilizzata per realizzare la minimizzazione degli errori.

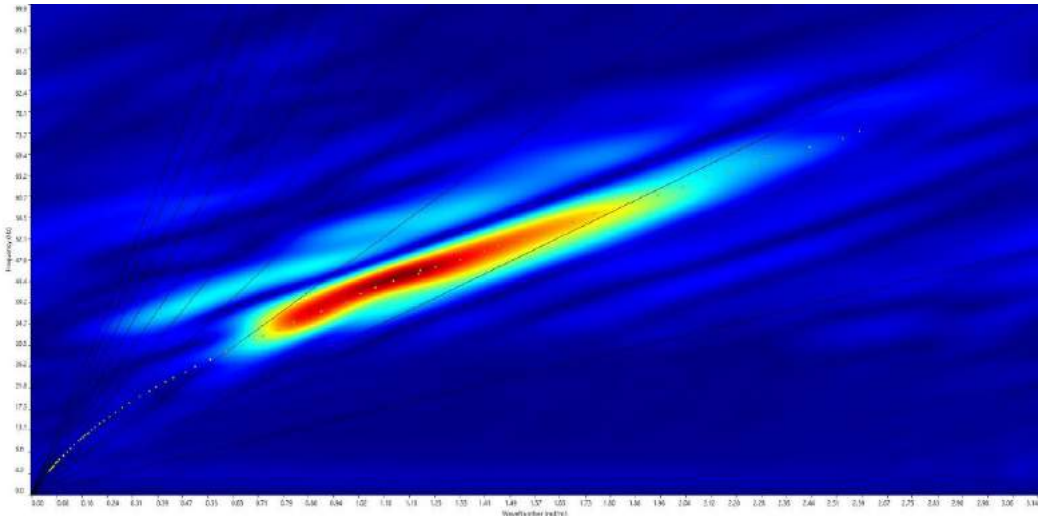
Il risultato finale sarà una matrice rappresentativa del terreno indagato costituita da celle ciascuna caratterizzata da una velocità sismica e tale complessivamente da presentare un errore minimo se utilizzata nella procedura di tracciamento dei raggi sismici.

Risultati della indagine di sismica a rifrazione tipo MASW

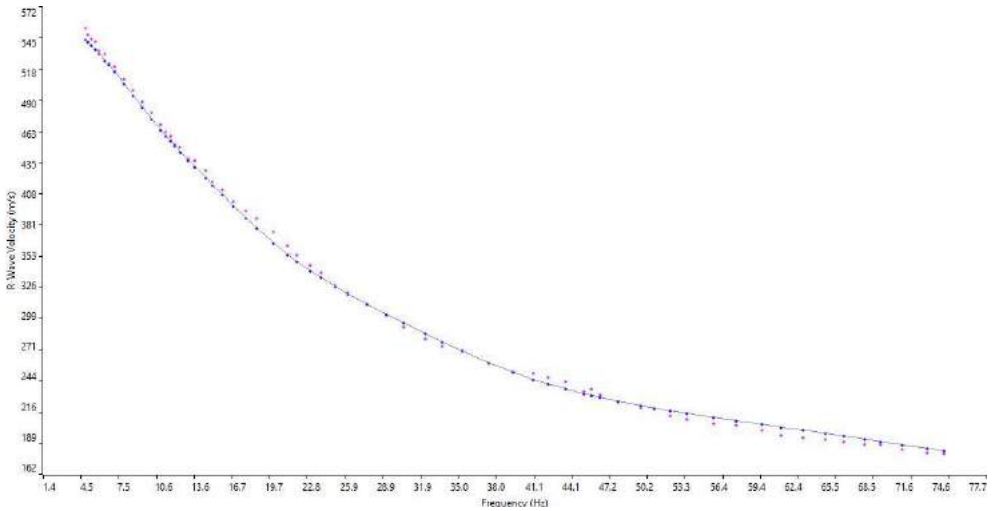
Risulta particolarmente affidabile la determinazione diretta della velocità delle onde di taglio che viene calcolata tramite l'applicazione delle classiche metodologie geofisiche (sismica superficiale, metodi SAWS, prove in foro tipo down-hole o cross-hole).
I risultati ottenuti sono dettagliatamente illustrati nelle seguenti figure:



MASW – Sismogramma risultante dell'indagine sismica dopo una prima fase del processo di pulizia ed elaborazione.



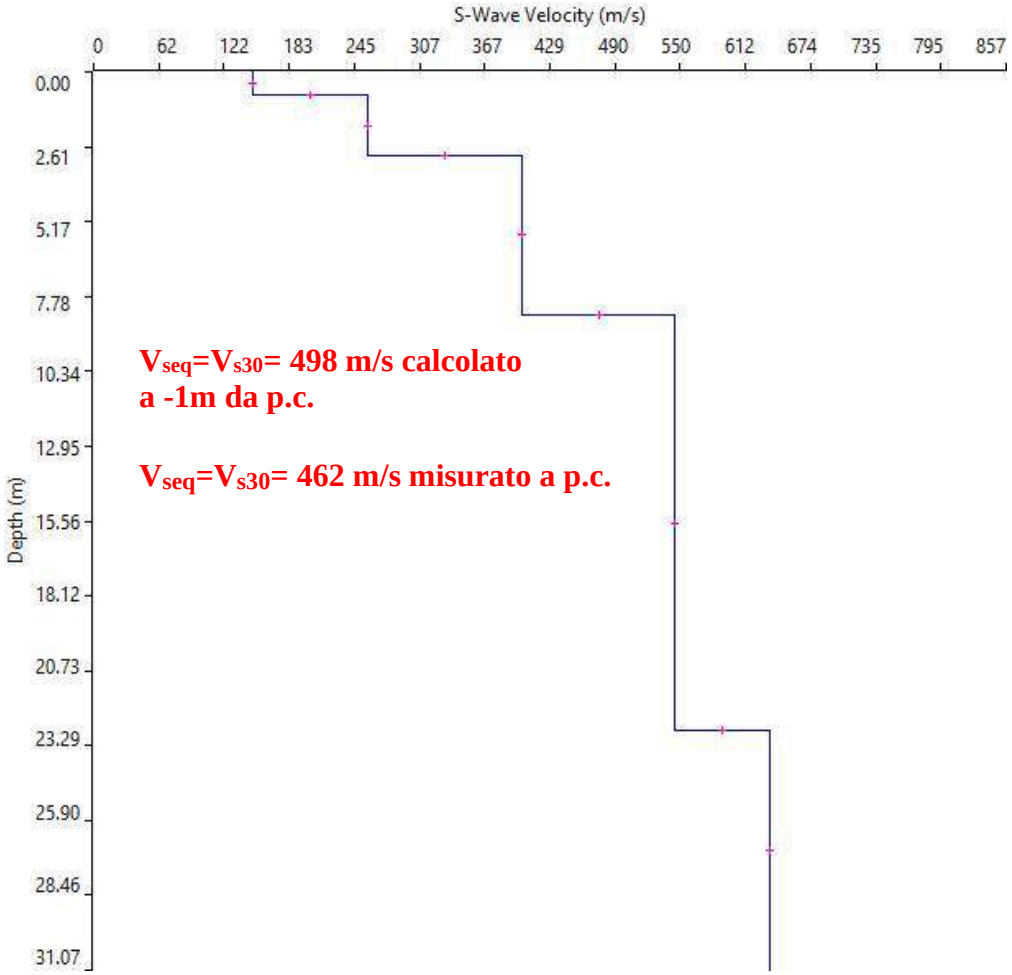
Stendimento MASW – Spetto FK risultante.



MASW – Comparazione tra i valori misurati in sito e la curva di dispersione sperimentale.

	Thickness	Depth	Vs	Vp	Poisson	Density
Layer 1	0.80	0.00	149	298	0.333	1.800
Layer 2	2.10	0.80	258	516	0.333	1.800
Layer 3	5.50	2.90	403	805	0.333	1.800
Layer 4	14.40	8.40	546	1091	0.333	1.800
Layer 5	INF	22.80	635	1269	0.333	1.800

MASW - Andamento delle velocità con la profondità e relativi strati.



Andamento del profilo delle velocità misurate (V_{Sh}) V_s rispetto alla profondità. Il valore di $V_{s,eq}$ è quello misurato a p.c. e alle quota di fondazione ipotizzata dal progettista (-1m da p.c.)

I valori maggiormente attendibili sono riferiti alla velocità delle onde di taglio (V_s) ed al modulo di taglio G che non vengono influenzati dalla saturazione.

Come recentemente introdotto dalle N.T.C. (2018) la definizione della categoria di sottosuolo viene realizzata, oltre che basandosi sulle condizioni stratigrafiche, calcolando il parametro denominato **"Velocità equivalente ($V_{s,eq}$)"** che sostituisce parzialmente, in alcune situazioni sismo-stratigrafiche, il parametro V_{s30} utilizzato nella versione precedente (N.T.C. 2008).

Per **velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio ($V_{s,eq}$)** si intende la media pesata delle velocità delle onde S negli strati nei primi metri di profondità dal piano di posa della fondazione, secondo la relazione:

$$Vs,eq = \frac{H}{\sum_{strato=1}^{N} \frac{h(strato)}{Vs(strato)}}$$

Dove N è il numero di strati individuabili nei primi metri di suolo, ciascuno caratterizzato dallo spessore $h_{(strato)}$ e dalla velocità delle onde S $Vs_{(strato)}$. Per H si intende la profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da Vs non inferiore a 800 m/s.

Per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio $V_{s,eq}$ è definita dal parametro V_{s30}, ottenuto ponendo H = 30 m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

Per la sezione in onde di taglio acquisita dalla superficie ed interpretata, il valore $V_{s,eq}$ è stato definito lungo due punti significativi per valutare ed escludere la presenza di disomogeneità geologiche che possano indurre a grosse variazioni laterali di tale parametro. In realtà le velocità sono risultate tutte abbastanza omogenee. Tali variazioni sono imputabili al diverso grado di consistenza dei depositi indagati e non mutano la sostanza del parametro $V_{s,eq}$ calcolato.

Le prime tre figure riportate nel presente paragrafo mostrano il sismogramma risultante dall'indagine MASW dopo una prima fase di pulizia e pre-processamento, lo spettro FK e la curva di dispersione ricavata dal confronto tra la curva teorica e i valori di velocità effettivamente registrati.

Le due successive figure mostrano, invece, l'andamento delle velocità in onde S nel sottosuolo al variare della profondità.

La prova geofisica realizzata, nei pressi dell'area di progetto (Sismica a rifrazione tipo MASW), ha fornito il seguente **valore di $V_{s,eq}$ misurato a p.c. e misurato a quota fondazione (-1m da p.c.):**

Tabella 1 – Riassunto dei valori delle onde di taglio (Vs) risultati dall'indagine sismica MASW.

	Valori di $V_{s,eq}$ (N.T.C., 2018)=Valori di V_{s30} (N.T.C., 2008)
Vs misurato a quota fondazione (-1 m da p.c.)	**498 m/s**
V_s misurato a p.c.	462 m/s

Con i valori di Vs,eq calcolati precedentemente, i terreni, su cui insiste l'opera in progetto, sono classificabili, secondo le N.T.C. 2018, come **categoria di sottosuolo B** definita come *"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".*

I risultati delle indagini sismiche realizzate nella fase di progettazione sono risultati coerenti e comparabili con i risultati delle indagini sismiche realizzate nella fase pianificatoria (PGT, Lentini, 2011) che hanno assegnato al sottosuolo di Calusco d'Adda una categoria di sottosuolo B.

Si rammenta che il valore di $V_{s,eq}$ misurato a p.c., che mostra una velocità V_s inferiore risulta essere il più cautelativo e di conseguenza, verrà utilizzato per le analisi di secondo o terzo livello.

Merita essere ricordato che i parametri ricavati per via dinamica hanno in genere valori superiori a quelli ricavati da prove statiche in laboratorio proprio per il diverso campo di sollecitazione applicata e la diversa deformazione raggiunta.

Da tutte queste premesse scaturisce che per via indiretta geosismica è possibile definire le caratteristiche del sottosuolo in esame in modo molto più completo e corretto, ottenendo valori progettuali dell'insieme piuttosto che puntuali.

Analisi sismica: zona sismica

A partire dal 2003 sono stati emanati i criteri della nuova classificazione sismica del territorio nazionale, basati sugli studi e le elaborazioni più recenti relative alla pericolosità sismica del territorio, ossia sull'analisi della probabilità che il territorio in analisi venga interessato, in un certo intervallo di tempo (generalmente 50 anni), da un evento che superi una determinata soglia di intensità o magnitudo.

Il territorio italiano è stato diviso in 4 zone a pericolosità sismica decrescente.

zona	accelerazione orizzontale con probabilità di superamento pari al 10 % in 50 anni [a_g/g]	accelerazione orizzontale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico (Norme Tecniche) [a_g/g]
1	> 0,25	0,35
2	0,15-0,25	0,25
3	0,05-015	0,15
4	<0,05	0,05

Zone sismiche e relativi valori di accelerazione (O.P.C.M. 3519 del 28 aprile 2006).

