



# COMUNE DI BOLOGNA

## STRADA VICINALE DEL MALPASSO IN LOCALITÀ CASTELL'ARIENTI

LAVORI DI RIPRISTINO DI UN TRATTO DISSESTATO A  
SEGUITO DEGLI EVENTI METEORICI DELL'OTTOBRE 2024

### PROGETTO ESECUTIVO

Proprietà:

CONSORZIO CASTELL'ARIENTI

Località Castell'Arienti 2-4-7  
40141 Bologna

Progettazione e Direzione Lavori:



Via Castiglione, 81 - 40124 Bologna

Titolo elaborato:

Elaborati Descrittivi

RELAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA

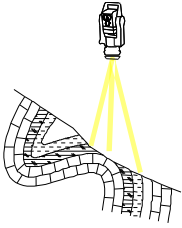
N. elab.:

ED.06

Rev.	Data	Note	Redatto	Verificato	Approvato
A	06/03/2026	EMISSIONE	BOLIS	BOLIS	RANGONI

File 25-L03.PE.ED.06.A0A\_Relazione Geologica E Geotecnica.pdf

Scala plottaggio      Scala



*Studio tecnico di Geologia e Topografia*



**Comune di Bologna**

**VERIFICHE E SOLUZIONI  
PROGETTUALI PER IL  
CONSOLIDAMENTO DEL VERSANTE  
OGGETTO DI UN EVENTO FRANOSO  
AVVENUTO A SEGUITO DELLE  
ALLUVIONI DI SETTEMBRE E  
OTTOBRE 2024 IN STRADA VICINALE  
MALPASSO, NEL COMUNE DI  
BOLOGNA.**

**PROPRIETA':**

**CONSORZIO CASTELL'ARIENTI  
(BOLOGNA)**

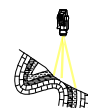
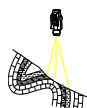
**INDAGINE RELAZIONE GEOLOGICA**



**Bologna, 7 Marzo 2025**

## INDICE

<b>INDICE.....</b>	<b>2</b>
<b>PREMESSE.....</b>	<b>3</b>
<b>UBICAZIONE DELL'AREA DI STUDIO .....</b>	<b>4</b>
<b>NORMATIVA DI RIFERIMENTO .....</b>	<b>6</b>
<b>UNITA' GEOLOGICHE, LITOLOGICHE E STRUTTURALI - FORME DEL TERRENO E.....</b>	<b>7</b>
<b>PROCESSI GEOMORFICI - STORIA GEOLOGICA DEL TERRITORIO .....</b>	<b>7</b>
<b>RILIEVO TOPOGRAFICO, CAMPAGNA GEOGNOSTICA E SISMICA .....</b>	<b>14</b>
<b>PROVE GEOGNOSTICHE.....</b>	<b>17</b>
<b>UBICAZIONE DELLE INDAGINI E CERTIFICATI DELLE PROVE (CPT).....</b>	<b>18</b>
<b>CARATTERIZZAZIONE FISICA E MECCANICA DEI TERRENI .....</b>	<b>25</b>
<b>VERIFICHE DI STABILITA' DEL VERSANTE – METODO - RELAZIONE DI CALCOLO .....</b>	<b>28</b>
<b>VERIFICHE DI STABILITA' DEL VERSANTE - CALCOLO.....</b>	<b>33</b>
<b>IPOTESI E PROPOSTE PROGETTUALI .....</b>	<b>44</b>
<b>VERIFICHE IN CONDIZIONI SISMICHE .....</b>	<b>45</b>
<b>VERIFICA A LIQUEFAZIONE .....</b>	<b>59</b>
<b>CONCLUSIONI.....</b>	<b>61</b>



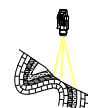
## PREMESSE

*La presente relazione ha lo scopo di descrivere ed interpretare le indagini geognostiche svolte a supporto della progettazione dell'intervento di sistemazione definitiva del versante in oggetto. Tale progettazione si rende necessaria per porre rimedio ai processi gravitativi verificatesi a causa degli eventi meteorologici del Settembre e Ottobre 2024.*

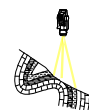
*Allo scopo di studiare nel dettaglio il movimento franoso e le soluzioni da adottare per la stabilizzazione dello stesso, sono stati eseguiti:*

- un rilievo topografico in grado di fornire gli elementi geometrici attuali del pendio;*
- una campagna geognostica consistita in n.2 penetrometrie statiche CPT;*
- una campagna sismica mediante HVSR.*

*Inoltre sono stati acquisiti dati da altri studi eseguiti nei pressi dell'area di progetto.*



## UBICAZIONE DELL'AREA DI STUDIO





*Immagine estratta da Google Earth (pagina precedente) ed estratto della CTR estratta dalla Cartografia Geologica della Regione E-R (tutte le immagini non sono in scala).*

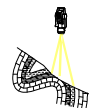
*L'area di studio ricade nel foglio CTR 221130 Rastignano alla scala 10.000. Essa confina a sud con la Strada Vicinale del Malpasso e a Nord, Est e Ovest con un esteso vigneto.*



## **NORMATIVA DI RIFERIMENTO**

*La stesura della seguente relazione è stata effettuata seguendo le disposizioni contenute nella normativa di riferimento elencata di seguito:*

- a) *“Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l’esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazioni”. D.M. 11 Marzo 1988*
- b) *Istruzioni relative alle “Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l’esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione”. Circ. Min° LL.PP. n° 30483, 24 Settembre 1988.*
- c) *AGI: raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche, Giugno 1977.*
- d) *AGI: raccomandazioni sulle prove geotecniche di laboratorio, Maggio 1990 (edizione provvisoria).*
- e) *Eurocodice Ec7 per l’ingegneria geotecnica, Settembre 1988.*
- f) *Ordinanza n. 3274 del 20 marzo 2003 della Presidenza del Consiglio dei Ministri*
- g) *“Aggiornamento Norme tecniche per le costruzioni” D.M. 17 Gennaio 2018.*



**PROCESSI GEOMORFICI - STORIA GEOLOGICA DEL TERRITORIO**

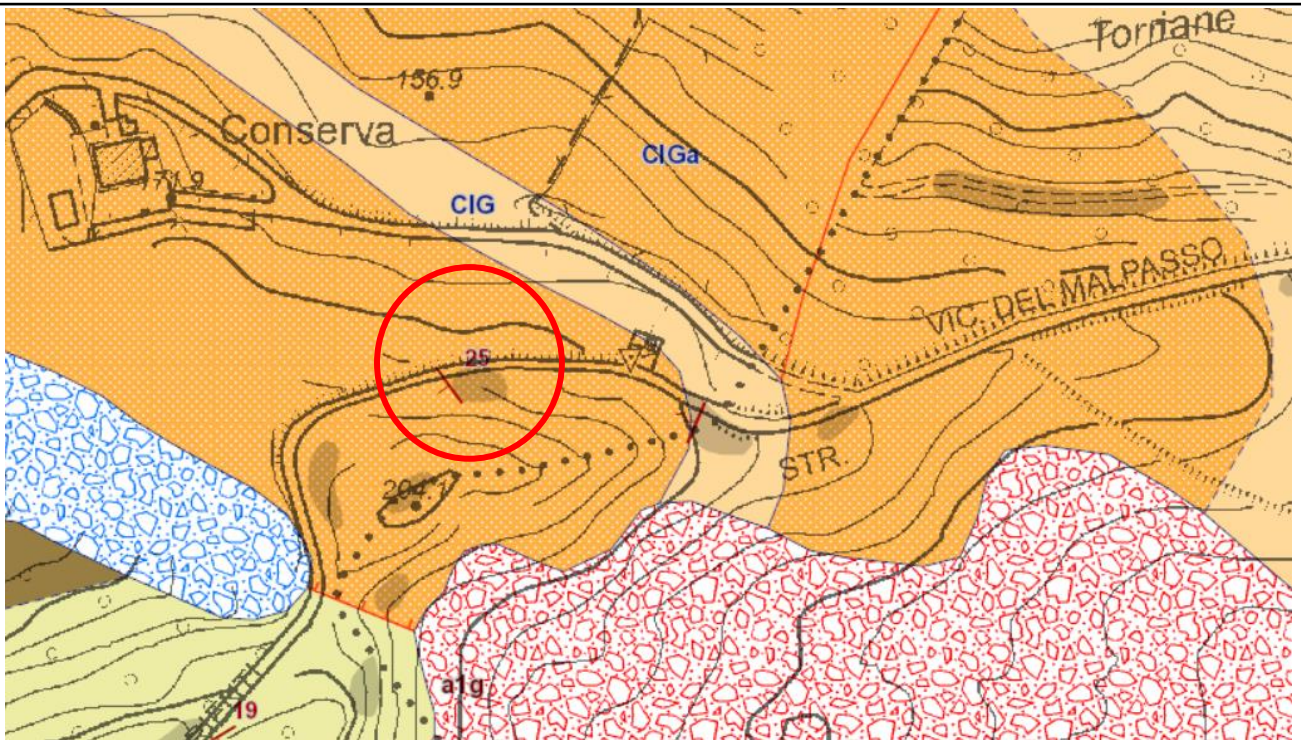
*L'area di studio è ubicata sui primi rilievi della collina a sud della città di Bologna e si trova in una zona tra circa 160 e 200 mt. s.l.m.*

*Nel caso in esame, come evidenziato nello stralcio della Carta Geologica riportata di seguito, il sottosuolo dell'area è composto da terreni appartenenti alla Formazione di Cigarellino (sigla CIG nella Cartografia Geologica); tale formazione è costituita da Marne siltose - sabbiose, talora argillose, grigie o beige se alterate, bioturbate e fossilifere; presenti bioclasti e biosomi. La stratificazione è mal percepibile per bioturbazione e assenza di livelli grossolani; verso l'alto stratigrafico affiorano pacchi di strati arenaceo - pelitici con rapporto inferiore ad uno e stratificazione tabulare, con locali disturbi sinsedimentari; quando aumenta il rapporto A/P si distingue la litofacies arenacea (CIGa) data da arenarie di origine torbida medio - fini e peliti grigio scure, in strati da spessi a sottili, spesso amalgamati. Potenza compresa tra 40 e 100 metri. Contatto inferiore graduale su ABI. Serravalle.*

*Dal punto di vista morfodinamico nell'area di studio non sono stati cartografati movimenti gravitativi, che, al contrario sembrano essere attivi sul versante Sud, oltre il crinale su cui corre in parte la strada vicinale.*