Il **comune di Calusco d'Adda (BG)** ricade nella "**Zona sismica 3" (Sismicità medio-bassa)** a cui corrisponde una accelerazione orizzontale con probabilità di superamento del 10% in 50 anni compresa tra di 0,05 e 0,15 ($a_g/_g$), che si traduce in una accelerazione orizzontale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico di 0,15 ($a_g/_g$) riferita a suoli molto rigidi.

ISTAT	Provincia	Comune	Zona Sismica	AgMax
03016046	BG	CALUSCO D`ADDA	3	0,083746

Zona sismica (d.g.r. 11 luglio 2014, n. 2129).

Valutazione del rischio sismico: classificazione del sito

Per quanto riguarda la classificazione di base del sito, il Decreto Ministeriale 17 gennaio 2018, riprendendo quanto definito dall' Eurocodice 8, distingue 5 classi, facendo riferimento sia alla velocità delle onde S nel substrato sia allo spessore dello stesso.

A ogni classe è associato uno spettro di risposta elastico.

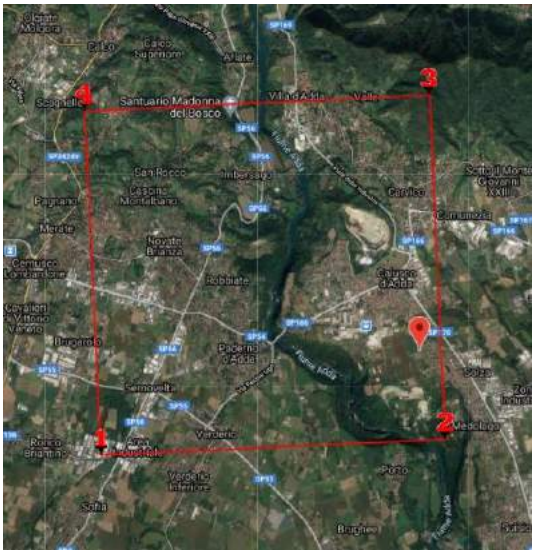
Lo schema indicativo di riferimento per la determinazione della classe del sito è riportato alla pagina seguente.

Sulla base delle informazioni risultanti dall'indagine geofisica realizzata dagli scriventi, coerenti e compatibili con i risultati delle indagini realizzate in PGT (Lentini, 2011) per i terreni oggetto di studio è stata assegnata, considerando il valore di Vs,eq misurato a piano campagna, che risulta più cautelativo rispetto a quello della quota fondazione (-1m da p.c.), la **categoria di sottosuolo B** definita come *"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.

Definizione delle categorie di sottosuolo secondo le NTC (2018).

Parametri sismici del sito



In accordo con il Decreto Ministeriale 17 gennaio 2018 vengono assegnati i valori di a_g (accelerazione orizzontale massima al sito), F_o (valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale) e TC* (periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale) sulla base delle coordinate geografiche dell'area di intervento e in funzione della vita nominale dell'opera **(Classe di edificio III – Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe d'uso IV. Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso – Vita nominale di 75 anni).**

Tali valori si rendono necessari per la determinazione delle azioni sismiche puntualmente per ogni sito considerato. I parametri ed i coefficienti sismici fondamentali del sito in esame sono calcolati mediante software "Geostru PS".

Stato Limite	Tr [anni]	a_g [g]	Fo	Tc^* [s]
Operatività (SLO)	45	0.029	2.508	0.200
Danno (SLD)	75	0.036	2.536	0.219
Salvaguardia vita (SLV)	712	0.089	2.515	0.284
Prevenzione collasso (SLC)	1462	0.116	2.507	0.291
Periodo di riferimento per l'azione sismica:	75			

Stati limite (da GeoStru PS).

	SLO	SLD	SLV	SLC
SS Amplificazione stratigrafica	1,20	1,20	1,20	1,20
CC Coeff. funz categoria	1,52	1,49	1,41	1,41
ST Amplificazione topografica	1,00	1,00	1,00	1,00

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0.007	0.009	0.021	0.033
kv	0.003	0.004	0.011	0.017
Amax [m/s²]	0.343	0.429	1.048	1.362
Beta	0.200	0.200	0.200	0.240

Coefficienti sismici per "Stabilità di pendii e fondazioni" (da GeoStru PS).

Risposta sismica e stabilità del sito

Il moto generato da un terremoto in un sito dipende dalle particolari condizioni locali, cioè dalle caratteristiche topografiche e stratigrafiche dei depositi di terreno e degli ammassi rocciosi e dalle proprietà fisiche e meccaniche dei materiali che li costituiscono.

Alla scala della singola opera e del singolo sistema geotecnico, la risposta sismica locale consente di definire le modifiche che un segnale sismico subisce, a causa dei fattori anzidetti, rispetto a quello di un sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale.

Amplificazione topografica

Per la progettazione o la verifica di opere e sistemi geotecnici realizzati su versanti e per l'analisi delle condizioni di stabilità dei pendii, la valutazione dell'amplificazione topografica può essere effettuata mediante analisi di risposta sismica locale o utilizzando il coefficiente di amplificazione topografica ST.

Gli effetti topografici possono essere trascurati per pendii con inclinazione media inferiore a 15°. Per condizioni topografiche complesse è necessario predisporre specifiche analisi di risposta sismica locale, mentre per configurazioni superficiali semplici si può adottare la seguente classificazione.

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media i ≤ 15°
T2	Pendii con inclinazione media i > 15°
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media 15° ≤ i ≤ 30°
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media i > 30°

Categorie topografiche secondo (D.M. 17 gennaio 2018).

Ad ogni categoria topografica è associato un coefficiente di amplificazione topografica ST, in funzione della categoria stessa e dell'ubicazione del sito di studio.

L'area di progetto si trova in un contesto prettamente pianeggiante con angolo di inclinazione inferiore ai 15°.

Dunque in questo caso è opportuno considerare la **categoria topografica T1**.

A tale categoria si può associare un **fattore ST pari a 1.**

Amplificazione stratigrafica

Il moto sismico alla superficie di un sito, associato a ciascuna categoria di sottosuolo, è definito mediante l'accelerazione massima (a_{max}) attesa in superficie ed una forma spettrale ancorata ad essa. Il valore di a_{max} può essere ricavato dalla relazione $a_{max} = S_s * a_g$, dove a_g è l'accelerazione massima su sito di riferimento rigido ed S_s è il coefficiente di amplificazione stratigrafica.

Per categorie speciali di sottosuolo, per determinati sistemi geotecnici o se si intende aumentare il grado di accuratezza nella previsione dei fenomeni di amplificazione, le azioni sismiche da considerare nella progettazione possono essere determinate mediante specifiche analisi di risposta sismica locale. Queste analisi presuppongono un'adeguata conoscenza delle proprietà geotecniche dei terreni, da determinare mediante specifiche indagini e prove.

Nelle analisi di risposta sismica locale, l'azione sismica di ingresso è descritta in termini di storia temporale dell'accelerazione su di un sito di riferimento rigido ed affiorante con superficie topografica orizzontale (sottosuolo tipo B).

Ai fini della definizione delle azioni sismiche di progetto, sono state definite 7 categorie di profili stratigrafici del suolo di fondazione.
Come già detto in precedenza, il sito indagato appartiene, a partire dalla profondità di posa delle fondazioni, alla categoria B.

Nel caso dei terreni presi in esame, l'analisi sismica del sito ha fornito un valore dell'accelerazione massima al bedrock a_g pari a 0,084 g per eventi con tempi di ritorno di 475 anni e probabilità di superamento del 10% in 50 anni (d.g.r. 11 luglio 2014, n. 2129 – Si veda parametri sismici nel paragrafo *Parametri sismici del sito*). Risulta quindi che **il valore di a_{max} in superficie è pari a 0,101 g** (dove $a_{max} = a_g \times S$, con $S = S_s \times St$ (coefficienti sismici da Geostru) = 1 x 1,2 x 0,084 = 0,101 g).

Analisi della pericolosità sismica locale di 1° livello

Nel presente capitolo verrà trattata la pericolosità sismica locale dell'area oggetto di intervento partendo da quanto illustrato nel P.G.T. del comune di Calusco d'Adda (Bg), redatto a cura dello Studio di Geologia Tecnica ed Ambientale dei geologi Crestana e Lentini, aggiornato ad aprile 2011, e utilizzando le indagini sismiche realizzata dagli scriventi lungo il tracciato di progetto.

Le particolari condizioni geologiche e geomorfologiche di una zona (condizioni locali) possono influenzare, in occasione di eventi sismici, la pericolosità sismica di base producendo effetti diversi da considerare nella valutazione generale della pericolosità sismica dell'area.

Tali effetti vengono distinti in funzione del comportamento dinamico dei materiali coinvolti; pertanto gli studi finalizzati al riconoscimento delle aree potenzialmente pericolose dal punto di vista sismico sono basati, in primo luogo, sull'identificazione della categoria di terreno presente in una determinata area.

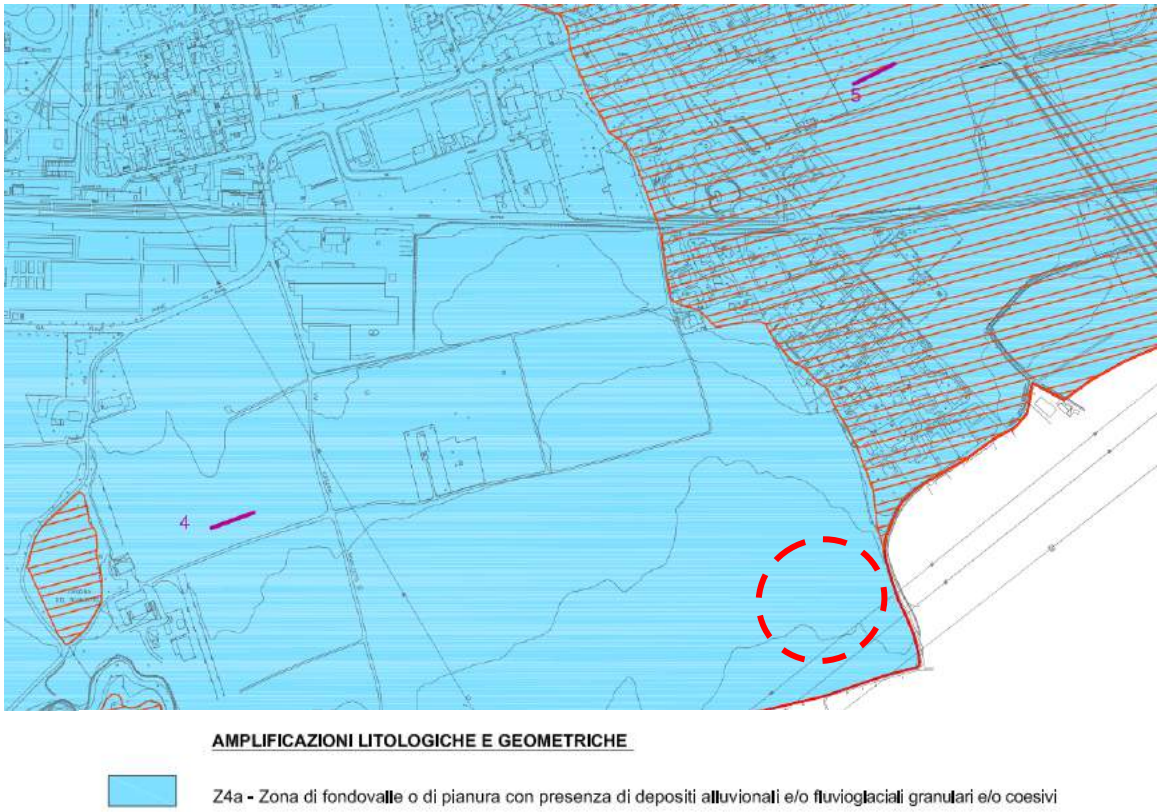
Il moto generato da un terremoto in un sito dipende dalle particolari condizioni locali, cioè dalle caratteristiche topografiche e stratigrafiche dei depositi di terreno e degli ammassi rocciosi e dalle proprietà fisiche e meccaniche dei materiali che li costituiscono.

Alla scala della singola opera e del singolo sistema geotecnico, la risposta sismica locale consente di definire le modifiche che un segnale sismico subisce, a causa dei fattori anzidetti, rispetto a quello di un sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale.

Secondo la "Carta della pericolosità sismica locale di primo livello" del P.G.T. comunale, come rappresentato nello stralcio seguente, l'area oggetto di studio ricade all'interno dello **scenario di pericolosità sismica locale Z4a** (Zona di fondovalle e di pianura con presenza di depositi alluvionali e/o fluvioglaciali granulari e/o coesivi) a cui è associata una pericolosità di grado H2 per possibili amplificazioni litologiche o geometriche.

Come correttamente richiamato nello studio geologico del P.G.T., l'analisi sismica deve essere articolata in tre livelli successivi di approfondimento implementati in relazione alla zona sismica di appartenenza del comune (O.P.C.M n.3274 del 20 marzo 2003), agli scenari di pericolosità sismica locale e alla tipologia delle costruzioni in progetto (allegato 5 alla D.G.R 8/774 e successive integrazioni).

Nel P.G.T. di Calusco d'Adda (Zona sismica 3) per lo scenario di pericolosità sismica locale Z4a è previsto, sia nella fase pianificatoria che in fase progettuale, l'approfondimento di secondo livello ed eventualmente l'approfondimento di terzo livello nel caso di scenari sfavorevoli.



Estratto con Legenda della "Carta della pericolosità sismica locale" del P.G.T. (Lentini, 2011) del comune di Calusco d'Adda (Bg). Nel cerchio rosso l'area di progetto.

Analisi della pericolosità sismica locale di 2° livello per le aree Z4a

La classe di **pericolosità sismica locale Z4a,** in cui ricade l'area di progetto, richiede il secondo livello di approfondimento che consiste in una valutazione semi-quantitativa della risposta sismica dei terreni in termini di fattore di amplificazione (Fa) e nel confronto con i valori soglia del territorio comunale stabiliti dalla Regione Lombardia (tabella seguente) e dalle Norme Tecniche per le Costruzioni per ciò che concerne gli effetti di amplificazione sismica.

Tabella 2 -Valori soglia del territorio comunale di Calusco d'Adda (Bg) stabiliti dalla Regione Lombardia.

Categorie di sottosuolo		B	C	D	E
Valori soglia R.L.	Periodo 0.1 - 0.5s	1,4	1,9	2,2	2,0
	Periodo 0.5 - 1.5s	1,7	2,4	4,2	3,1

Allo scopo di realizzare l'analisi sismica di secondo livello, nella fase pianificatoria (PGT, Lentini, 2011), sono state realizzate n°8 indagini sismiche tipo MASW (sito 1 - sito 8).

Le indagini sismiche MASW N°4 e 5 sono state realizzate, nel medesimo scenario di progetto, ad una distanza di circa 600m dall'area di progetto.

		Periodo 0,1s -0,5 s	Periodo 0,5s -1,5 s
	T di sito	Fa di sito	Fa di sito
Linea 1	0,197	1,5	1,2
Linea 2	0,111	1,2	1,0
Linea 3	0,195	1,5	1,2
Linea 4	0,185	1,7	1,1
Linea 5	0,187	1,6	1,1
Linea 6	0,227	1,6	1,3
Linea 7	0,224	1,6	1,3
Linea 8	0,238	1,7	1,3

		Periodo 0,1s -0,5 s		Periodo 0,5s -1,5 s	
	Categoria di sottosuolo	Fa di sito	Fa di soglia	Fa di sito	Fa di soglia
Linea 1	B	1,5	1,4	1,2	1,7
Linea 2	B	1,2	1,4	1,0	1,7
Linea 3	B	1,5	1,4	1,2	1,7
Linea 4	B	1,7	1,4	1,1	1,7
Linea 5	B	1,6	1,4	1,1	1,7
Linea 6	B	1,6	1,4	1,3	1,7
Linea 7	B	1,6	1,4	1,3	1,7
Linea 8	B	1,7	1,4	1,3	1,7

Calcolo del periodo proprio di oscillazione del sito e del fattore di amplificazione Fa derivanti dalle indagini sismiche realizzate in PGT. In rosso il risultato dell'analisi realizzata non lontano dall'area di progetto nel medesimo scenario di sismica locale.

L'analisi di secondo livello, realizzata nella fase di progettazione, hanno fornito i seguenti risultati:

- *Per **periodo degli edifici pari 0,5 s-1,5 s** sono stati stimati valori di Fa di sito sempre inferiori a quelli soglia. L'utilizzo dei parametri sismici della normativa vigente è quindi sufficiente a tenere in considerazione i possibili effetti di amplificazione litologica*
- *Per **periodi degli edifici pari a 0,1 s-0,5 s***
- *Per le linee 4-5-6-7-8 (caselle in rosso) sono stati stimati valori di Fa di sito superiori a quelli soglia per la categoria di sottosuolo definita (categoria di sottosuolo B); l'utilizzo di parametri sismici della normativa vigente è quindi insufficiente a tenere in considerazione i possibili effetti di amplificazione litologica. I valori di Fa di sito rientrano nella soglia normativa utilizzando la categoria di sottosuolo immediatamente più cautelativa (categoria di sottosuolo C). Tali linee risultano ubicate per lo più in ambiti fluvioglaciali (scenari Z4a) associati a scenari di PSL Z2; la sola linea 4 seppure caratterizzata da valori di Fa di sito superiori a quelli di soglia si colloca in un ambito esclusivamente riconducibili a scenari di PSL Z4a).*
- *Per le restanti linee sismiche, eseguite nel contesto fluvioglaciale/alluvionale (scenari di PSL Z4a e Z4c) sono stati stimati valori di Fa di sito inferiori a quelli soglia; la normativa sismica è in questi casi sufficiente a tenere in considerazione i possibili effetti di amplificazione litologica (Lentini, 2011).*

Dalle analisi sismiche di PGT realizzate nei pressi dell'area di progetto nel medesimo scenario Z4a (N°4 e 5) le analisi realizzate per il sito 4 e 5 **non risulta soddisfatta, utilizzando la categoria di sottosuolo B, per il periodo proprio di oscillazione degli edifici pari a 0,1 s-0,5 s.**

Allo scopo di realizzare l'analisi sismica di secondo livello, in fase di progettazione, come richiesto sia dalla normativa regionale vigente sia espressamente dalle norme di PGT, per l'area oggetto di studio, gli scriventi hanno provveduto a realizzare, come dettagliato precedentemente, uno stendimento di sismica a rifrazione tipo MASW.

Il risultato dell'approfondimento di secondo livello, realizzato in fase di progettazione, dato dal confronto tra i valori Fa ottenuti attraverso i risultati dell'indagine MASW (Valore delle Vs30 e categoria del sottosuolo) realizzata dagli scriventi sull'area di progetto ed i valori soglia indicati dalla R.L. (tabella 1 precedente), utilizzando la categoria di sottosuolo B (risultate dal valore di Vseq misurato in sito attraverso l'indagine MASW realizzata dagli scriventi e confermata dalle indagini di PGT), la Curva 3 (Blu) della scheda litologica ghiaiosa e dal calcolo del periodo proprio del sito T = 0,235 s (calcolato indirettamente dall'indagine MASW) ha fornito, i seguenti valori Fa calcolati (FAC):

- **Fa=1,366 per il periodo 0.1 - 0.5s (Periodo proprio di oscillazione della struttura in progetto – Edificio di altezza inferiore ai 5 piani).**
- **Fa=1,105 per il periodo 0.5 - 1.5s.**

Risulta quindi da questa analisi (si veda tabelle di confronto riportata di seguito) che **i valori soglia Fa calcolati non superano i valori soglia indicati dalla Regione Lombardia** nella precedente D.G.R n° 1566/05 (3° Supplemento straordinario B.U.R.L n°3 del 19 gennaio 2006) e **di conseguenza i valori soglia della normativa, relativi alla categoria di sottosuolo B, siano da considerarsi sufficienti a tenere in considerazione anche i possibili effetti di amplificazione di sismica locale.**

Tabella 3– Confronto, realizzato nella fase progettuale, tra i valori Fa calcolati (FAC) e i valori soglia (FAS) del territorio comunale di Calusco d'Adda stabiliti dalla Regione Lombardia.

	Categoria sottosuolo	Periodo 0.1 - 0.5	Periodo0.5 - 1.5
Fa calcolato (FAC)	B	1,37	1,11
Valore soglia R.L (FAS)		1,4+0,1	1,7+0,1
Estio confronto		Verificato	Verificato

In conclusione, per il sito oggetto di studio, è quindi sufficiente l'approfondimento di sismica locale di secondo livello realizzato dagli scriventi e di conseguenza non è necessario, essendo il fattore Fa calcolato (FAC) inferiore al valore soglia imposto dalla normativa (FAS), un ulteriore approfondimento di terzo livello o il salto di categoria di suolo ad un livello superiore.

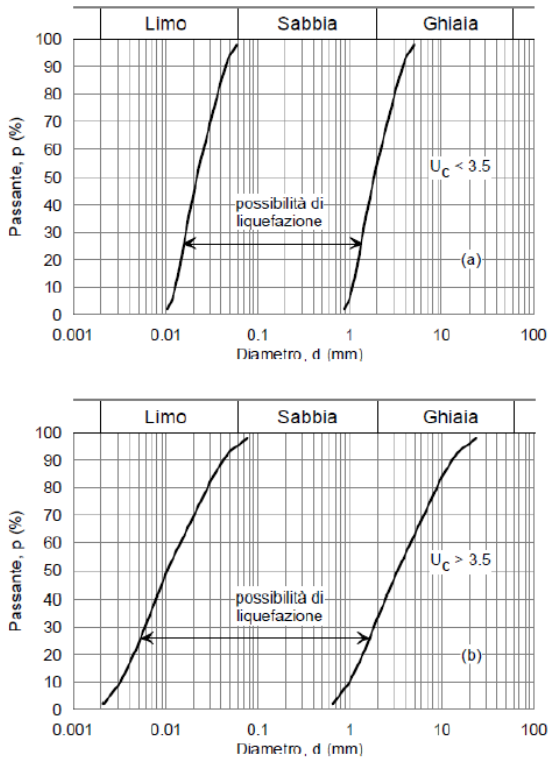
Stabilità nei confronti della liquefazione

Il sito presso il quale è ubicato il manufatto deve essere stabile nei confronti della liquefazione, intendendo con tale termine quei fenomeni associati alla perdita di resistenza al taglio o ad accumulo di deformazioni plastiche in terreni saturi, prevalentemente sabbiosi, sollecitati da azioni cicliche e dinamiche che agiscono in condizioni non drenate.

Se il terreno risulta suscettibile di liquefazione e gli effetti conseguenti appaiono tali da influire sulle condizioni di stabilità di pendii o manufatti, occorre procedere ad interventi di consolidamento del terreno e/o trasferire il carico a strati di terreno non suscettibili di liquefazione.

La verifica a liquefazione può essere omessa quando si manifesti almeno una delle seguenti circostanze:

1. accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0,1 g;
2. profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub - orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
3. depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata $(N1)60 > 30$ oppure $qc1N > 180$ dove $(N1)60$ è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata a una tensione efficace verticale di 100 kPa e $qc1N$ è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata a una tensione efficace verticale di 100 kPa;
4. distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nelle figure seguenti (dove con Uc è indicato il coefficiente di uniformità).



Fusi granulometrici suscettibili di liquefazione (D.M. 14 gennaio 2008)

Nel caso dei terreni presi in esame, l'analisi sismica del sito ha fornito un valore dell'accelerazione massima al bedrock a_g pari a 0,084 g per eventi con tempi di ritorno di 475 anni e probabilità di superamento del 10% in 50 anni (d.g.r. 11 luglio 2014, n. 2129 – Si veda parametri sismici nel paragrafo *Parametri sismici del sito*). Risulta quindi che **il valore di a_{max} in superficie è pari a 0,101 g** (dove $a_{max} = a_g \times S$, con $S = S_s \times St$ (coefficienti sismici da Geostru) = 1 x 1,2 x 0,084 = 0,101 g).

Poiché il valore di a_{max}, calcolato in superficie, risulta pari a 0,101 g e quindi, anche se di poco superiore a 0,1 g la prima condizione non risulta soddisfatta.

Nel caso in oggetto non vi sono, però, le condizioni affinché si verifichi la liquefazione poiché risultano soddisfatte le condizioni 3 e 4.

PROVE DI LABORATORIO SULLE TERRE

(approfondimenti del 2021)

Considerata la rilevante quantità di materiale di scavo proveniente dallo "svuotamento" della galleria, e la discreta quantità di materiale inerte necessario a realizzare i rilevati e la rampa di accesso alla galleria, ho valutato l'ipotesi di utilizzare il materiale limoso-argilloso dello scavo della galleria, da trattare con calce o cemento per impiego nei rilevati.