*Gli stralci delle cartografie di cui sopra vengono riportati nelle pagine seguenti.*



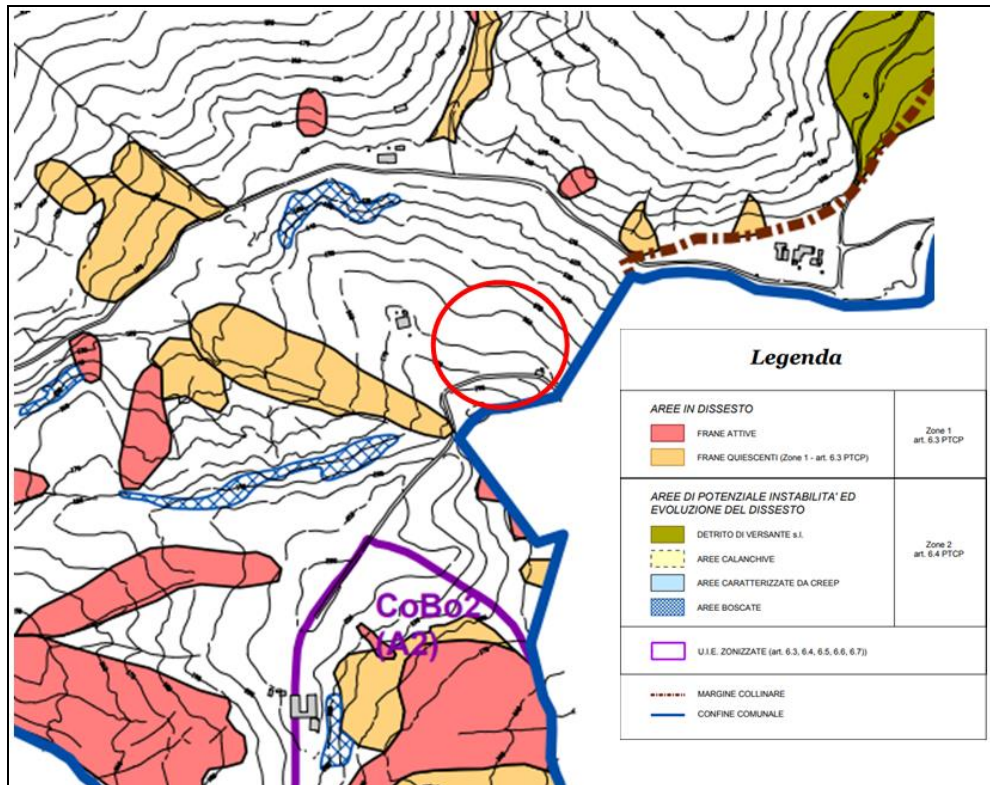


*Estratto della Carta Geologica presa dal sito della Cartografia Geologica della Regione E-R.*

*Di seguito viene riportato uno stralcio della carta di Inventario del Dissesto, tratta dal <http://dru.iperbole.bologna.it/allegati-capitolo-f-%E2%80%93ambiente-quadro-conoscitivo-psc> sito del Comune di Bologna, dove si possono notare depositi di frana quiescenti (in arancione) e attivi (in rosso) limitrofi all'area di studio, che, tuttavia risultano esterni alla zona in esame.*

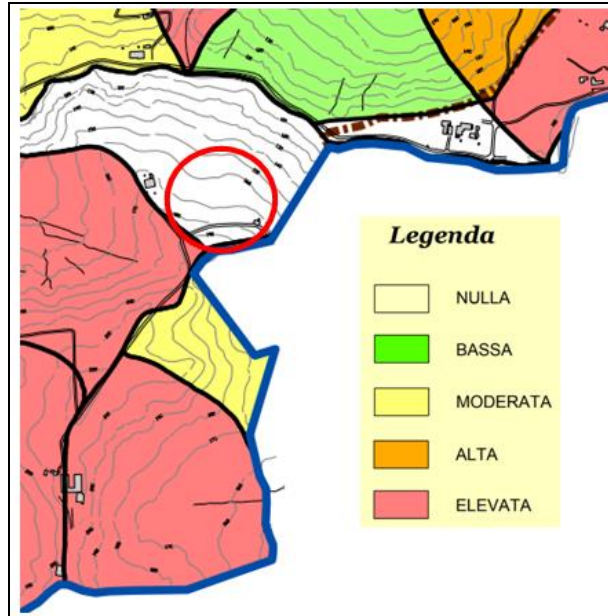
*Anche la successiva Carta della Pericolosità da Frana evidenzia l'assenza di processi gravitativi nell'area oggetto di studio.*





Estratto della tav. A - Inventario del Dissesto (dati del PSC del Comune di Bologna - Luglio 2006)





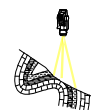
*Estratto della tav. C – Carta della Pericolosità da Frana (dati del PSC del Comune di Bologna - Luglio 2006)*

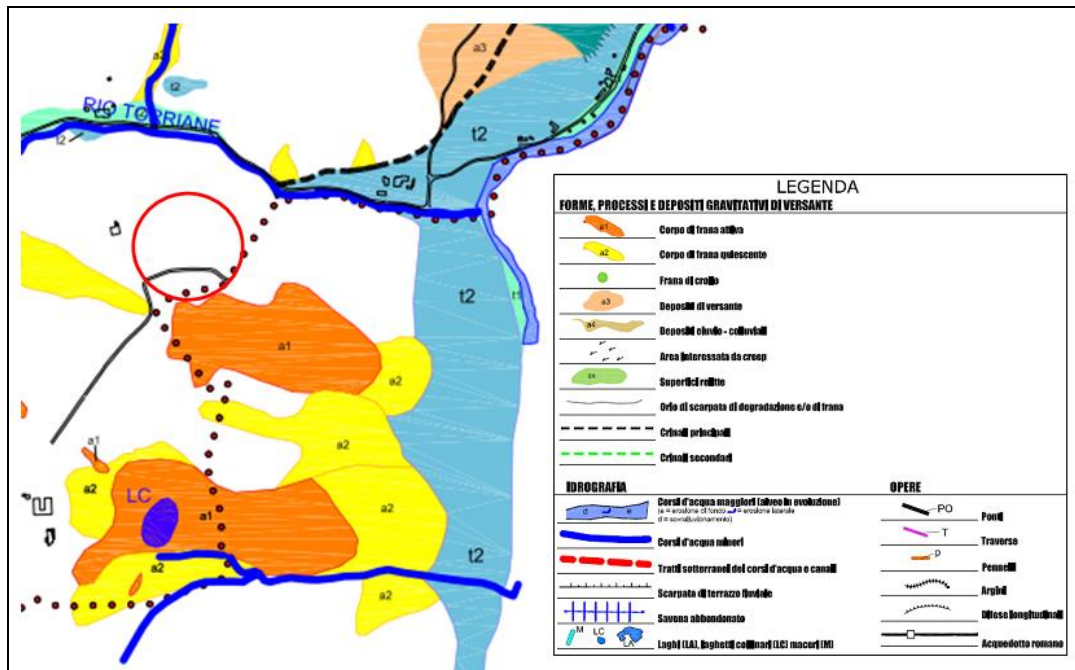
*Dal punto di vista geologico e strutturale l'area di studio è caratterizzata dalla presenza di una stratificazione rilevata poco a sud della zona di studio, giacitura che rivela che la roccia ha una immersione a traverso poggio-reggipoggio N300 con inclinazione di 25°*

*La cartografia rivela anche l'esistenza di due piccole faglie aventi andamento grossomodo SN, che, tuttavia, non determinano apparenti contatti tettonici fra formazioni rocciose differenti.*

*L'idrologia superficiale vede ad Nord dell'area analizzata la presenza del Rio Torriane, il quale è classificato come corso d'acqua minore, e, come si può osservare nello stralcio della Carta Geomorfologica di Collina riportata di seguito, è affluente del Torrente Savena in sinistra idraulica.*

*A conferma di quanto espresso precedentemente, anche in questa carta vengono cartografati depositi di frana attiva (a1) e quiescente (a2) a Nord e Sud-Ovest della zona di studio.*

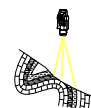


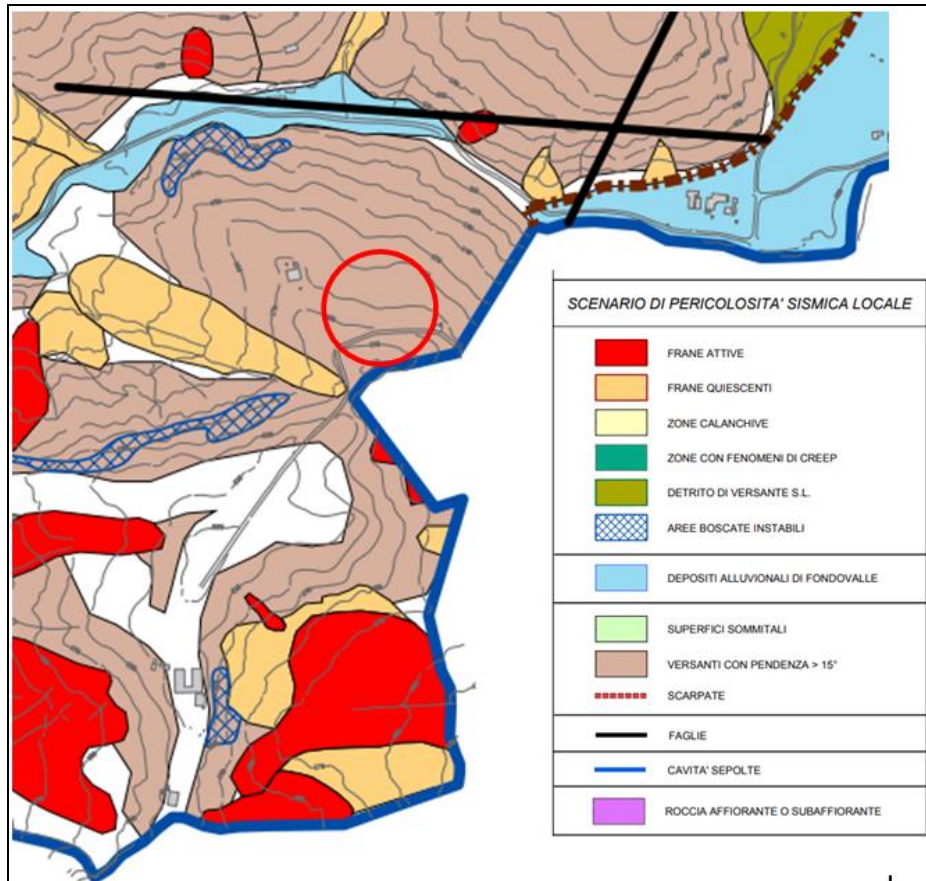


*Estratto della Carta Geomorfologica di Collina (dati del PSC del Comune di Bologna Tav 3.7 – Luglio 2006)*