ALTAIR SRL

Laboratorio Autorizzato dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti prove terre (settore "a") e rocce (settore "b")
D.P.R. 06.06.2001 n.380 art. 59 - Circ. 7618/STC del 08.09.2010 Autorizzazione n. 52505 del 11.10.2004 e successivi rinnovi
Laboratorio Certificato UNI EN ISO 9001 ICMQ n.11353 del 28.10.2011 e successivi rinnovi

Certificato n. 456	del 01/03/2021	Accettazione n. 2710	del 17/02/2021

SETACCIATURA - SEDIMENTAZIONE *(ASTM D2487-D422-D6913)*	data inizio prova	18/02/2021	data fine prova	25/02/2021
LIMITI DI CONSISTENZA *(ASTM D4318)*	data inizio prova	18/02/2021	data fine prova	25/02/2021

COMMITTENTE:	COMUNE DI CALUSCO D'ADDA		
COMMESSA:	TANGENZIALE SUD		
LOCALITA':	CALUSCO D'ADDA (BG)		
SONDAGGIO :	S4	CAMPIONE: -	PROFONDITA' : 0,00-10,00 m

ANALISI PER SETACCIATURA

Peso iniziale			1311,1	g
Diametro massimo			35	mm
Diametro minimo			10	mm
Contenuto d'acqua			-	%
	mm	Set. in.- No.	Percentuale passante	
Passante	75,0	3	100,00	%
Passante	50,8	2	100,00	%
Passante	38,1	1 1/2	100,00	%
Passante	25,4	1	100,00	%
Passante	19,0	3/4	97,69	%
Passante	9,5	3/8	90,71	%
Passante	4,75	No. 4	85,31	%
Passante	2,0	No. 10	78,39	%
Passante	0,850	No. 20	71,19	%
Passante	0,425	No. 40	63,96	%
Passante	0,254	No. 60	59,28	%
Passante	0,150	No. 100	55,47	%
Passante	0,075	No. 200	50,66	%

Ghiaia g	(19-75)	2,31	%
Ghiaia f	(4,75-19,0)	12,38	%
Sabbia g	(2-4,75)	6,92	%
Sabbia m	(0,425-2)	14,43	%
Sabbia f	(0,075-0,425)	13,30	%
Limo+argilla	(< 0,075)	50,66	%
Limo	(0,005-0,075)	22,21	%
Argilla	(< 0,005)	28,44	%

ANALISI PER SEDIMENTAZIONE

Peso iniziale		50	g
Diametro massimo		0,075	mm
Diametro	u.m.	Percentuale	
0,0501	mm	49,87	%
0,0362	mm	47,47	%
0,0263	mm	44,27	%
0,0190	mm	41,86	%
0,0137	mm	39,46	%
0,0102	mm	36,26	%
0,0074	mm	33,05	%
0,0054	mm	29,05	%
0,0039	mm	26,64	%
0,0028	mm	23,44	%
0,0020	mm	22,64	%
0,0014	mm	19,43	%
0,0012	mm	17,03	%

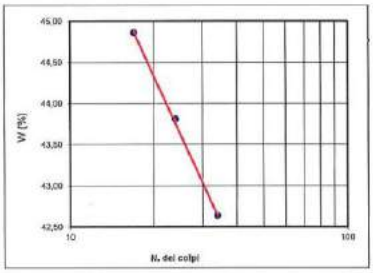
ASTM CLASSIFICATION
CL o OL
AASHTO M 145-82
A7-6

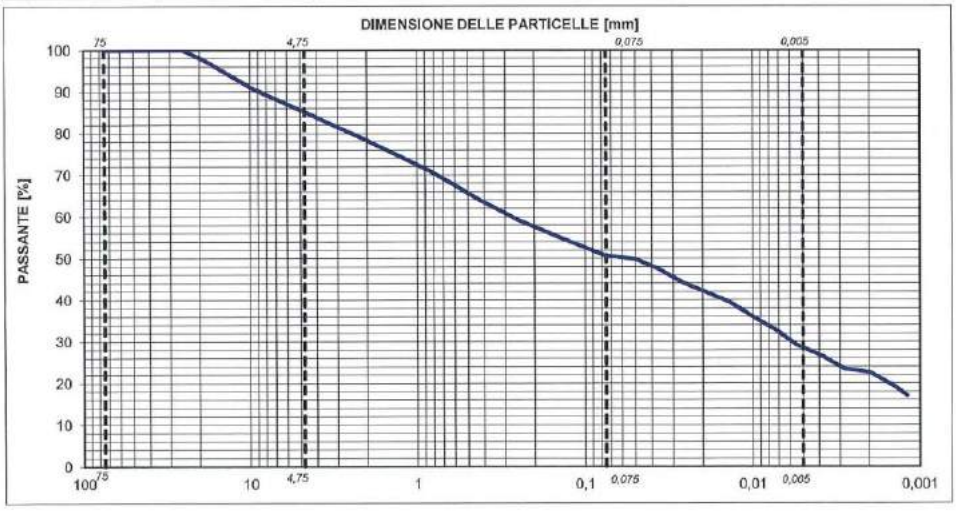
γ_s	-	Mg/mc
CU	-	-
CC	-	-

LIMITI DI CONSISTENZA

Limite Liquido	(WL)	43	%
Limite Plastico	(WP)	25	%
Indice di Plasticità	(IP)	18	%
Indice di Consistenza	(IC)	-	%

	Tara (g)	Peso umido (g)	Peso secco (g)	Umidità (%)	N. dei colpi
LL	22,87	50,22	41,75	44,86	17
	23,52	51,75	43,15	43,81	24
	22,77	52,41	43,55	42,64	34
LP					
	22,74	31,80	30,00	24,79	-
	23,53	33,41	31,41	25,38	-





Capitale Sociale € 95.000,00 - i.v. Sede Legale Via E. Pagliano, 37 20149 MILANO
Laboratorio: Via A. Martini, 11 20092 CINISELLO BALSAMO (MI) Tel. 0261293850 r.a. Fax 0261770281
E-mail:info@geoaltair.it P.E.C.:altairsrl1@legalmail.it R.E.A. n. 1198777 – Registro Imprese Milano / C.F. / p.IVA n. 08041580153

IL DIRETTORE DEL LABORATORIO:

1 di 1

Laboratorio ALTAIR

Laboratorio Autorizzato dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti prove terre (settore "a") e rocce (settore "b")
D.P.R. 06.06.2001 n.380 art. 59 - Circ. 7618/STC del 08.09.2010 Autorizzazione n. 52505 del 11.10.2004 e successivi rinnovi
Laboratorio Certificato UNI EN ISO 9001 ICMQ n.11353 del 28.10.2011 e successivi rinnovi

Certificato 457	del 01/03/2021	Accettazione 2710	del 17/02/2021

PROVA CIC (CONSUMO INIZIALE DI CALCE) *(ASTM C977)*

data inizio prova	18/02/2021	data fine prova	26/02/2021

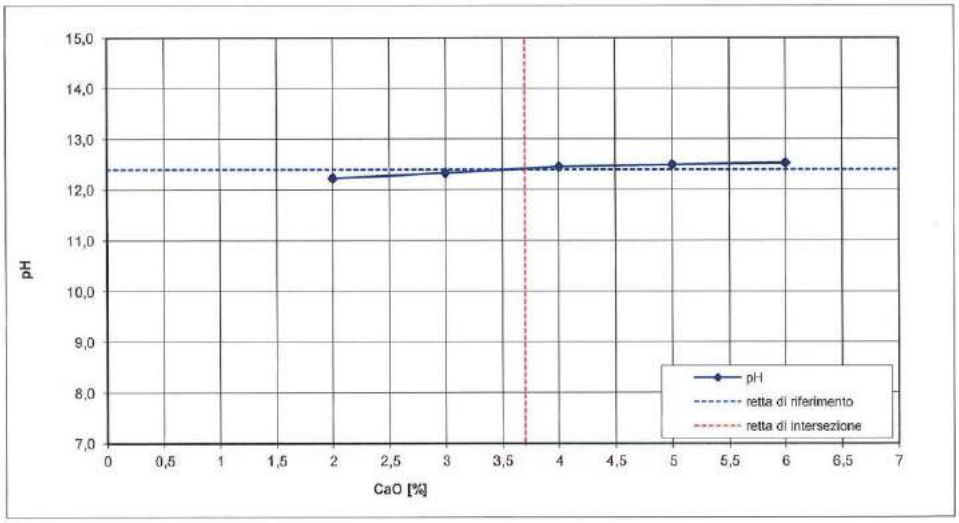
COMMITTENTE:	COMUNE DI CALUSCO D'ADDA
COMMESSA:	TANGENZIALE SUD
LOCALITA':	CALUSCO D'ADDA (BG)
SONDAGGIO:	S3
CAMPIONE:	-
PROFONDITA':	0,00-10,00 m

Dati sperimentali

CaO	%		2	3	4	5	6
pH	-		12,23	12,33	12,45	12,50	12,53

Risultati

Percentuale di calce richiesta per la stabilizzazione del suolo >	% 3,70



Capitale Sociale € 95.000,00,- i.v. Sede Legale Via E. Pagliano, 37 20149 MILANO
Laboratorio: Via A. Martini, 11 20092 CINISELLO BALSAMO (MI) Tel. 0261293850 r.a. Fax 0261770281
E-mail:info@geoaltair.it P.E.C.:altairsrl_ut@legalmail.it R.E.A. n. 1198777 – Registro Imprese Milano / C.F. / p.IVA n. 08041580153

IL DIRETTORE DEL LABORATORIO:

1 di 1

ALTAIR SRL

Laboratorio Autorizzato dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti prove terre (settore "a") e rocce (settore "b")
D.P.R. 06.06.2001 n.380 art. 59 - Circ. 7618/STC del 08.09.2010 Autorizzazione n. 52505 del 11.10.2004 e successivi rinnovi
Laboratorio Certificato UNI EN ISO 9001 ICMQ n.11353 del 28.10.2011 e successivi rinnovi

Certificato n. 455	del 01/03/2021	Accettazione n. 2710	del 17/02/2021

SETACCIATURA - SEDIMENTAZIONE *(ASTM D2487-D422-D6913)*	data inizio prova	18/02/2021	data fine prova	25/02/2021
LIMITI DI CONSISTENZA *(ASTM D4318)*	data inizio prova	18/02/2021	data fine prova	25/02/2021

COMMITTENTE:	COMUNE DI CALUSCO D'ADDA		
COMMESSA:	TANGENZIALE SUD		
LOCALITA':	CALUSCO D'ADDA (BG)		
SONDAGGIO :	S3	CAMPIONE: -	PROFONDITA' : 0,00-10,00 m

ANALISI PER SETACCIATURA

Peso iniziale			1303,2	g
Diametro massimo			30	mm
Diametro minimo			10	mm
Contenuto d'acqua			-	%
	mm	Set. in.- No.	Percentuale passante	
Passante	75,0	3	100,00	%
Passante	50,8	2	100,00	%
Passante	38,1	1 1/2	100,00	%
Passante	25,4	1	100,00	%
Passante	19,0	3/4	100,00	%
Passante	9,5	3/8	93,17	%
Passante	4,75	No. 4	84,88	%
Passante	2,0	No. 10	77,15	%
Passante	0,850	No. 20	70,40	%
Passante	0,425	No. 40	64,33	%
Passante	0,254	No. 60	59,69	%
Passante	0,150	No. 100	55,03	%
Passante	0,075	No. 200	47,99	%

Ghiaia g	(19-75)	0,00	%
Ghiaia f	(4,75-19,0)	15,12	%
Sabbia g	(2-4,75)	7,74	%
Sabbia m	(0,425-2)	12,81	%
Sabbia f	(0,075-0,425)	16,34	%
Limo+argilla	(< 0,075)	47,99	%
Limo	(0,005-0,075)	27,41	%
Argilla	(< 0,005)	20,58	%

ANALISI PER SEDIMENTAZIONE

Peso iniziale		50	g
Diametro massimo		0,075	mm
Diametro	u.m.	Percentuale	
0,0508	mm	45,73	%
0,0370	mm	42,70	%
0,0268	mm	39,66	%
0,0195	mm	36,62	%
0,0143	mm	31,31	%
0,0107	mm	28,28	%
0,0076	mm	26,76	%
0,0056	mm	21,45	%
0,0040	mm	19,17	%
0,0029	mm	16,13	%
0,0021	mm	14,62	%
0,0015	mm	12,34	%
0,0012	mm	10,06	%

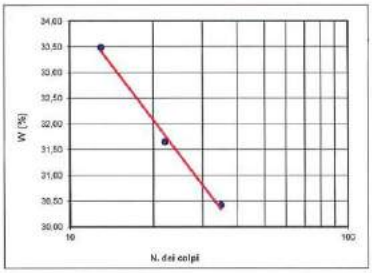
ASTM CLASSIFICATION
SC
AASHTO M 145-82
A6

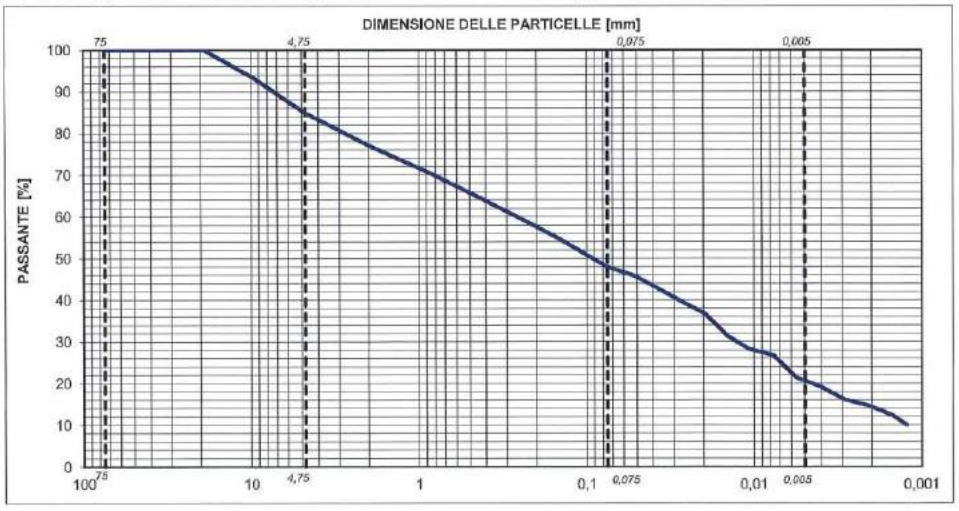
γ_s	-	Mg/mc
CU	-	-
CC	-	-

LIMITI DI CONSISTENZA

Limite Liquido	(WL)	31	%
Limite Plastico	(WP)	19	%
Indice di Plasticità	(IP)	12	%
Indice di Consistenza	(IC)	-	%

	Tara (g)	Peso umido (g)	Peso secco (g)	Umidità (%)	N. dei colpi
LL	22,99	48,78	42,31	33,49	13
LL	23,06	48,10	42,08	31,65	22
LL	22,95	45,50	40,24	30,42	35
LP	22,88	31,22	29,84	19,83	-
LP	23,45	31,29	30,00	19,69	-