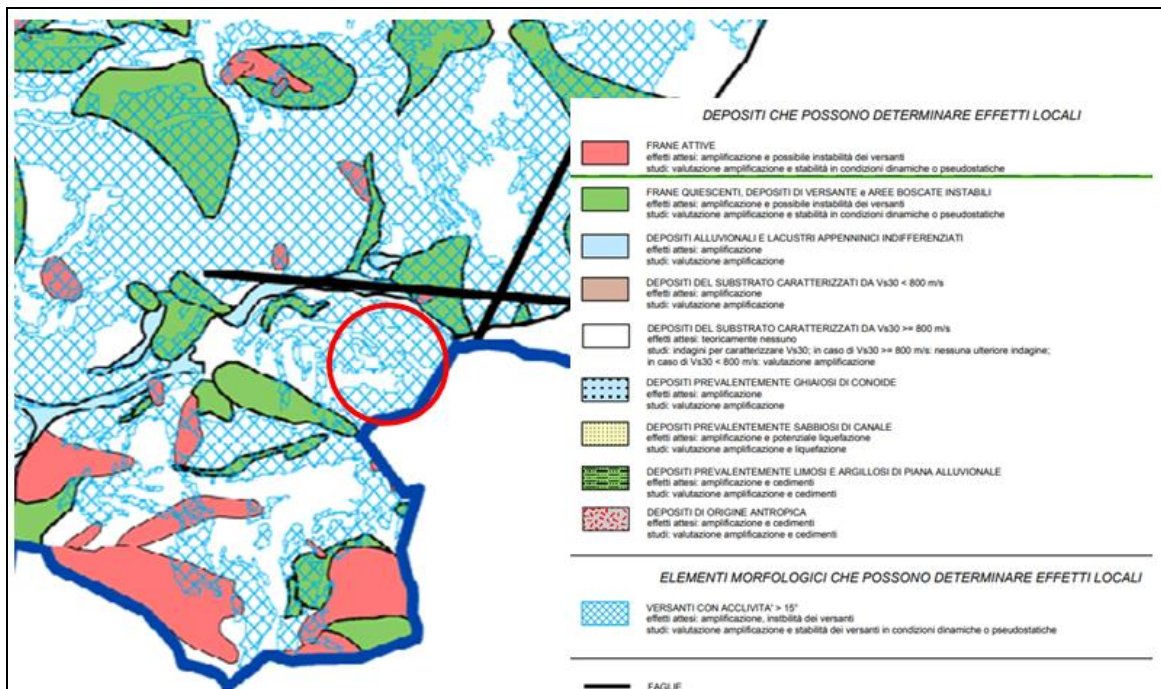
*Dal punto di vista morfologico, la zona di studio si colloca a ridosso del crinale secondario che separa la Valle del Rito Torriane da quello di un rio minore (senza toponimo) sempre affluente del Savena in sinistra idraulica.*

*Di seguito si riporta uno stralcio della Tavola E - Carta della pericolosità sismica locale (dati del PSC del Comune di Bologna). L'area di studio risulta essere un versante con pendenza  $>15^\circ$ , con conseguente attesa amplificazione topografica ed instabilità dei versanti.*

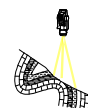


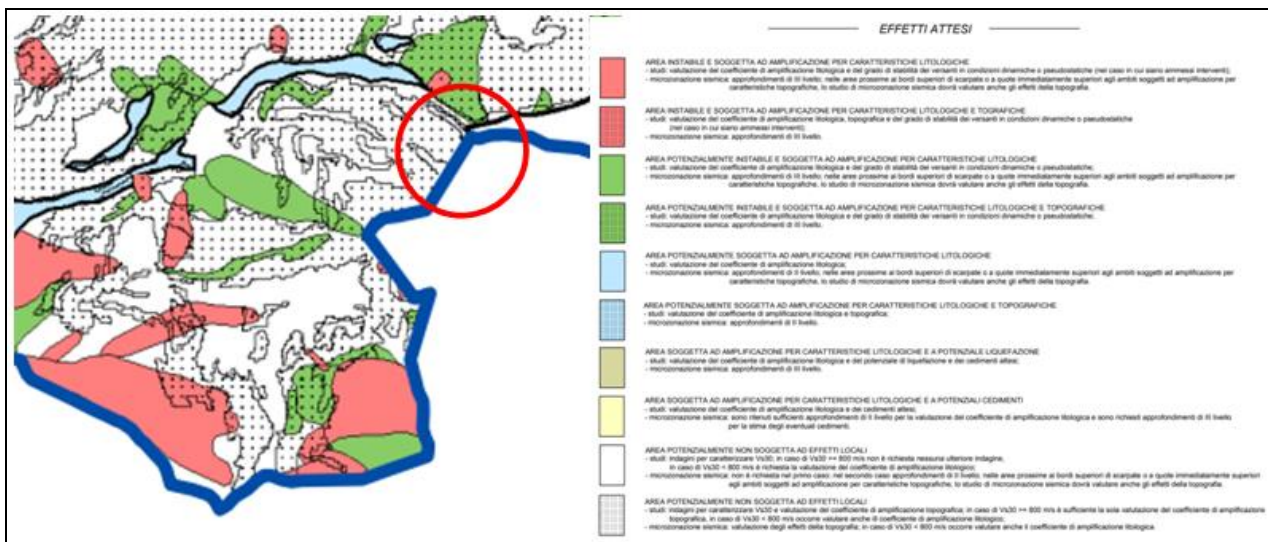


Estratto della Carta della Pericolosità Sismica Locale (dati del PSC del Comune di Bologna – Luglio 2006)

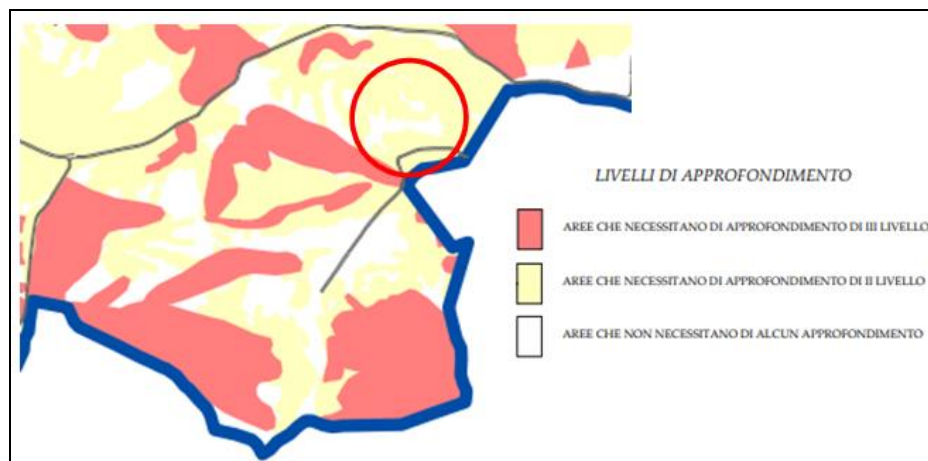


Estratto della carta delle AREE POTENZIALMENTE SOGGETTE AD EFFETTI LOCALI PER EVENTI SISMICI (dati del PSC del Comune di Bologna – TAV E1 - Luglio 2006)



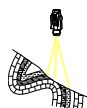


Estratto della TAV. E2 - CARTA COMUNALE DELLE AREE SUSCETTIBILI DI EFFETTI LOCALI (dati del PSC del Comune di Bologna - Luglio 2006)



Estratto della TAV. E3 - CARTA DI SINTESI DEI LIVELLI DI APPROFONDIMENTO (dati del PSC del Comune di Bologna - Luglio 2006)

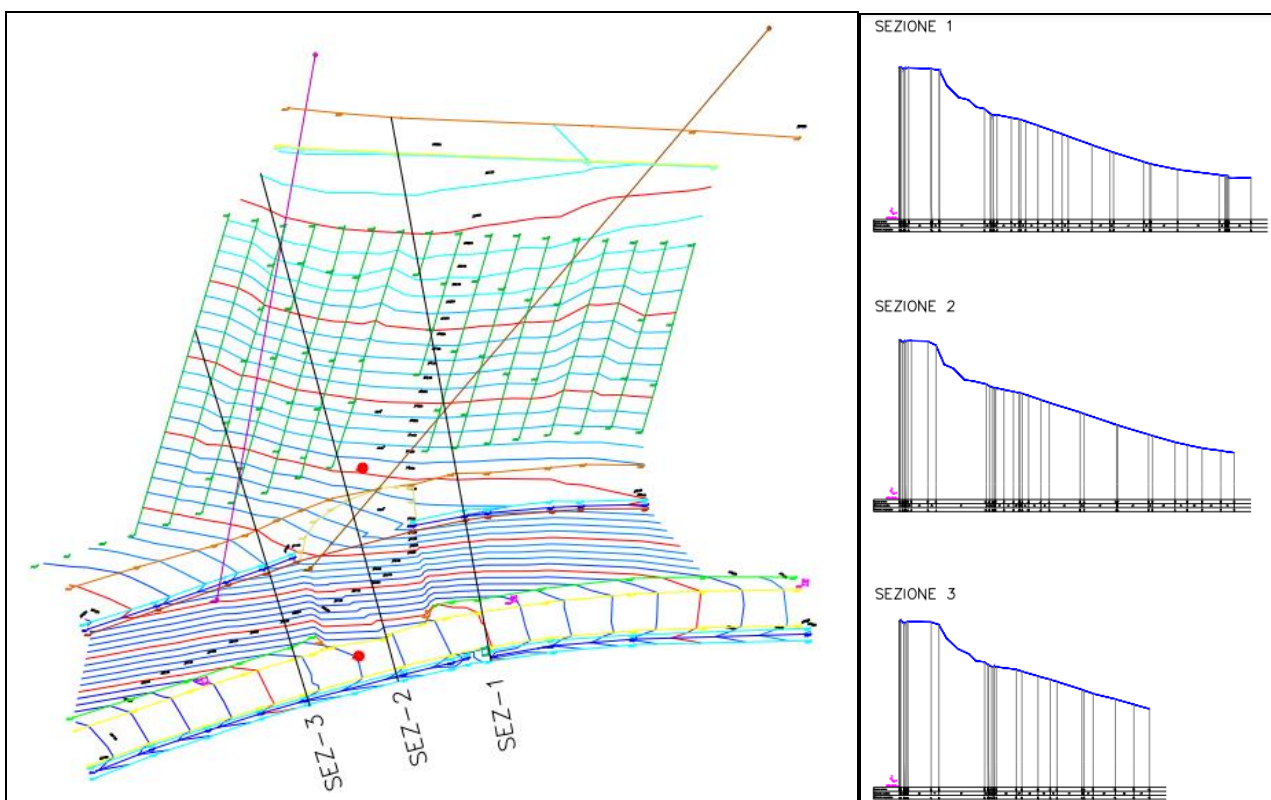
Quest'ultima cartografia evidenzia che per l'area oggetto di studio è richiesto il secondo livello sismico di approfondimento.