Capitale Sociale € 95.000,00.- i.v. Sede Legale Via E. Pagliano, 37 20149 MILANO
Laboratorio: Via A. Martini, 11 20092 CINISELLO BALSAMO (MI) Tel. 0261293850 r.a. Fax 0261770281
E-mail:info@geoaltair.it P.E.C.:altairsrl1@legalmail.it R.E.A. n. 1198777 – Registro Imprese Milano / C.F. / p.IVA n. 08041580153

IL DIRETTORE DEL LABORATORIO:

1 di 1

Laboratorio ALTAIR

Laboratorio Autorizzato dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti prove terre (settore "a") e rocce (settore "b")
D.P.R. 06.06.2001 n.380 art. 59 - Circ. 7618/STC del 08.09.2010 Autorizzazione n. 52505 del 11.10.2004 e successivi rinnovi
Laboratorio Certificato UNI EN ISO 9001 ICMQ n.11353 del 28.10.2011 e successivi rinnovi

Certificato 458	del 01/03/2021	Accettazione 2710	del 17/02/2021

PROVA CIC (CONSUMO INIZIALE DI CALCE) *(ASTM C977)*

data inizio prova	18/02/2021	data fine prova	26/02/2021

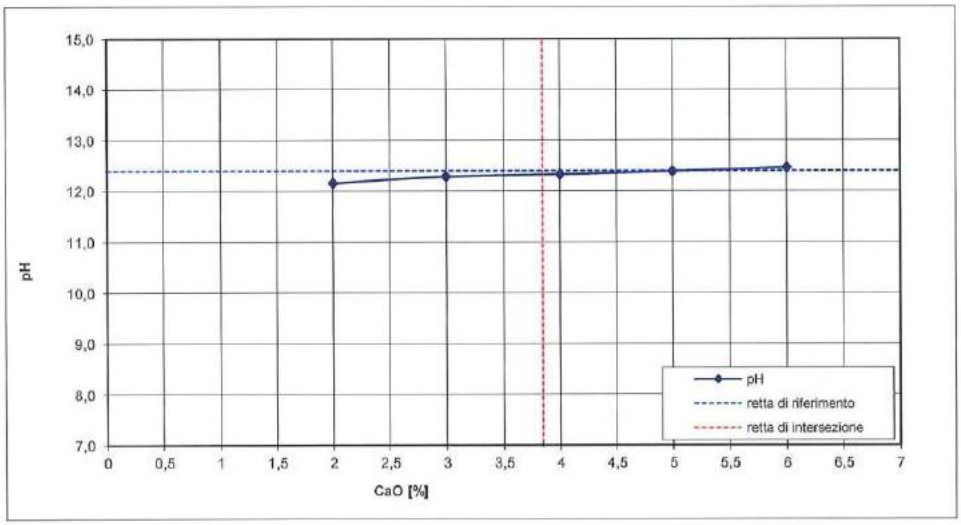
COMMITTENTE:	COMUNE DI CALUSCO D'ADDA
COMMESSA:	TANGENZIALE SUD
LOCALITA':	CALUSCO D'ADDA (BG)
SONDAGGIO:	S4
CAMPIONE:	-
PROFONDITA':	0,00-10,00 m

Dati sperimentali

CaO	%		2	3	4	5	6
pH	-		12,16	12,29	12,33	12,39	12,46

Risultati

Percentuale di calce richiesta per la stabilizzazione del suolo >	% **3,85**



Capitale Sociale € 95.000,00.- i.v. Sede Legale Via E. Pagliano, 37 20149 MILANO
Laboratorio: Via A. Martini, 11 20092 CINISELLO BALSAMO (MI) Tel. 0261293850 r.a. Fax 0261770281
E-mail:info@geoaltair.it P.E.C.:altairsrl_ut@legalmail.it R.E.A. n. 1198777 – Registro Imprese Milano / C.F. / p.IVA n. 08041580153

IL DIRETTORE DEL LABORATORIO:

1 di 1

ALTAIR S.R.L.

Laboratorio Autorizzato dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti prove terre (settore "a") e rocce (settore "b")
D.P.R. 06.06.2001 n.380 art.59 - Circ. 7618/STC del 08.09.2010 Autorizzazione n. 52505 del 11.10.2004 e successivi rinnovi
Laboratorio Certificato UNI EN ISO 9001 ICMQ n.11353 del 28.10.2011 e successivi rinnovi

Certificato 583	del 15/03/2021	Accettazione 2710	del 17/02/2021

PROVA PROCTOR (*ASTM D1557 - AASHTO MOD.*)

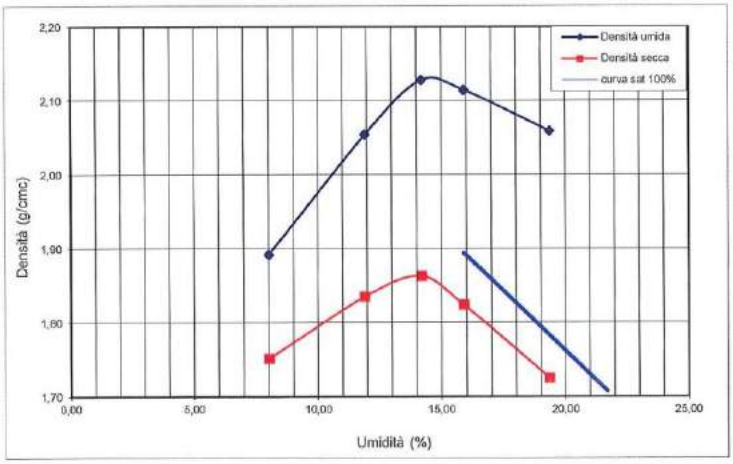
data inizio prova	18/02/2021	data fine prova	08/03/2021

COMMITTENTE	COMUNE DI CALUSCO D'ADDA
COMMESSA	TANGENZIALE SUD
LOCALITA'	CALUSCO D'ADDA (BG)
POZZETTO	MISCELA AL 50% DI S3+S4
CAMPIONE	-
PROFONDITA'	0,00-10,00 m

Numero campione		1	2	3	4	5	
Peso lordo umido	*g*	8943	9287	9442	9414	9296	
Peso netto umido	*g*	4017	4361	4516	4488	4370	
Peso fustella	*g*	4926	4926	4926	4926	4926	
Volume fustella	*cmc*	2123	2123	2123	2123	2123	
Densità umida	***Mg/mc***	**1,89**	**2,05**	**2,13**	**2,11**	**2,06**	
Densità secca	***Mg/mc***	**1,75**	**1,84**	**1,86**	**1,82**	**1,72**	

Tara	*g*	230	230	230	230	230	
Peso lordo umido	*g*	4247	4591	4746	4718	4600	
Peso lordo secco	*g*	3948	4126	4184	4102	3891	
Peso netto umido	*g*	4017	4361	4516	4488	4370	
Peso netto secco	*g*	3718	3896	3954	3872	3661	
Umidità	**%**	**8,03**	**11,92**	**14,20**	**15,90**	**19,38**	

Peso totale materiale ricevuto in laboratorio:	*g*	-		
Peso trattenuto setaccio 3/4	*g*	-		



Densità umida massima
2,13 Mg/mc
Densità secca massima
1,86 Mg/mc
Umidità ottimo
14,00 %

Capitale Sociale € 95.000,00 - i.v. Sede Legale Via E. Pagliano, 37 20149 MILANO
Laboratorio: Via A. Martini, 11 20092 CINISELLO BALSAMO (MI) Tel. 0261293850 r.a. Fax 0261770281
E-mail:info@geoaltair.it P.E.C.:altairsrl_ut@legalmail.it R.E.A. n. 1198777 – Registro Imprese Milano / C.F. / p.IVA n. 08041580153

IL DIRETTORE DEL LABORATORIO:

1 di 1

ALTAIR S.R.L.

Laboratorio Autorizzato dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti prove terre (settore "a") e rocce (settore "b")
D.P.R. 06.06.2001 n.380 art. 59 - Circ. 7618/STC del 08.09.2010 Autorizzazione n. 52505 del 11.10.2004 e successivi rinnovi
Laboratorio Certificato UNI EN ISO 9001 ICMQ n.11353 del 28.10.2011 e successivi rinnovi

Certificato 584	del 15/03/2021	Accettazione 2710	del 17/02/2021

INDICE DI PORTANZA CBR DI UNA TERRA *(ASTM D1883)*

data inizio prova	18/02/2021	data fine prova	10/03/2021

COMMITTENTE	COMUNE DI CALUSCO D'ADDA
COMMESSA	TANGENZIALE SUD
LOCALITA'	CALUSCO D'ADDA (BG)
POZZETTO	MISCELA AL 50% DI S3+S4
CAMPIONE	-
PROFONDITA'	0,00-10,00 m

Preparazione campione

Metodo e grado di costipamento: 1978 AASHTO modificato

Dati sperimentali della prova di compattazione

Peso fustella (g)	4918,0
Altezza campione (mm)	116,6
Area fustella (cm^2)	182,0
Volume fustella (cm^3)	2122,6
Peso lordo terreno umido (g)	9375,0
Peso lordo dopo maturazione (g)	

Dati sperimentali dell'imbibizione

Peso lordo terreno umido dopo imbibizione (g)	
Lettura iniziale comparatore (mm)	
Lettura finale comparatore (mm)	
QUANTITA' D'ACQUA ASSORBITA (g)	
RIGONFIAMENTO PERCENTUALE (%)	

Dati sperimentali della prova CBR

Tara n.	1
Peso tara (g)	233,0
Peso lordo terreno umido (g)	4687,0
Peso lordo terreno secco (g)	4130,6

Risultati

Peso di volume iniziale (g/cm^3)	2,10
Peso di volume secco (g/cm^3)	1,84
Umidità iniziale (%)	14,4
Umidità finale (%)	14,3
$I_{(2.54)}$	49,1
$I_{(5.08)}$	49,2
Indice IPI	**49,2**

Dati Sperimentali CBR

Δh [mm]	Carico [kN]	Δh [mm]	Carico [kN]
0,00	0,002	5,87	10,574
0,01	0,002	6,12	10,781
0,07	0,173	6,35	10,979
0,25	0,673	6,60	11,180
0,45	1,288	6,84	11,365
0,65	1,926	7,09	11,553
0,88	2,605	7,32	11,720
1,10	3,238	7,58	11,886
1,33	3,859	7,81	12,040
1,55	4,438	8,06	12,190
1,79	5,008	8,31	12,338
2,02	5,519	8,55	12,486
2,26	6,011	8,80	12,626
2,48	6,452	9,05	12,751
2,73	6,877	9,29	12,882
2,96	7,261	9,55	13,010
3,21	7,631	9,79	13,132
3,45	7,967	10,04	13,259
3,68	8,289	10,28	13,382
3,93	8,594	10,52	13,507
4,16	8,880	10,76	13,622
4,41	9,158	11,01	13,742
4,65	9,421	11,25	13,862
4,89	9,667	11,49	13,983
5,14	9,909	11,74	14,103
5,38	10,134	11,96	14,214
5,63	10,364	12,20	14,328

1 di 2

ALTAIR S.R.L.

Laboratorio Autorizzato dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti prove terre (settore "a") e rocce (settore "b")
D.P.R. 06.06.2001 n.380 art. 59 - Circ. 7618/STC del 08.09.2010 Autorizzazione n. 52505 del 11.10.2004 e successivi rinnovi
Laboratorio Certificato UNI EN ISO 9001 ICMQ n.11353 del 28.10.2011 e successivi rinnovi

Certificato 584	del 15/03/2021	Accettazione 2710	del 17/02/2021

INDICE DI PORTANZA CBR DI UNA TERRA *(ASTM D1883)*

data inizio prova	18/02/2021	data fine prova	10/03/2021

COMMITTENTE	COMUNE DI CALUSCO D'ADDA
COMMESSA	TANGENZIALE SUD
LOCALITA'	CALUSCO D'ADDA (BG)
POZZETTO	MISCELA AL 50% DI S3+S4
CAMPIONE	-
PROFONDITA'	0,00-10,00 m

Preparazione campione

Metodo e grado di costipamento: 1978 AASHTO modificato

Dati sperimentali della prova di compattazione

Peso fustella (g)	4918,0
Altezza campione (mm)	116,6
Area fustella (cm^2)	182,0
Volume fustella (cm^3)	2122,6
Peso lordo terreno umido (g)	9375,0
Peso lordo dopo maturazione (g)	

Dati sperimentali dell'imbibizione

Peso lordo terreno umido dopo imbibizione (g)	
Lettura iniziale comparatore (mm)	
Lettura finale comparatore (mm)	
QUANTITA' D'ACQUA ASSORBITA (g)	
RIGONFIAMENTO PERCENTUALE (%)	

Dati sperimentali della prova CBR

Tara n.	1
Peso tara (g)	233,0
Peso lordo terreno umido (g)	4687,0
Peso lordo terreno secco (g)	4130,6

Risultati

Peso di volume iniziale (g/cm^3)	2,10
Peso di volume secco (g/cm^3)	1,84
Umidità iniziale (%)	14,4
Umidità finale (%)	14,3
$I_{(2.54)}$	49,1
$I_{(5.08)}$	49,2
Indice IPI	**49,2**

Dati Sperimentali CBR

Δh [mm]	Carico [kN]	Δh [mm]	Carico [kN]
0,00	0,002	5,87	10,574
0,01	0,002	6,12	10,781
0,07	0,173	6,35	10,979
0,25	0,673	6,60	11,180
0,45	1,288	6,84	11,365
0,65	1,926	7,09	11,553
0,88	2,605	7,32	11,720
1,10	3,238	7,58	11,886
1,33	3,859	7,81	12,040
1,55	4,438	8,06	12,190
1,79	5,008	8,31	12,338
2,02	5,519	8,55	12,486
2,26	6,011	8,80	12,626
2,48	6,452	9,05	12,751
2,73	6,877	9,29	12,882
2,96	7,261	9,55	13,010
3,21	7,631	9,79	13,132
3,45	7,967	10,04	13,259
3,68	8,289	10,28	13,382
3,93	8,594	10,52	13,507
4,16	8,880	10,76	13,622
4,41	9,158	11,01	13,742
4,65	9,421	11,25	13,862
4,89	9,667	11,49	13,983
5,14	9,909	11,74	14,103
5,38	10,134	11,96	14,214
5,63	10,364	12,20	14,328

1 di 2

ALTAIR S.R.L.

Laboratorio Autorizzato dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti prove terre (settore "a") e rocce (settore "b")
D.P.R. 06.06.2001 n.380 art. 59 - Circ. 7618/STC del 08.09.2010 Autorizzazione n. 52505 del 11.10.2004 e successivi rinnovi
Laboratorio Certificato UNI EN ISO 9001 ICMQ n.11353 del 28.10.2011 e successivi rinnovi

Certificato 585	del 15/03/2021	Accettazione 2710	del 17/02/2021

INDICE DI PORTANZA CBR DI UNA TERRA *(ASTM D1883)*

data inizio prova	18/02/2021	data fine prova	15/03/2021

COMMITTENTE	COMUNE DI CALUSCO D'ADDA
COMMESSA	TANGENZIALE SUD
LOCALITA'	CALUSCO D'ADDA (BG)
POZZETTO	MISCELA AL 50% DI S3+S4 IMBIBITO 4 GIORNI
CAMPIONE	-
PROFONDITA'	0,00-10,00 m

Preparazione campione

Metodo e grado di costipamento: 1978 AASHTO modificato

Dati sperimentali della prova di compattazione

Peso fustella (g)	6198,0
Altezza campione (mm)	116,6
Area fustella (cm^2)	182,0
Volume fustella (cm^3)	2122,6
Peso lordo terreno umido (g)	10640,0
Peso lordo dopo maturazione (g)	

Dati sperimentali dell'imbibizione

Peso lordo terreno umido dopo imbibizione (g)	10818,0
Lettura iniziale comparatore (mm)	7,66
Lettura finale comparatore (mm)	11,66
QUANTITA' D'ACQUA ASSORBITA (g)	178,0
RIGONFIAMENTO PERCENTUALE (%)	34,3

Dati sperimentali della prova CBR

Tara n.	1
Peso tara (g)	233,1
Peso lordo terreno umido (g)	4831,0
Peso lordo terreno secco (g)	4147,0

Risultati

Peso di volume iniziale (g/cm^3)	2,09
Peso di volume secco (g/cm^3)	1,84
Umidità iniziale (%)	13,5
Umidità finale (%)	17,5
$I_{(2.54)}$	7,5
$I_{(5.08)}$	8,6
CBR	**8,6**

Dati Sperimentali CBR

Δh	Carico	Δh	Carico
[mm]	[kN]	[mm]	[kN]
0,00	0,002	5,40	1,620
0,20	0,007	5,60	1,666
0,40	0,051	5,80	1,714
0,60	0,087	6,00	1,760
0,80	0,129	6,20	1,806
1,00	0,177	6,40	1,848
1,20	0,228	6,60	1,889
1,40	0,284	6,80	1,933
1,60	0,348	7,00	1,975
1,80	0,417	7,20	2,018
2,00	0,489	7,40	2,057
2,20	0,565	7,60	2,101
2,40	0,645	7,80	2,140
2,60	0,722	8,00	2,184
2,80	0,802	8,21	2,226
3,00	0,880	8,40	2,267
3,20	0,959		
3,40	1,030		
3,60	1,100		
3,80	1,168		
4,00	1,235		
4,20	1,298		
4,40	1,355		
4,60	1,415		
4,80	1,468		
5,00	1,521		
5,20	1,569		

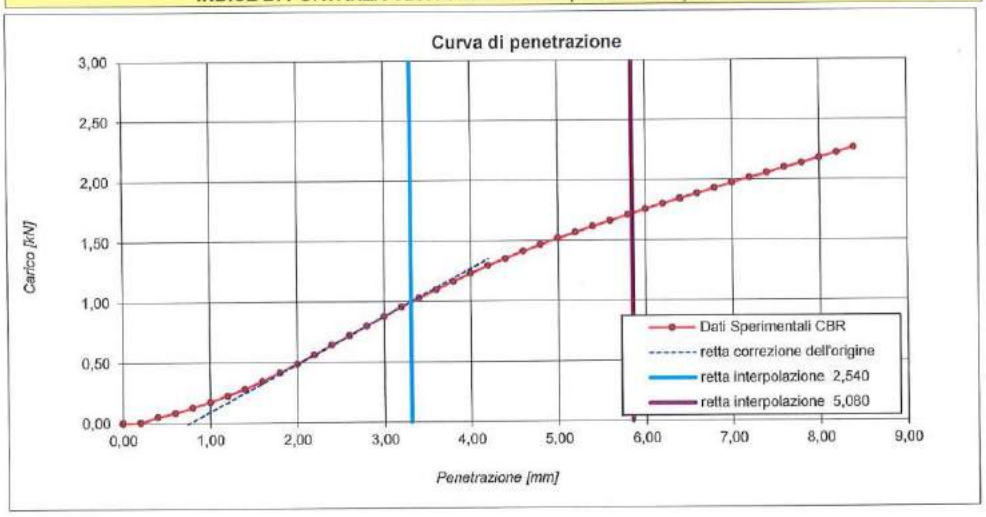
1 di 2

ALTAIR S.R.L.

Laboratorio Autorizzato dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti prove terre (settore "a") e rocce (settore "b")
D.P.R. 06.06.2001 n.380 art. 59 - Circ. 7618/STC del 08.09.2010 Autorizzazione n. 52505 del 11.10.2004 e successivi rinnovi
Laboratorio Certificato UNI EN ISO 9001 ICMQ n.11353 del 28.10.2011 e successivi rinnovi

Certificato 585	del 15/03/2021	Accettazione	2710	del 17/02/2021

INDICE DI PORTANZA CBR DI UNA TERRA *(ASTM D1883) - GRAFICO*



Coordinate di correzione dell'origine

Nuova Origine	x 0,768	*mm*	y 0,000	*kN*
Intersezione retta 2,54	x 3,308	*mm*	y 0,996	*kN*
Intersezione retta 5,08	x 5,848	*mm*	y 1,724	*kN*

Capitale Sociale € 95.000,00.- i.v. Sede Legale Via E. Pagliano, 37 20149 MILANO
Laboratorio: Via A. Martini, 11 20092 CINISELLO BALSAMO (MI) Tel. 0261293850 r.a. Fax 0261770281
E-mail:info@geoaltair.it P.E.C.:altairsrl_ut@legalmail.it R.E.A. n. 1198777 – Registro Imprese Milano / C.F. / p.IVA n. 08041580153

IL DIRETTORE DEL LABORATORIO:

2 di 2

ALTAIR S.R.L.

Laboratorio Autorizzato dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti prove terre (settore "a") e rocce (settore "b")
D.P.R. 06.06.2001 n.380 art. 59 - Circ. 7618/STC del 08.09.2010 Autorizzazione n. 52505 del 11.10.2004 e successivi rinnovi
Laboratorio Certificato UNI EN ISO 9001 ICMQ n.11353 del 28.10.2011 e successivi rinnovi

Certificato 1310	del 28/04/2021	Accettazione	2710	del 17/02/2021

INDICE DI PORTANZA CBR DI UNA TERRA *(ASTM D1883)*

data inizio prova	18/02/2021	data fine prova	06/04/2021

COMMITTENTE	COMUNE DI CALUSCO D'ADDA
COMMESSA	TANGENZIALE SUD
LOCALITA'	CALUSCO D'ADDA (BG)
POZZETTO	MISCELA AL 50% DI S3+S4 + 4% CEMENTO 32,5 7 GIORNI DI MATURAZIONE + 4 GIORNI IMBIBIT
CAMPIONE	-
PROFONDITA'	0,00-10,00 m

Preparazione campione

Metodo e grado di costipamento: 1978 AASHTO modificato

Dati sperimentali della prova di compattazione

Peso fustella (g)	6207,0
Altezza campione (mm)	116,6
Area fustella (cm^2)	182,0
Volume fustella (cm^3)	2122,6
Peso lordo terreno umido (g)	10449,0
Peso lordo dopo maturazione (g)	10446,0

Dati sperimentali dell'imbibizione

Peso lordo terreno umido dopo imbibizione (g)	10675,0
Lettura iniziale comparatore (mm)	7,78
Lettura finale comparatore (mm)	8,71
QUANTITA' D'ACQUA ASSORBITA (g)	229,0
RIGONFIAMENTO PERCENTUALE (%)	10,7

Dati sperimentali della prova CBR

Tara n.	1
Peso tara (g)	232,6
Peso lordo terreno umido (g)	4679,7
Peso lordo terreno secco (g)	3946,4

Risultati

Peso di volume iniziale (g/cm^3)	2,00
Peso di volume secco (g/cm^3)	1,75
Umidità iniziale (%)	14,2
Umidità finale (%)	19,7
$I_{(2.54)}$	11,9
$I_{(5.08)}$	45,9
CBR	**45,9**

Dati Sperimentali CBR

Δh	Carico	Δh	Carico
[mm]	[kN]	[mm]	[kN]
0,00	0,000	5,61	9,178
0,13	0,272	5,84	9,188
0,34	0,794	6,07	9,211
0,50	1,452	6,28	9,234
0,63	2,253	6,51	9,266
0,80	3,082	6,72	9,300
0,98	3,970	6,94	9,339
1,15	4,824	7,15	9,387
1,33	5,674	7,36	9,431
1,51	6,448	7,58	9,472
1,70	7,140	7,77	9,516
1,92	7,735	8,00	9,567
2,12	8,207	8,22	9,626
2,35	8,581	8,45	9,670
2,58	8,854	8,67	9,726
2,81	9,063	8,90	9,783
3,03	9,183		
3,28	9,259		
3,51	9,311		
3,75	9,337		
3,98	9,357		
4,22	9,293		
4,46	9,247		
4,70	9,227		
4,94	9,229		
5,16	9,208		
5,39	9,185		

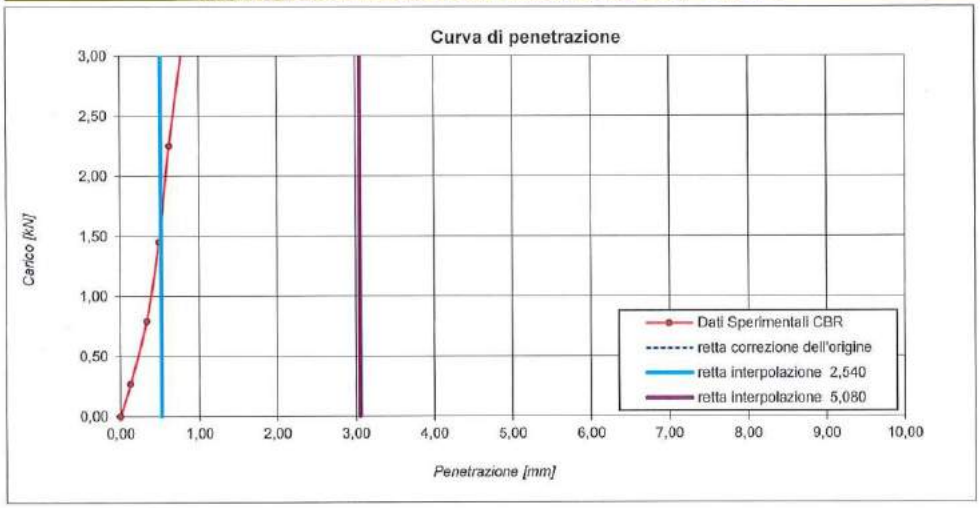
1 di 2

ALTAIR S.R.L.