## RILIEVO TOPOGRAFICO, CAMPAGNA GEOGNOSTICA E SISMICA

Come accennato in premesse, allo scopo di studiare in maniera completa la geometria del versante e di progettare efficacemente le soluzioni di intervento che meglio si adattano al pendio, è stato eseguito un rilievo topografico di dettaglio con tecnologia GPS che si è spinto, da monte dell'area di frana, fino alla strada Vicinale del Malpasso dalla zona di valle.

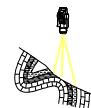
Il rilievo è stato finalizzato alla definizione delle caratteristiche morfologiche del movimento franoso da consolidare.



Rilievo topografico, ubicazione delle indagini eseguite e tracce delle sezioni di verifica (fuori scala).

Il rilievo eseguito e il rilevamento geologico dell'area, ha messo in luce l'esistenza di un modesto movimento gravitativo che ha coinvolto la porzione di valle della carreggiata stradale.

Il ciglio ha una larghezza di circa 12 – 15 metri, mentre lo sviluppo longitudinale non supera i 30 metri.



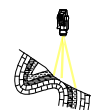
*Si tratta di una frana per scivolamento e roto-traslazione del materiale prevalentemente di riporto (scavato a monte e riportato a valle) probabilmente utilizzato per allargare l'originaria sede stradale. Si tenga presente che il substrato è subaffiorante a monte della strada mentre il materiale scivolato a valle è costituito da argille limosa e sabbiosa che pare essersi quasi liquefatta verso il fondo del movimento, che, dunque, si è sviluppato in colata.*



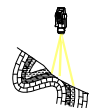
*A partire dalla corona di frana, sub verticale, gli alberi che trattenevano il pendio sono stati coinvolti nel movimento, legato molto probabilmente alla saturazione pressoché completa del terreno. Il piede della colata è posizionato nel vigneto sottostante la scarpata, vigneto che è stato in parte divelto dal materiale fluito.*

*Le reti interrato presenti in corono sono state rotte e trasportate a valle, e, alla data del rilevamento geologico del sito, erano state rimpiazzate da tubazioni provvisorie di plastica (si veda la foto soprastante).*

*Il movimento è stato coperto con teli in nylon che, tuttavia, sono stati parzialmente strappati e, nel momento in cui sono state eseguite le prove geognostiche, erano completamente inutili per impedire che le acque di pioggia si infiltrassero nel ciglio.*



*Il ciglio appariva compromesso dal movimento e caratterizzato da lunghe e profonde fessure parallele all'infrastruttura, perpendicolari alla direzione di moto.*



## PROVE GEOGNOSTICHE

*Per poter acquisire i dati sulle caratteristiche geomeccaniche del suolo su cui insiste il movimento sono state eseguite n. 2 prove penetrometriche statiche (CPT1 e CPT2) in asse rispetto al movimento franoso.*

*Tutte le prove penetrometriche (CPT), sono state eseguite mediante l'utilizzo di un penetrometro statico tipo "Pagani tg 63 200KN dotato di punta meccanica conica (tipo Begemann) avente angolo di apertura di 60° ed una sezione di 10 cm<sup>2</sup> per la misura della resistenza di punta e del manicotto di frizione "Friction Jacket" per la misura della resistenza di attrito laterale locale. La velocità di avanzamento della punta durante la prove è stata di 2cm/sec.*

*La lunghezza delle aste del penetrometro è di 1.00 metro e ogni 20 cm vengono eseguite: la misura della resistenza di punta ( $R_p$ ) e dell'attrito laterale locale ( $R_l$ ) i cui valori vengono poi riportati, in forma diagrammatica, negli appositi moduli.*

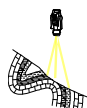
*Nei diagrammi figurano:*

- 1) La curva di resistenza alla punta "qc" che si riferisce ai dati della resistenza offerta dal terreno all'avanzamento della punta conica che esprime i valori dei carichi di rottura dei materiali attraversati.*
- 2) La curva di resistenza di attrito laterale "fs" che si riferisce alla resistenza di attrito locale misurata mediante il manicotto di frizione.*

*L'ubicazione dei punti di indagine oltre che essere visibile sulla mappa del rilievo precedentemente allegata, insieme ai certificati delle prove, viene mostrata anche nel capitolo seguente.*

*A completamento delle indagini necessarie è stata eseguita una campagna di prove sismiche consistenti in una prova passiva tipo HVSR (Tromino), al fine di ricostruire le caratteristiche di risposta sismica dei primi 30 mt. del sottosuolo, in conformità a quanto previsto per il secondo livello di approfondimento sismico.*

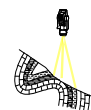
*I risultati di tale indagine saranno descritti ed analizzati in un capitolo dedicato.*



## UBICAZIONE DELLE INDAGINI E CERTIFICATI DELLE PROVE (CPT)



Ubicazione delle prove penetrometriche CPT in rosso e HVSR in blu su mappa tratta da Google Earth Pro (fuori scala).





**PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA  
LETTURE CAMPAGNA E VALORI TRASFORMATI**

**CPT**

**1**

riferimento

**003-2025**

Committente: **dott geol Silvio De Nuzzo**

Cantiere: **frana a valle**

Località: **Strada vicinale del Malpasso (Bo)**

U.M.: **kg/cm<sup>2</sup>**

Data exec.: **16/02/2025**

Pagina: **1**

Elaborato:

Falda: **Non rilevata**

H	L1	L2	Lt	qc	fs	F	Rf	H	L1	L2	Lt	qc	fs	F	Rf
m	-	-	-	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	-	%	m	-	-	-	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	-	%
0.20	10.0	15.0		10.00	0.20	50	2.0								
0.40	11.0	14.0		11.00	0.73	15	6.6								
0.60	10.0	21.0		10.00	1.00	10	10.0								
0.80	10.0	25.0		10.00	0.87	11	8.7								
<b>1.00</b>	11.0	24.0		11.00	1.13	10	10.3								
1.20	10.0	27.0		10.00	0.80	13	8.0								
1.40	14.0	26.0		14.00	1.27	11	9.1								
1.60	13.0	32.0		13.00	1.27	10	9.8								
1.80	16.0	35.0		16.00	1.73	9	10.8								
<b>2.00</b>	18.0	44.0		18.00	1.67	11	9.3								
2.20	14.0	39.0		14.00	1.47	10	10.5								
2.40	23.0	45.0		23.00	1.93	12	8.4								
2.60	29.0	58.0		29.00	2.40	12	8.3								
2.80	30.0	66.0		30.00	2.60	12	8.7								
<b>3.00</b>	27.0	66.0		27.00	2.00	14	7.4								
3.20	29.0	59.0		29.00	1.87	16	6.4								
3.40	23.0	51.0		23.00	1.93	12	8.4								
3.60	24.0	53.0		24.00	1.00	24	4.2								
3.80	17.0	32.0		17.00	2.73	6	16.1								
<b>4.00</b>	18.0	59.0		18.00	1.27	14	7.1								
4.20	16.0	35.0		16.00	0.93	17	5.8								
4.40	16.0	30.0		16.00	0.93	17	5.8								
4.60	39.0	53.0		39.00	1.33	29	3.4								
4.80	40.0	60.0		40.00	0.87	46	2.2								
<b>5.00</b>	80.0	93.0		80.00	4.20	19	5.3								
5.20	142.0	205.0		142.00	4.27	33	3.0								
5.40	156.0	220.0		156.00	8.47	18	5.4								
5.60	83.0	210.0		83.00	4.67	18	5.6								
5.80	51.0	121.0		51.00	8.33	6	16.3								
<b>6.00</b>	64.0	189.0		64.00	5.60	11	8.8								
6.20	254.0	338.0		254.00	2.67	95	1.1								
6.40	460.0	500.0		460.00											



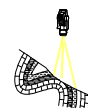
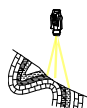


## PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA LETTURE CAMPAGNA E VALORI TRASFORMATI

<b>CPT</b>	<b>2</b>
referimento	<b>003-2025</b>

Committente: <b>dott geol Silvio De Nuzzo</b>	U.M.: <b>kg/cm<sup>2</sup></b>	Data esec.: <b>16/02/2025</b>
Cantiere: <b>frana a monte</b>	Pagina: <b>1</b>	Falda: <b>Non rilevata</b>
Località: <b>Strada vicinale del Malpasso (Bo)</b>	Elaborato:	

H	L1	L2	Lt	qc	fs	F	Rf	H	L1	L2	Lt	qc	fs	F	Rf
m	-	-	-	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	-	%	m	-	-	-	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	-	%
0.20	50.0	80.0		50.00	0.67	75	1.3								
0.40	50.0	80.0		50.00	0.67	75	1.3								
0.60	50.0	80.0		50.00	0.67	75	1.3								
0.80	50.0	80.0		50.00	0.33	152	0.7								
<b>1.00</b>	47.0	52.0		47.00	2.13	22	4.5								
1.20	45.0	77.0		45.00	1.47	31	3.3								
1.40	56.0	78.0		56.00	2.73	21	4.9								
1.60	72.0	113.0		72.00	3.93	18	5.5								
1.80	63.0	122.0		63.00	3.47	18	5.5								
<b>2.00</b>	48.0	100.0		48.00	2.60	18	5.4								
2.20	96.0	135.0		96.00	5.93	16	6.2								
2.40	81.0	170.0		81.00	8.00	10	9.9								
2.60	144.0	284.0		144.00	7.93	18	5.5								
2.80	135.0	254.0		135.00	12.87	10	9.5								
<b>3.00</b>	107.0	300.0		107.00	4.53	24	4.2								
3.20	240.0	308.0		240.00	9.07	26	3.8								
3.40	252.0	388.0		252.00	11.07	23	4.4								
3.60	212.0	378.0		212.00	8.00	27	3.8								
3.80	480.0	600.0		480.00											





# PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA DIAGRAMMI DI RESISTENZA

<b>CPT</b>	<b>1</b>
riferimento	003-2025

Committente: dott geol Silvio De Nuzzo

U.M.: kg/cm<sup>2</sup>

Data esec.: 16/02/2025

Località: Strada vicinale del Malpasso (Bo)

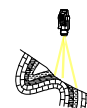
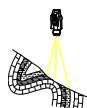
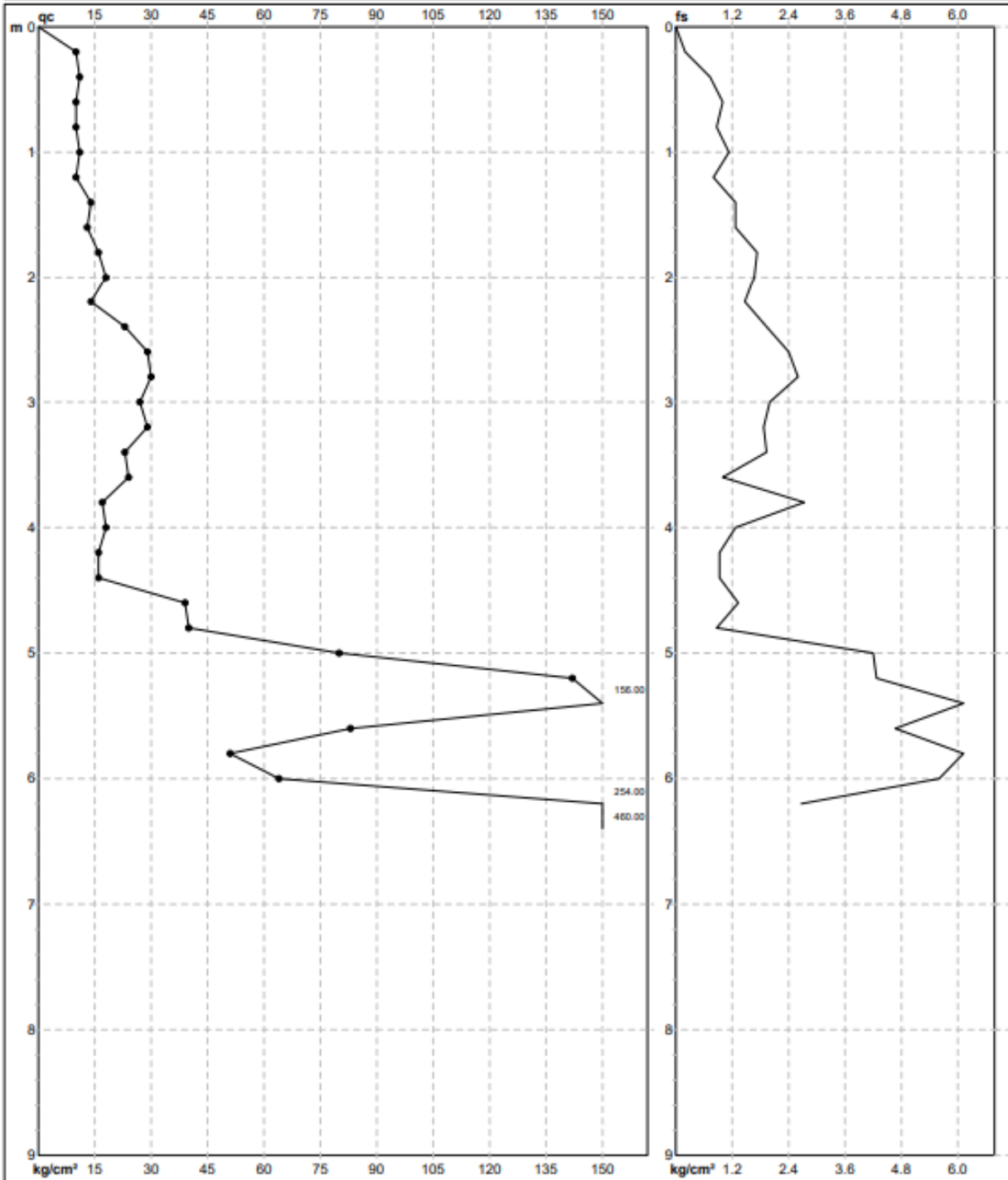
Scala: 1:45

Quota inizio:

Pagina: 1

Falda: Non rilevata

Elaborato:





# PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA DIAGRAMMI DI RESISTENZA

<b>CPT</b>	<b>2</b>
referimento	<b>003-2025</b>

Committente: **dott geol Silvio De Nuzzo**

U.M.: **kg/cm<sup>2</sup>**

Data eseg.: **16/02/2025**

Località: **Strada vicinale del Malpasso (Bo)**

Scala: **1:45**

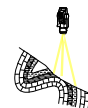
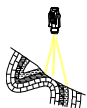
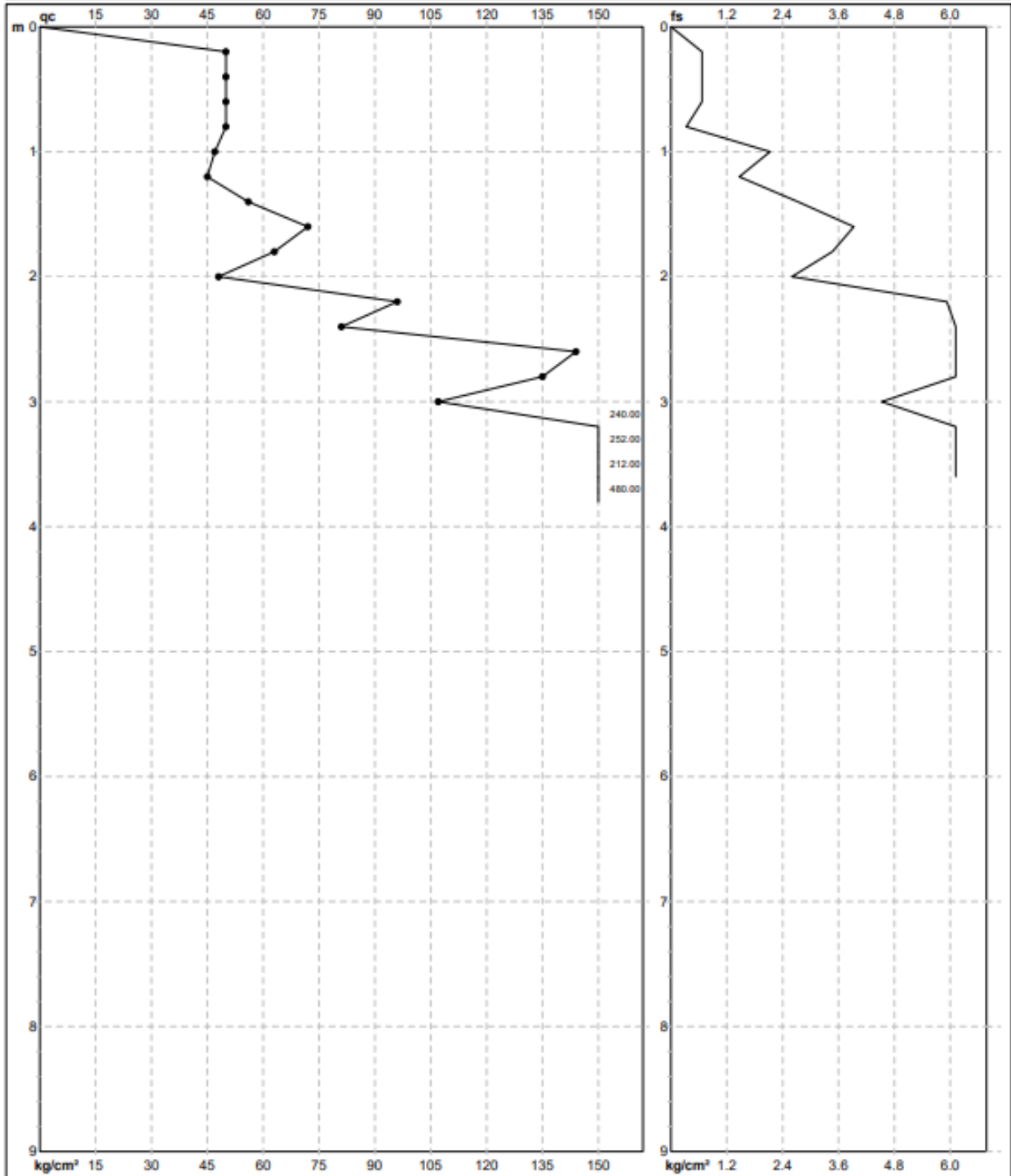
Pagina: **1**

Quota inizio:

Elaborato:

Falda:

**Non rilevata**





# PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA DIAGRAMMI LITOLOGIA

**CPT****1**

riferimento

**003-2025**

Committente: dott geol Silvio De Nuzzo

U.M.: kg/cm<sup>2</sup>

Data exec.: 16/02/2025

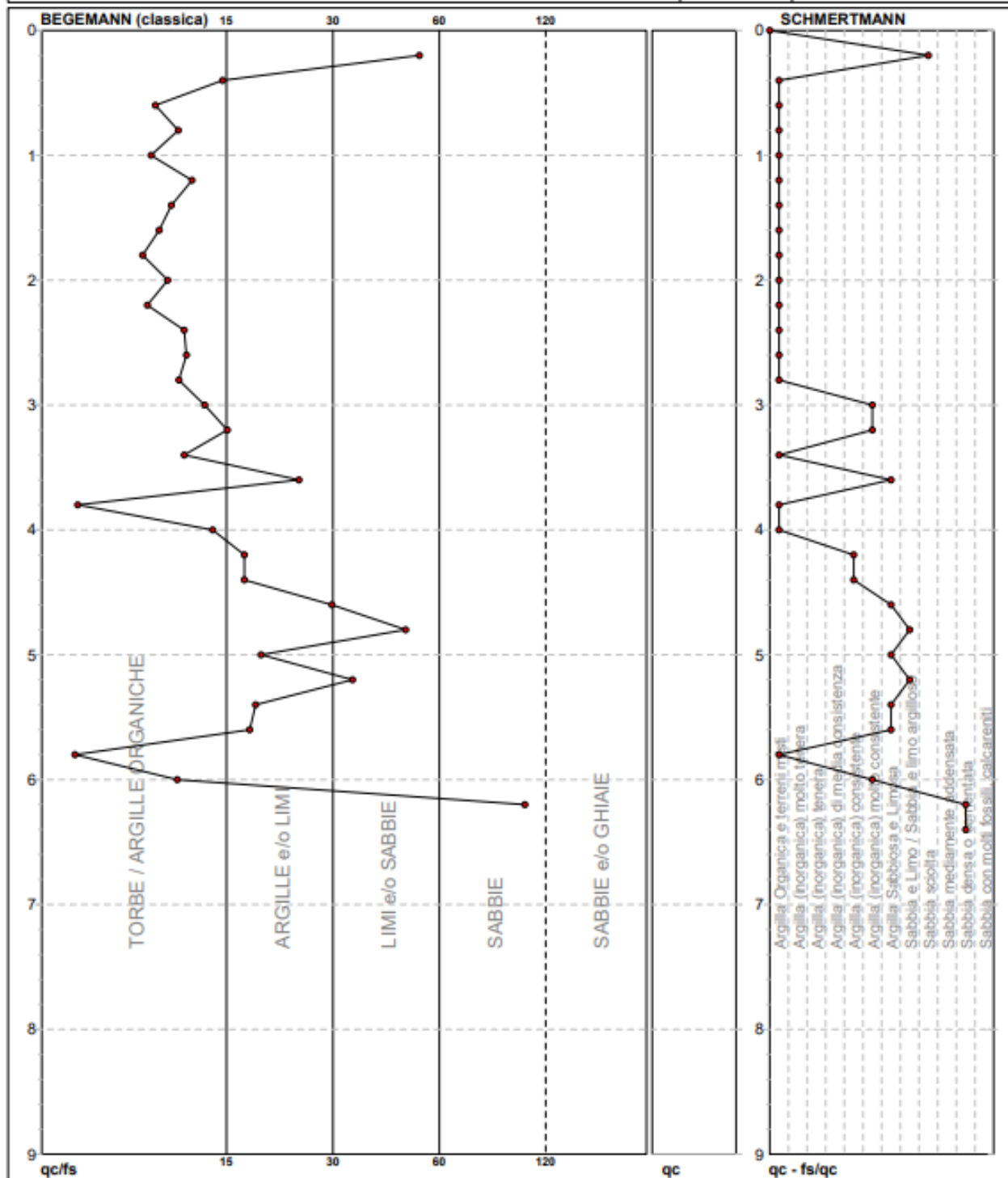
Scala: 1:45

Pagina: 1

Elaborato:

Falda: Non rilevata

Località: Strada vicinale del Malpasso (Bo)





# PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA DIAGRAMMI LITOLOGIA

<b>CPT</b>	<b>2</b>
riferimento	<b>003-2025</b>

Committente: **dott geol Silvio De Nuzzo**

U.M.: **kg/cm<sup>2</sup>**

Data exec.: **18/02/2025**

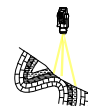
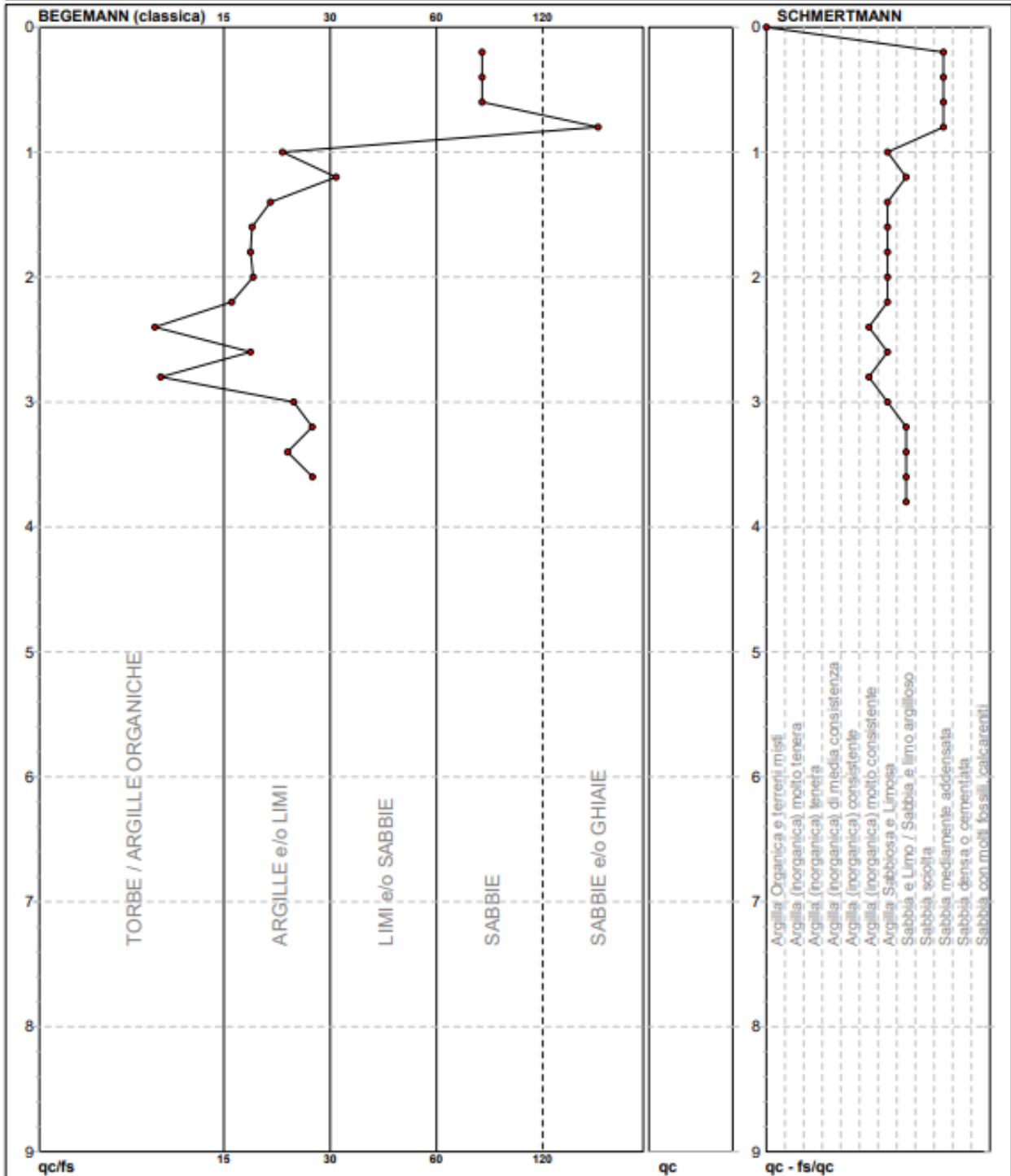
Località: **Strada vicinale del Malpasso (Bo)**

Scala: **1:45**

Pagina: **1**

Elaborato:

Falda: **Non rilevata**



## CARATTERIZZAZIONE FISICA E MECCANICA DEI TERRENI

Sulla scorta delle indagini in sito si procede alla caratterizzazione geomeccanica dei terreni superficiali interessati dall'opera.

E' stata suddivisa la colonna stratigrafica in strati omogenei e per ciascuno sono stati calcolati i parametri geomeccanici principali.

### CPT 1

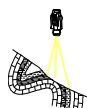
<b>PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA</b>										<b>CPT</b>		<b>1</b>										
										riferimento		<b>003-2025</b>										
<b>PARAMETRI GEOTECNICI</b>																						
Committente: <b>dott geol Silvio De Nuzzo</b>										U.M.: <b>kg/cm<sup>2</sup></b>		Data exec.: <b>16/02/2025</b>										
Località: <b>Strada vicinale del Malpasso (Bo)</b>										Pagina: <b>1</b>		Falda: <b>Non rilevata</b>										
										NATURA COESIVA					NATURA GRANULARE							
Prof. m	qc U.M.	qc/fs	zone	$\gamma'$ t/m <sup>3</sup>	$\sigma'_{vo}$ U.M.	Vs m/s	Cu U.M.	OCR %	Eu50 U.M.	Eu25 U.M.	Mo U.M.	Dr %	$\sigma_{Sc}$ (°)	$\sigma_{Ca}$ (°)	$\sigma_{Ko}$ (°)	$\sigma_{DB}$ (°)	$\sigma_{DM}$ (°)	$\sigma_{Me}$ (°)	F.L.	E'50 U.M.	E'25 U.M.	Mo U.M.
0.20	10.00	50.00	4	1.85	0.04	132	0.50	99.9	85.0	127.5	40.0	--	40	38	35	33	41	26	--	16.7	25.0	30.0
0.40	11.00	15.07	2	1.85	0.07	137	0.54	74.7	91.2	136.8	42.5	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
0.60	10.00	10.00	2	1.85	0.11	132	0.50	41.2	85.0	127.5	40.0	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
0.80	10.00	11.49	2	1.85	0.15	132	0.50	28.8	85.0	127.5	40.0	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
1.00	11.00	9.73	2	1.85	0.19	137	0.54	23.8	91.2	136.8	42.5	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
1.20	10.00	12.50	2	1.85	0.22	132	0.50	17.3	85.0	127.5	40.0	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
1.40	14.00	11.02	2	1.85	0.26	150	0.64	19.3	108.2	162.3	48.2	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
1.60	13.00	10.24	2	1.85	0.30	145	0.60	15.3	102.8	154.2	46.5	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
1.80	16.00	9.25	2	1.85	0.33	157	0.70	15.8	118.3	177.4	51.8	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
2.00	18.00	10.78	2	1.85	0.37	164	0.75	15.2	127.5	191.3	56.2	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
2.20	14.00	9.52	2	1.85	0.41	150	0.64	11.0	108.2	162.3	48.2	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
2.40	23.00	11.92	4	1.85	0.44	180	0.87	14.5	147.5	221.3	69.0	41	36	29	26	25	33	28	38.3	57.5	69.0	
2.60	29.00	12.08	4	1.85	0.48	197	0.98	15.3	167.1	250.7	87.0	47	37	30	27	25	34	29	48.3	72.5	87.0	
2.80	30.00	11.54	4	1.85	0.52	199	1.00	14.3	170.0	255.0	90.0	47	37	30	27	25	34	29	50.0	75.0	90.0	
3.00	27.00	13.50	4	1.85	0.56	192	0.95	12.2	161.1	241.6	81.0	41	36	29	26	24	33	28	45.0	67.5	81.0	
3.20	29.00	15.51	4	1.85	0.59	197	0.98	11.8	167.1	250.7	87.0	42	36	29	26	24	33	29	48.3	72.5	87.0	
3.40	23.00	11.92	4	1.85	0.63	180	0.87	9.4	150.4	225.6	69.0	33	35	28	25	23	31	28	38.3	57.5	69.0	
3.60	24.00	24.00	4	1.85	0.67	183	0.89	9.0	157.9	236.9	72.0	33	35	28	24	23	31	28	40.0	60.0	72.0	
3.80	17.00	6.23	2	1.85	0.70	161	0.72	6.5	181.1	271.7	54.1	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
4.00	18.00	14.17	2	1.85	0.74	164	0.75	6.4	191.9	287.9	56.2	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
4.20	16.00	17.20	2	1.85	0.78	157	0.70	5.5	210.8	316.3	51.8	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
4.40	16.00	17.20	2	1.85	0.81	157	0.70	5.2	223.5	335.3	51.8	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
4.60	39.00	29.32	4	1.85	0.85	220	1.30	10.7	221.0	331.5	117.0	44	36	29	26	24	33	30	65.0	97.5	117.0	
4.80	40.00	45.98	4	1.85	0.89	222	--	--	--	--	--	43	36	29	26	24	33	30	66.7	100.0	120.0	
5.00	80.00	19.05	4	1.85	0.93	289	2.67	23.6	453.3	680.0	240.0	66	39	32	29	27	36	33	133.3	200.0	240.0	
5.20	142.00	33.26	3	1.85	0.96	358	--	--	--	--	--	85	41	35	32	30	39	36	236.7	355.0	426.0	
5.40	156.00	18.42	4	1.85	1.00	371	5.20	49.4	884.0	1326.0	468.0	87	42	35	32	30	39	36	260.0	390.0	468.0	
5.60	83.00	17.77	4	1.85	1.04	293	2.77	21.4	470.3	705.5	249.0	65	39	32	29	27	36	33	138.3	207.5	249.0	
5.80	51.00	6.12	4	1.85	1.07	243	1.70	11.2	289.0	433.5	153.0	47	37	29	26	24	33	31	85.0	127.5	153.0	
6.00	64.00	11.43	4	1.85	1.11	265	2.13	14.2	362.7	544.0	192.0	54	38	30	27	25	34	32	106.7	160.0	192.0	
6.20	254.00	95.13	3	1.85	1.15	446	--	--	--	--	--	100	43	37	34	32	41	39	423.3	635.0	762.0	
6.40	460.00	--	3	1.85	1.18	558	--	--	--	--	--	100	43	39	37	34	43	40	766.7	1150.0	1380.0	

livello 1: da - 0.00 m a - 2.80 m Terreni misti argillosi e limosi poco consistenti  
( $R_{pm} = 11 \text{ kg/cm}^2$ ,  $\gamma = 1.85 \text{ t/m}^3$ ,  $C_u = 0.40 \text{ kg/cm}^2$ ,  $C' = 0.05 \text{ kg/cm}^2$ ,  $\Phi' = 23^\circ$ )

livello 2: da - 2.80 a - 4.40 m argille limose consistenti alternate ad argille limose poco consistenti  
( $R_{pm} = 18 \text{ kg/cm}^2$ ,  $\gamma = 1.90 \text{ t/m}^3$ ,  $C_u = 0,60 \text{ kg/cm}^2$ ,  $C' = 0.085 \text{ kg/cm}^2$ ,  $\Phi' = 23^\circ$ )

livello 3: da - 4.40 m a - 6.00 m argille sabbiose e limose  
( $R_{pm} = 51 \text{ kg/cm}^2$ ,  $\gamma = 1.90 \text{ t/m}^3$ ,  $C_u = 1.53 \text{ kg/cm}^2$ ,  $C' = 0.15 \text{ kg/cm}^2$ ,  $\Phi' = 29^\circ$ )

livello 3: da - 6.00 m a - 6.40 m argille limose e sabbiose molto consistenti (substrato alterato)  
( $R_{pm} = 400 \text{ kg/cm}^2$ ,  $\gamma = 2.00 \text{ t/m}^3$ ,  $C_u = 3.00 \text{ kg/cm}^2$ ,  $C' = 0.35 \text{ kg/cm}^2$ ,  $\Phi' = 30^\circ$ )



**CPT 2**

<b>PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA</b> <b>PARAMETRI GEOTECNICI</b>	<b>CPT</b>	<b>2</b>
	riferimento	<b>003-2025</b>

Committente: <b>dott geol Silvio De Nuzzo</b>	U.M.: <b>kg/cm<sup>2</sup></b>	Data esec.: <b>16/02/2025</b>
Località: <b>Strada vicinale del Malpasso (Bo)</b>	Pagina: <b>1</b>	Falda: <b>Non rilevata</b>

Prof. m	qc U.M.	qc/fs	zone	$\gamma'$ t/m <sup>3</sup>	$\sigma'_{vo}$ U.M.	Vs m/s	NATURA COESIVA					NATURA GRANULARE									
							Cu U.M.	OCR %	Eu50 U.M.	Eu25 U.M.	Mo U.M.	Dr %	$\sigma_{Sc}$ °	$\sigma_{Ca}$ °	$\sigma_{Ko}$ °	$\sigma_{DB}$ °	$\sigma_{DM}$ °	$\sigma_{Me}$ °	F.L.	E'50 U.M.	E'25 U.M.
0.20	50.00	74.63	3	1.85	0.04	242	--	--	--	--	100	43	46	43	40	45	31	83.3	125.0	150.0	
0.40	50.00	74.63	3	1.85	0.07	242	--	--	--	--	100	43	42	40	37	45	31	83.3	125.0	150.0	
0.60	50.00	74.63	3	1.85	0.11	242	--	--	--	--	100	43	40	38	35	43	31	83.3	125.0	150.0	
0.80	50.00	151.52	3	1.85	0.15	242	--	--	--	--	95	43	39	36	34	42	31	83.3	125.0	150.0	
1.00	47.00	22.07	4	1.85	0.19	236	1.57	90.7	266.3	399.5	141.0	87	42	37	35	32	41	31	78.3	117.5	141.0
1.20	45.00	30.61	3	1.85	0.22	232	--	--	--	--	81	41	36	33	31	40	31	75.0	112.5	135.0	
1.40	56.00	20.51	4	1.85	0.26	252	1.87	74.1	317.3	476.0	168.0	85	41	36	34	31	40	31	93.3	140.0	168.0
1.60	72.00	18.32	4	1.85	0.30	277	2.40	85.9	408.0	612.0	216.0	90	42	37	34	32	41	32	120.0	180.0	216.0
1.80	63.00	18.16	4	1.85	0.33	264	2.10	62.7	357.0	535.5	189.0	83	41	36	33	31	40	32	105.0	157.5	189.0
2.00	48.00	18.46	4	1.85	0.37	238	1.60	39.2	272.0	408.0	144.0	71	40	34	31	29	38	31	80.0	120.0	144.0
2.20	96.00	16.19	4	1.85	0.41	309	3.20	82.7	544.0	816.0	288.0	93	42	37	34	32	41	34	160.0	240.0	288.0
2.40	81.00	10.13	4	1.85	0.44	290	2.70	60.0	459.0	688.5	243.0	85	41	36	33	31	40	33	135.0	202.5	243.0
2.60	144.00	18.16	4	1.85	0.48	360	4.80	99.9	816.0	1224.0	432.0	100	43	38	35	33	42	36	240.0	360.0	432.0
2.80	135.00	10.49	4	1.85	0.52	351	4.50	93.6	765.0	1147.5	405.0	98	43	37	35	32	41	35	225.0	337.5	405.0
3.00	107.00	23.62	4	1.85	0.56	322	3.57	64.2	606.3	909.5	321.0	89	42	36	33	31	40	34	178.3	267.5	321.0
3.20	240.00	26.46	4	1.85	0.59	437	8.00	99.9	1360.0	2040.0	720.0	100	43	40	37	34	43	39	400.0	600.0	720.0
3.40	252.00	22.76	4	1.85	0.63	445	8.40	99.9	1428.0	2142.0	756.0	100	43	40	37	34	43	39	420.0	630.0	756.0
3.60	212.00	26.50	4	1.85	0.67	417	7.07	99.9	1201.3	1802.0	636.0	100	43	38	36	33	42	38	353.3	530.0	636.0
3.80	480.00	--	3	1.85	0.70	567	--	--	--	--	--	100	43	42	40	37	45	40	800.0	1200.0	1440.0

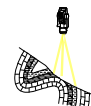
*livello 1: da - 0.00 m a - 2.00 m alternanza di argille tenere e argille consistenti  
(Rpm = 45 kg/cm<sup>2</sup>,  $\gamma = 1.90$  t/m<sup>3</sup>, Cu = 0.95 kg/cm<sup>2</sup>, C' = 0.12 kg/cm<sup>2</sup>,  $\Phi' = 28^\circ$ )*

*livello 2: da - 2.00 m a - 3.00 m argilla e argilla limosa e sabbiosa consistente  
(Rpm = 95 kg/cm<sup>2</sup>,  $\gamma = 1.90$  t/m<sup>3</sup>, Cu = 3.10 kg/cm<sup>2</sup>, C' = 0.8 kg/cm<sup>2</sup>,  $\Phi' = 30^\circ$ )*

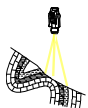
*livello 3: da - 3.00 m a - 3.60 m argille limose e sabbiose molto consistenti (substrato alterato)  
(Rpm = 95 kg/cm<sup>2</sup>,  $\gamma = 1.90$  t/m<sup>3</sup>, Cu = 2.40 kg/cm<sup>2</sup>, C' = 0.35 kg/cm<sup>2</sup>,  $\Phi' = 32^\circ$ )*

*Si definisce quindi di seguito il modello concettuale del terreno costituente il sottosuolo dell'area di studio, delimitando 4 livelli coerentemente con quanto descritto precedentemente.*