Laboratorio Autorizzato dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti prove terre (settore "a") e rocce (settore "b")
D.P.R. 06.06.2001 n.380 art. 59 - Circ. 7618/STC del 08.09.2010 Autorizzazione n. 52505 del 11.10.2004 e successivi rinnovi
Laboratorio Certificato UNI EN ISO 9001 ICMQ n.11353 del 28.10.2011 e successivi rinnovi

Certificato 1310	del 28/04/2021	Accettazione	2710	del 17/02/2021

INDICE DI PORTANZA CBR DI UNA TERRA *(ASTM D1883) - GRAFICO*



Coordinate di correzione dell'origine

Nuova Origine	x -2,022	*mm*	y 0,000	*kN*
Intersezione retta 2,54	x 0,518	*mm*	y 1,592	*kN*
Intersezione retta 5,08	x 3,058	*mm*	y 9,191	*kN*

Capitale Sociale € 95.000,00.- i.v. Sede Legale Via E. Pagliano, 37 20149 MILANO
Laboratorio: Via A. Martini, 11 20092 CINISELLO BALSAMO (MI) Tel. 0261293850 r.a. Fax 0261770281
E-mail:info@geoaltair.it P.E.C.:altairsrl_ut@legalmail.it R.E.A. n. 1198777 – Registro Imprese Milano / C.F. / p.IVA n. 08041580153

IL DIRETTORE DEL LABORATORIO:

2 di 2

ALTAIR S.R.L.

Laboratorio Autorizzato dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti prove terre (settore "a") e rocce (settore "b")
D.P.R. 06.06.2001 n.380 art. 59 - Circ. 7618/STC del 08.09.2010 Autorizzazione n. 52505 del 11.10.2004 e successivi rinnovi
Laboratorio Certificato UNI EN ISO 9001 ICMQ n.11353 del 28.10.2011 e successivi rinnovi

Certificato 1308	del 28/04/2021	Accettazione	2710	del 17/02/2021

INDICE DI PORTANZA CBR DI UNA TERRA *(ASTM D1883)*

data inizio prova	18/02/2021	data fine prova	31/03/2021

COMMITTENTE	COMUNE DI CALUSCO D'ADDA
COMMESSA	TANGENZIALE SUD
LOCALITA'	CALUSCO D'ADDA (BG)
POZZETTO	MISCELA AL 50% DI S3+S4 + 4% CEMENTO 32,5 7 GIORNI DI MATURAZIONE
CAMPIONE	-
PROFONDITA'	0,00-10,00 m

Preparazione campione

Metodo e grado di costipamento: 1978 AASHTO modificato

Dati sperimentali della prova di compattazione

Peso fustella (g)	4926,0
Altezza campione (mm)	116,6
Area fustella (cm^2)	182,0
Volume fustella (cm^3)	2122,6
Peso lordo terreno umido (g)	9286,0
Peso lordo dopo maturazione (g)	9266,0

Dati sperimentali dell'imbibizione

Peso lordo terreno umido dopo imbibizione (g)	
Lettura iniziale comparatore (mm)	
Lettura finale comparatore (mm)	
QUANTITA' D'ACQUA ASSORBITA (g)	
RIGONFIAMENTO PERCENTUALE (%)	

Dati sperimentali della prova CBR

Tara n.	1
Peso tara (g)	232,6
Peso lordo terreno umido (g)	4595,5
Peso lordo terreno secco (g)	4118,1

Risultati

Peso di volume iniziale (g/cm^3)	2,05
Peso di volume secco (g/cm^3)	1,83
Umidità iniziale (%)	12,2
Umidità finale (%)	12,3
$I_{(2.54)}$	168,4
$I_{(5.08)}$	159,8
Indice IPI	**168,4**

Dati Sperimentali CBR

Δh	Carico	Δh	Carico
[mm]	[kN]	[mm]	[kN]
0,00	0,000	6,16	34,525
0,10	0,830	6,41	35,050
0,18	2,127	6,68	35,554
0,29	3,773	6,93	36,017
0,46	5,860	7,19	36,476
0,65	8,038	7,45	36,894
0,87	10,164	7,72	37,325
1,10	12,206	7,97	37,723
1,34	14,248	8,23	38,077
1,57	16,125	8,50	38,434
1,82	17,924	8,76	38,758
2,07	19,602	9,02	39,029
2,30	21,097	9,28	39,273
2,56	22,561	9,55	39,504
2,81	23,873	9,81	39,684
3,06	25,061	10,08	39,829
3,32	26,195	10,34	39,957
3,57	27,218	10,60	40,060
3,83	28,156	10,88	40,113
4,09	29,052		
4,34	29,880		
4,61	30,663		
4,87	31,417		
5,12	32,084		
5,38	32,760		
5,65	33,386		
5,90	33,963		

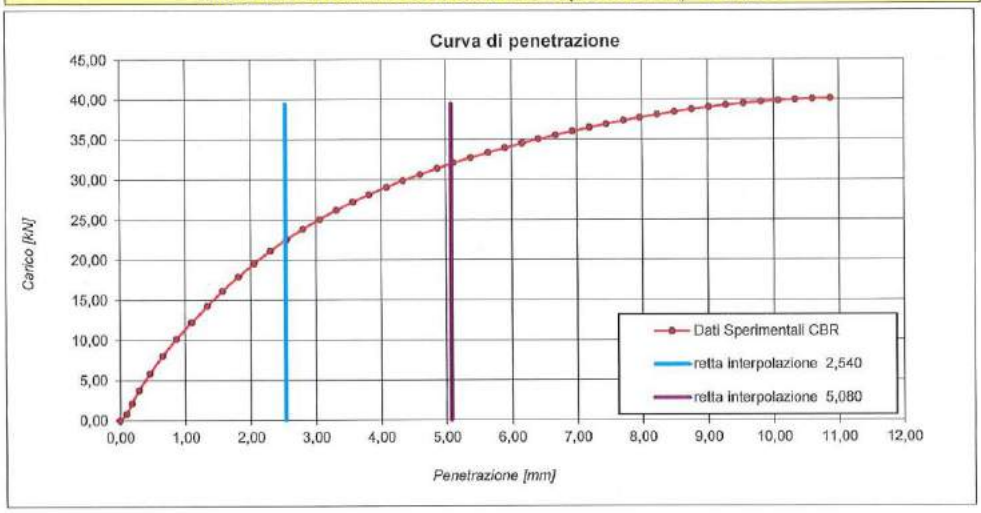
1 di 2

ALTAIR S.R.L.

Laboratorio Autorizzato dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti prove terre (settore "a") e rocce (settore "b")
D.P.R. 06.06.2001 n.380 art. 59 - Circ. 7618/STC del 08.09.2010 Autorizzazione n. 52505 del 11.10.2004 e successivi rinnovi
Laboratorio Certificato UNI EN ISO 9001 ICMQ n.11353 del 28.10.2011 e successivi rinnovi

Certificato 1308	del 28/04/2021	Accettazione	2710	del 17/02/2021

INDICE DI PORTANZA CBR DI UNA TERRA *(ASTM D1883) - GRAFICO*



Coordinate di correzione dell'origine

Nuova Origine	x 0,000	*mm*	y 0,000	*kN*
Intersezione retta 2,54	x 2,540	*mm*	y 22,458	*kN*
Intersezione retta 5,08	x 5,080	*mm*	y 31,978	*kN*

Capitale Sociale € 95.000,00.- i.v. Sede Legale Via E. Pagliano, 37 20149 MILANO
Laboratorio: Via A. Martini, 11 20092 CINISELLO BALSAMO (MI) Tel. 0261293850 r.a. Fax 0261770281
E-mail:info@geoaltair.it P.E.C.:altairsrl_mi@legalmail.it R.E.A. n. 1198777 – Registro Imprese Milano / C.F. / p.IVA n. 08041580153

IL DIRETTORE DEL LABORATORIO:

2 di 2

ALTAIR S.R.L.

Laboratorio Autorizzato dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti prove terre (settore "a") e rocce (settore "b")
D.P.R. 06.06.2001 n.380 art. 59 - Circ. 7618/STC del 08.09.2010 Autorizzazione n. 52505 del 11.10.2004 e successivi rinnovi
Laboratorio Certificato UNI EN ISO 9001 ICMQ n.11353 del 28.10.2011 e successivi rinnovi

Certificato 1311	del 28/04/2021	Accettazione	2710	del 17/02/2021

INDICE DI PORTANZA CBR DI UNA TERRA *(ASTM D1883)*

data inizio prova	18/02/2021	data fine prova	06/04/2021

COMMITTENTE	COMUNE DI CALUSCO D'ADDA
COMMESSA	TANGENZIALE SUD
LOCALITA'	CALUSCO D'ADDA (BG)
POZZETTO	MISCELA AL 50% DI S3+S4 + 4% CEMENTO 32,5 28 GIORNI DI MATURAZIONE + 4 GIORNI IMBIBI
CAMPIONE	-
PROFONDITA'	0,00-10,00 m

Preparazione campione

Metodo e grado di costipamento: 1978 AASHTO modificato

Dati sperimentali della prova di compattazione

Peso fustella (g)	6197,0
Altezza campione (mm)	116,6
Area fustella (cm^2)	182,0
Volume fustella (cm^3)	2122,6
Peso lordo terreno umido (g)	10306,0
Peso lordo dopo maturazione (g)	10289,0

Dati sperimentali dell'imbibizione

Peso lordo terreno umido dopo imbibizione (g)	10550,0
Lettura iniziale comparatore (mm)	6,85
Lettura finale comparatore (mm)	7,58
QUANTITA' D'ACQUA ASSORBITA (g)	261,0
RIGONFIAMENTO PERCENTUALE (%)	9,6

Dati sperimentali della prova CBR

Tara n.	1
Peso tara (g)	234,4
Peso lordo terreno umido (g)	4569,0
Peso lordo terreno secco (g)	3837,0

Risultati

Peso di volume iniziale (g/cm^3)	1,94
Peso di volume secco (g/cm^3)	1,70
Umidità iniziale (%)	14,1
Umidità finale (%)	20,3
$I_{(2.54)}$	84,8
$I_{(5.08)}$	69,7
CBR	**84,8**

Dati Sperimentali CBR

Δh	Carico	Δh	Carico
[mm]	[kN]	[mm]	[kN]
0,00	0,000	6,44	14,861
0,03	0,681	6,69	15,030
0,12	1,688	6,94	15,201
0,24	2,827	7,18	15,362
0,40	4,133	7,44	15,522
0,60	5,447	7,69	15,666
0,85	6,626	7,95	15,814
1,14	7,782	8,20	15,976
1,43	8,785	8,46	16,139
1,80	9,670	8,71	16,274
2,08	10,401	8,97	16,426
2,36	10,992	9,16	16,035
2,65	11,507	9,42	16,110
2,91	11,896	9,67	16,181
3,19	12,255	9,94	16,246
3,45	12,566	10,19	16,306
3,72	12,872	10,46	16,367
3,96	13,098	10,71	16,408
4,21	13,302	10,97	16,454
4,46	13,478	11,23	16,488
4,71	13,674	11,49	16,536
4,95	13,852	11,74	16,561
5,20	14,044	12,01	16,606
5,45	14,210	12,27	16,629
5,70	14,372	12,54	16,661
5,95	14,544	12,79	16,675
6,19	14,694	13,06	16,679

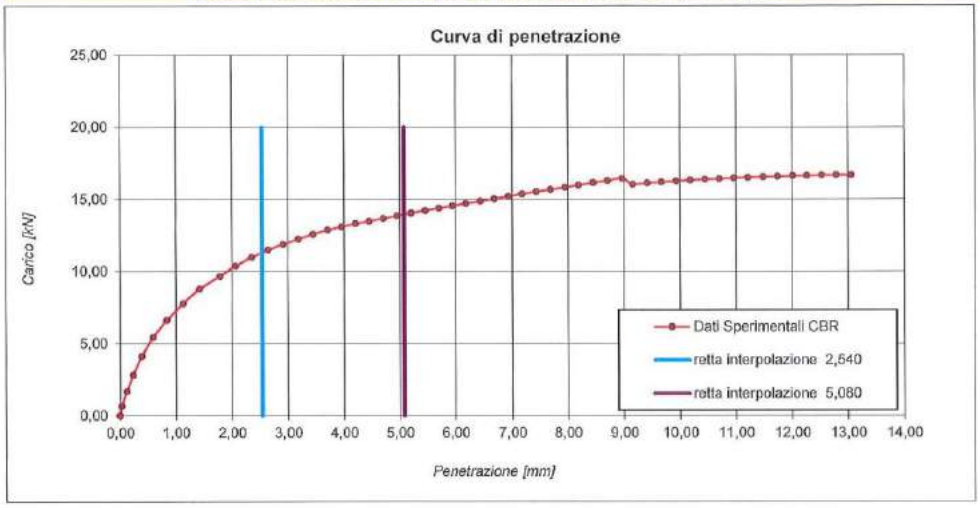
1 di 2

ALTAIR S.R.L.

Laboratorio Autorizzato dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti prove terre (settore "a") e rocce (settore "b")
D.P.R. 06.06.2001 n.380 art. 59 - Circ. 7618/STC del 08.09.2010 Autorizzazione n. 52505 del 11.10.2004 e successivi rinnovi
Laboratorio Certificato UNI EN ISO 9001 ICMQ n.11353 del 28.10.2011 e successivi rinnovi

Certificato 1311	del 28/04/2021	Accettazione	2710	del 17/02/2021

INDICE DI PORTANZA CBR DI UNA TERRA *(ASTM D1883) - GRAFICO*



Coordinate di correzione dell'origine

Nuova Origine	x 0,000	*mm*	y 0,000	*kN*
Intersezione retta 2,54	x 2,540	*mm*	y 11,314	*kN*
Intersezione retta 5,08	x 5,080	*mm*	y 13,949	*kN*

ALTAIR S.R.L.

Laboratorio Autorizzato dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti prove terre (settore "a") e rocce (settore "b")
D.P.R. 06.06.2001 n.380 art. 59 - Circ. 7618/STC del 08.09.2010 Autorizzazione n. 52505 del 11.10.2004 e successivi rinnovi
Laboratorio Certificato UNI EN ISO 9001 ICMQ n.11353 del 28.10.2011 e successivi rinnovi

Certificato 1309	del 28/04/2021	Accettazione	2710	del 17/02/2021

INDICE DI PORTANZA CBR DI UNA TERRA *(ASTM D1883)*

data inizio prova	18/02/2021	data fine prova	21/04/2021

COMMITTENTE	COMUNE DI CALUSCO D'ADDA
COMMESSA	TANGENZIALE SUD
LOCALITA'	CALUSCO D'ADDA (BG)
POZZETTO	MISCELA AL 50% DI S3+S4 + 4% CEMENTO 32,5 28 GIORNI DI MATURAZIONE
CAMPIONE	-
PROFONDITA'	0,00-10,00 m

Preparazione campione

Metodo e grado di costipamento: 1978 AASHTO modificato

Dati sperimentali della prova di compattazione

Peso fustella (g)	5072,0
Altezza campione (mm)	116,6
Area fustella (cm^2)	182,0
Volume fustella (cm^3)	2122,6
Peso lordo terreno umido (g)	9273,0
Peso lordo dopo maturazione (g)	9261,0

Dati sperimentali dell'imbibizione

Peso lordo terreno umido dopo imbibizione (g)	
Lettura iniziale comparatore (mm)	
Lettura finale comparatore (mm)	
QUANTITA' D'ACQUA ASSORBITA (g)	
RIGONFIAMENTO PERCENTUALE (%)	

Dati sperimentali della prova CBR

Tara n.	1
Peso tara (g)	226,0
Peso lordo terreno umido (g)	4411,6
Peso lordo terreno secco (g)	3892,7

Risultati

Peso di volume iniziale (g/cm^3)	1,98
Peso di volume secco (g/cm^3)	1,73
Umidità iniziale (%)	14,6
Umidità finale (%)	14,2
$I_{(2.54)}$	158,5
$I_{(5.08)}$	144,2
Indice IPI	**158,5**

Dati Sperimentali CBR

Δh [mm]	Carico [kN]	Δh [mm]	Carico [kN]
0,00	0,000	5,45	29,813
0,02	0,249	5,70	30,426
0,10	1,778	5,93	31,000
0,20	4,165	6,17	31,599
0,33	6,605	6,41	32,183
0,50	8,818	6,64	32,746
0,68	10,830	6,88	33,302
0,87	12,603	7,12	33,833
1,07	14,109	7,36	34,383
1,28	15,426	7,60	34,927
1,50	16,658	7,84	35,437
1,72	17,728	8,09	35,982
1,95	18,782	8,33	36,475
2,17	19,742	8,57	36,986
2,40	20,618	8,81	37,480
2,64	21,492	9,04	37,953
2,86	22,303	9,29	38,428
3,10	23,094	9,54	38,907
3,34	23,851	9,78	39,361
3,58	24,579	10,02	39,812
3,81	25,285	10,26	40,269
4,04	25,976	10,50	40,713
4,28	26,652	10,75	41,150
4,51	27,304	10,99	41,576
4,75	27,964	11,23	42,019
4,98	28,579	11,48	42,428
5,22	29,204	11,72	42,837

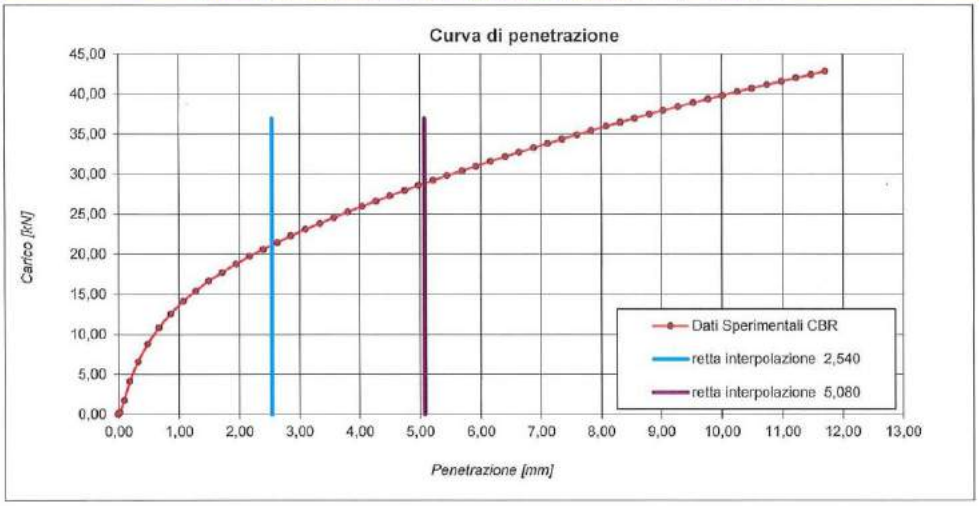
1 di 2

ALTAIR S.R.L.

Laboratorio Autorizzato dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti prove terre (settore "a") e rocce (settore "b")
D.P.R. 06.06.2001 n.380 art. 59 - Circ. 7618/STC del 08.09.2010 Autorizzazione n. 52505 del 11.10.2004 e successivi rinnovi
Laboratorio Certificato UNI EN ISO 9001 ICMQ n.11353 del 28.10.2011 e successivi rinnovi

Certificato 1309	del 28/04/2021	Accettazione	2710	del 17/02/2021

INDICE DI PORTANZA CBR DI UNA TERRA *(ASTM D1883) - GRAFICO*



Coordinate di correzione dell'origine

Nuova Origine	x 0,000	*mm*	y 0,000	*kN*
Intersezione retta 2,54	x 2,540	*mm*	y 21,136	*kN*
Intersezione retta 5,08	x 5,080	*mm*	y 28,840	*kN*

		va2710 17/02/2021	va2710 17/02/2021
		rim	rim
		s3	s4
		-	-
		0,0-10,0	0,0-10,0
Ghiaia g	%	0,00	2,31
Ghiaia f	%	15,12	12,38
Sabbia g	%	7,74	6,92
Sabbia m	%	12,81	14,43
Sabbia f	%	16,34	13,30
Limo+argilla	%	47,99	50,66
Limo	%	27,41	22,21
Argilla	%	20,58	28,44
Limite Liquido	%	31	43
Limite Plastico	%	19	25
Indice di Plasticità	%	12	18
classificazione astm	-	sc	cl o ol
AASHTO M 145-82	-	a6	a7-6
cic	%	3,70	3,85
Densità umida massima	*Mg/mc*	2,13	
Densità secca massima	*Mg/mc*	1,86	
Umidità	%	14,00	
Indice IPI	-	49,24	
CBR imbibito 4 giorni		8,62	
CBR 4%CEMENTO 7 GG MATURAZIONE	-	168,39	
CBR 4%CEMENTO 7 GG MATURAZIONE IMBIBITO 4 GIORNI	-	45,94	
CBR 4%CEMENTO 28 GG MATURAZIONE	-	158,48	
CBR 4%CEMENTO 28 GG MATURAZIONE IMBIBITO 4 GIORNI	-	84,83	

DISPERSIONE DELLE ACQUE METEORICHE

La realizzazione del nastro d'asfalto, di pavimentazione della circonvallazione, determinerà ovviamente la raccolta di acque meteoriche che pur indirizzate in caditoie e pozzetti e andranno poi disperse nel suolo con le modalità e le regole che la procedura impone.

Le modalità di dispersione e l'efficacia della stessa sarà molto differente nei due contesti già descritti:

- dall'estremità ovest fino all'imbocco della galleria artificiale i terreni saranno caratterizzati da elevati valori di permeabilità (coefficiente di permeabilità alto o molto alto) e la dispersione sarà efficace predisponendo pozzi perdenti che arrivino a 4-5 metri dal piano di campagna. Con anelli di raccolta (con funzioni di vasca). La dispersione potrà avvenire in modo "puntiforme" e concentrato in pozzi, ma potrà essere anche in trincee lineari di pari profondità e larghezza a discrezione.

- il tratto della galleria artificiale e del successivo tratto di raccordo verso est con la Strada Provinciale "Rivierasca" è caratterizzato da terreni invece a bassa bassissima permeabilità. La dispersione sarà molto problematica : si porrà attenzione a dove indirizzare le acque perché l'eventuale "cattura" di accumuli d'acqua nel terreno da parte di "occhi pollini" porta facilmente a rapidi svuotamenti ma a prezzo di forti e incontrollabili cedimenti. In questo contesto i pozzi perdenti dovranno avere grandi volumi per fungere da "volano" e accumulo per le acque bianche.

CONCLUSIONI

Su incarico dell'UFFICIO TECNICO del comune di Calusco d'Adda ho eseguito il presente studio per approfondire le caratteristiche geotecniche e sismologiche del tracciato del II LOTTO della circonvallazione SUD del paese con attenzione e approfondimento dello studio delle possibilità di trattare "a calce" o "a cemento" il materiale di scavo della galeri artificiale per il suo reimpiego per la costruzione dei rilevati in comune di CALUSCO d'ADDA (BG).

Ho sintetizzato anche i dati stratirafici e geotecnici acquisiti con la campagna-studio preliminare del 2004 e gli approfondimenti successivi del 2015.

Per definire tali caratteristiche del terreno ho eseguito prove penetrometriche dinamiche DPSH-SCPT, sismica rifrazione, sondaggi meccanico a carotaggio continuo, prove di laboratorio di caratterizzazione e sperimentazione di additivazione a calce e cemento e una linea sismica a 24 geofoni secondo lo schema MASW.

I punti di indagine sono stati localizzati, compatibilmente con gli ingombri esistenti, e con la morfologia dei luoghi al contorno dell'impronta delle costruzioni in oggetto.

Dall'indagine geofisica realizzata dagli scriventi è stato possibile determinare, per l'area di progetto, un valore di **$V_{s,eq}$ compreso tra 498 m/s (calcolato a quota fondazione posta a -1 m da p.c.) e 462 m/s (misurato a piano campagna)** e di conseguenza assegnare, ai terreni in progetto, una **categoria di sottosuolo B,** secondo le N.T.C., 2018, definita come *"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".*

Relativamente allo **scenario di pericolosità sismica locale Z4a,** in cui ricade l'area di progetto, l'approfondimento di secondo livello di amplificazione sismica locale, realizzato dagli scriventi per la fase progettuale, ha mostrato come **i valori di Fa calcolati (FAC) siano risultati inferiori ai valori soglia imposti dalla normativa (FAS), relativa alla categoria di sottosuolo B, e che quindi per l'area oggetto di studio la norma sia generalmente in grado di tenere in considerazione anche gli effetti di amplificazione litologica rilevati in questa parte del territorio.**

I risultati delle indagini sismiche, realizzate nella fase progettuale sull'area d'intervento, sono risultati coerenti e comparabili con i risultati delle indagini sismiche realizzate nella fase pianificatoria (PGT, Lentini, 2011).

Vengono esposte considerazioni sulle situazioni per scavi in scarpata e per la dispersione delle acque, rigorosamente bianche e conformemente alla normativa.

La presente relazione viene redatta seguendo le indicazioni tecniche esposte:

- Nel D.M. 11.03.1988 e nell'art. 27 del D.P.R. del 21.12.1999 n° 554 "Regolamento di attuazione della legge quadro in materia di lavori pubblici dell'11 febbraio 1994 n° 109 e successive modificazioni"
- nell'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n° 3274 del 20 Marzo 2003 relativa alla normativa sismica
- nelle Norme Tecniche per le Costruzioni (Ministero delle infrastrutture e dei trasporti, 2008) e che prevedono un approccio agli stati limite

Certo di aver fornito tutte le indicazioni necessarie, resto comunque a disposizione per qualsiasi chiarimento.

Villa d'Adda, 03 maggio 2021

dr. geol. Fabio BAIO

OGL – Ordine dei geologi della Lombardia n° A612 AP

dr. geol. Andrea GRITTI

OGL – Ordine dei Geologi della Lombardia n. 1461

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA (2015)

- Attività di campo (3)
- Cassette catalogatrici dei campioni (9)

Sondaggi 3 e 4 (da sopra)

Prove penetrometriche dinamiche DPSH-SCPT n° 3 e n° 1 (da sopra)

Pozzetti esplorativi n° 1 (1bis) e n° 3 (da sopra)

CALUSCO D'ADDA (BG) – indagini tangenziale sud

SONDAGGIO 1 - (0.00-10.00)

SONDAGGIO 1 - (10.00-20.00)

CALUSCO D'ADDA (BG) – indagini tangenziale sud

SONDAGGIO 2 - (0.00-10.00)

SONDAGGIO 2 - (10.00-20.00)

CALUSCO D'ADDA (BG) – indagini tangenziale sud

SONDAGGIO 3 - (0.00-10.00)

SONDAGGIO 3 - (10.00-20.00)

CALUSCO D'ADDA (BG) – indagini tangenziale sud

SONDAGGIO 4 - (0.00-10.00)

SONDAGGIO 4 - (10.00-20.00)

CALUSCO D'ADDA (BG) – indagini tangenziale sud

SONDAGGIO 5 - (0.00-5.00)