*Per ciascun livello individuato si definiscono gli spessori e i parametri geotecnici necessari alle analisi di stabilità necessarie per lo studio del versante.*



	<i>PROFOND.</i>	<i>Cu</i>	<i>C'</i>	$\varphi$	$\gamma$
<i>U.M.</i>	<i>m</i>	<i>Kg/cm2</i>	<i>Kg/cm2</i>	$^{\circ}$	<i>T/m3</i>
<i>Livello superficiale rimaneggiato</i>	<i>0.0 – 2.0/4.4</i>	<i>0.40</i>	<i>0.05</i>	<i>23</i>	<i>1.85</i>
<i>Livello superficiale in posto</i>	<i>2.0/4.4 – 3.0/6.0</i>	<i>1.50</i>	<i>0.19</i>	<i>29</i>	<i>1.90</i>
<i>Substrato alterato</i>	<i>3.0/6.0- 3.6/6.4</i>	<i>3.00</i>	<i>0.38</i>	<i>30</i>	<i>1.95</i>
<i>Substrato sovraconsolidato</i>	<i>&gt;5.0/7.0</i>	<i>&gt;6.5</i>	<i>&gt;1</i>	<i>30</i>	<i>2.10</i>



### DEFINIZIONE

*Per pendio s'intende una porzione di versante naturale il cui profilo originario è stato modificato da interventi artificiali rilevanti rispetto alla stabilità. Per frana s'intende una situazione di instabilità che interessa versanti naturali e coinvolgono volumi considerevoli di terreno.*

### INTRODUZIONE ALL'ANALISI DI STABILITÀ

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

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

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

*(b) In alcuni casi vengono soddisfatte solo in parte le equazioni di equilibrio.*



## **METODO EQUILIBRIO LIMITE (LEM)**

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

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

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

## **METODO DEI CONCI**

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

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

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

*mentre le equazioni a disposizione sono:*

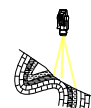
*Equazioni di equilibrio dei momenti  $n$*

*Equazioni di equilibrio alla traslazione verticale  $n$*

*Equazioni di equilibrio alla traslazione orizzontale  $n$*

*Equazioni relative al criterio di rottura  $n$*

*Totale numero di equazioni  $4n$*



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

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

*Il grado di indeterminazione si riduce ulteriormente a (n-2) in quando si fa l'assunzione che*

*Ni sia applicato nel punto medio della striscia, ciò equivale ad ipotizzare che le tensioni normali totali siano uniformemente distribuite.*

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

### **METODO DI JANBU (1967)**

*Janbu estese il metodo di Bishop a superfici di scorrimento di forma qualsiasi.*

*Quando vengono trattate superfici di scorrimento di forma qualsiasi il braccio delle forze cambia (nel caso delle superfici circolari resta costante e pari al raggio) a tal motivo risulta più conveniente valutare l'equazione del momento rispetto allo spigolo di ogni blocco.*

$$F = \frac{\sum \{c_i \times b + (W_i - u_i \times b_i + \Delta X_i) \times \tan \varphi_i\} \times \frac{\sec^2 \alpha_i}{1 + \tan \alpha_i \times \tan \varphi_i / F}}{\sum W_i \times \tan \alpha_i}$$

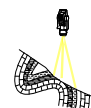
*Assumendo  $\Delta X_i = 0$  si ottiene il metodo ordinario.*

*Janbu propose inoltre un metodo per la correzione del fattore di sicurezza ottenuto con il metodo ordinario secondo la seguente:*

$$F_{\text{corretto}} = f_0 F$$

*dove  $f_0$  è riportato in grafici funzione di geometria e parametri geotecnici.*

*Tale correzione è molto attendibile per pendii poco inclinati.*



## VALUTAZIONE DELL'AZIONE SISMICA

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

*Ai fini della valutazione dell'azione sismica, nelle verifiche agli stati limite ultimi, vengono considerate le seguenti forze statiche equivalenti:*

$$F_H = K_o \cdot W$$

$$F_V = K_v \cdot W$$

*Essendo:*

*F<sub>H</sub> e F<sub>V</sub> rispettivamente la componente orizzontale e verticale della forza d'inerzia applicata al baricentro del concio;*

*W: peso concio*

*K<sub>o</sub>: Coefficiente sismico orizzontale*

*K<sub>v</sub>: Coefficiente sismico verticale.*

### *Calcolo coefficienti sismici*

*Le NTC 2008 calcolano i coefficienti K<sub>o</sub> e K<sub>v</sub> in dipendenza di vari fattori:*

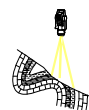
$$K_o = \beta s \times (a_{max}/g)$$

$$K_v = \pm 0,5 \times K_o$$

*Con  $\beta$ s: coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito*

*a<sub>max</sub>: accelerazione orizzontale massima attesa al sito;*

*g accelerazione di gravità*



*Tutti i fattori presenti nelle precedenti formule dipendono dall'accelerazione massima attesa sul sito di riferimento rigido e dalle caratteristiche geomorfologiche del territorio.*

$$a_{max} = S S S T a_g$$

*SS (effetto di amplificazione stratigrafica):  $0.90 \leq S_s \leq 1.80$ ; è funzione di  $F_0$  (Fattore massimo di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale) e della categoria di suolo (A, B, C, D, E). ST (effetto di amplificazione topografica).*

*Il valore di ST varia con il variare delle quattro categorie topografiche introdotte:*

*T1(ST = 1.0) T2(ST = 1.20) T3(ST = 1.20) T4(ST = 1.40).*

*Questi valori sono calcolati come funzione del punto in cui si trova il sito oggetto di analisi. Il parametro di entrata per il calcolo è il tempo di ritorno dell'evento sismico che è valutato come segue:*

$$TR = -VR / \ln(1 - PVR)$$

*Con VR vita di riferimento della costruzione e PVR probabilità di superamento, nella vita di riferimento, associata allo stato limite considerato. La vita di riferimento dipende dalla vita nominale della costruzione e dalla classe d'uso della costruzione (in linea con quanto previsto al punto 2.4.3 delle NTC). In ogni caso VR dovrà essere maggiore o uguale a 35 anni.*

### **RICERCA DELLA SUPERFICIE DI SCORRIMENTO CRITICA**

*In presenza di mezzi omogenei non si hanno a disposizione metodi per individuare la superficie di scorrimento critica ed occorre esaminarne un numero elevato di potenziali superfici. Nel caso vengano ipotizzate superfici di forma circolare, la ricerca diventa più semplice, in quanto dopo aver posizionato una maglia dei centri costituita da m righe e n colonne saranno esaminate tutte le superfici aventi per centro il generico nodo della maglia m x n e raggio variabile in un determinato range di valori tale da esaminare superfici cinematicamente ammissibili.*



## VERIFICHE DI STABILITA' DEL VERSANTE - CALCOLO

*Le verifiche, nelle due condizioni temporali, pre-frana e post-frana, (attuale), sono state eseguite rispettivamente mediante back-analysis in condizioni drenate / completa saturazione del pendio e considerando l'attuale pendio in condizioni di completa e parziale saturazione.*

*I parametri utilizzati derivano in parte dal modello concettuale sopradescritto confermato dalle verifiche in back-analysis.*

*La sezione di riferimento scelta, tra quelle ricavate dal rilievo topografico, per la stima dei parametri in condizioni pre-frana, è la sezione 2, in quanto rappresenta abbastanza fedelmente la geometria del pendio originario.*

*Le condizioni imposte nel calcolo sono quelle che riproducono l'assetto geomeccanico del terreno al momento immediatamente precedente al movimento gravitativo, in tali condizioni i parametri geomeccanici di calcolo sono i seguenti:*

*$F_s=1,00$  (condizione di equilibrio limite)*

*$\varphi'$  di picco (angolo di attrito efficace)  $23^\circ$  derivato da modello concettuale geotecnico del sito*

*il parametro confermato in back-analysis è:*

*$c'$  (coesione efficace minima) =  $0.05 \text{ kg/cm}^2$*



**SEZIONE – 2 PRE-FRANA – BACK ANALYSIS**  
**CONDIZIONI PRE FRANA (F=1) - SATURAZIONE TOTALE DEL PENDIO**

**Analisi di stabilità dei pendii con: JANBU (1956)**

<b>Normativa</b>	<b>NTC 2018</b>
Numero di strati	3,0
Numero dei conci	10,0
Grado di sicurezza ritenuto accettabile	1,3
Coefficiente parziale resistenza	1,0
Analisi	Condizione drenata
Superficie di forma circolare	

**Maglia dei Centri**

Ascissa vertice sinistro inferiore xi	16,13 m
Ordinata vertice sinistro inferiore yi	227,91 m
Ascissa vertice destro superiore xs	28,07 m
Ordinata vertice destro superiore ys	233,69 m
Passo di ricerca	10,0
Numero di celle lungo x	10,0
Numero di celle lungo y	10,0

Coefficiente azione sismica orizzontale	0,1
Coefficiente azione sismica verticale	0,05

**Vertici profilo**

N	X m	y m
1	0,0	212,32
2	7,36	214,41
3	11,37	215,72
4	14,81	216,54
5	18,03	217,52
6	20,71	218,41
7	23,31	219,44
8	24,0	220,0
9	28,59	224,47
10	30,7	224,57
11	34,19	224,65
12	35,31	224,66
13	37,0	226,0



**Piezometrica Nr..1**

Nr.	X (m)	y (m)
1	0,0	211,04
2	9,64	213,71
3	15,31	216,41
4	23,43	219,33
5	29,0	224,32
6	32,68	224,49
7	33,43	224,37
8	35,32	224,56
9	37,0	225,7

**Vertici strato .....1**

N	X (m)	y (m)
1	0,0	208,0
2	11,84	212,43
3	19,56	214,73
4	26,98	220,6
5	32,06	224,56
6	35,31	224,66
7	37,0	226,0

**Vertici strato .....2**

N	X (m)	y (m)
1	0,0	205,0
2	11,37	208,0
3	24,55	214,62
4	35,31	223,0
5	37,0	225,0

**Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno**


---



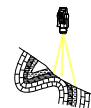
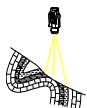
---

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

---



---



## Stratigrafia

*c*: coesione; *cu*: coesione non drenata; *Fi*: Angolo di attrito; *G*: Peso Specifico; *Gs*: Peso Specifico Saturo; *K*: Modulo di Winkler

Strato	<i>c</i> (kN/m <sup>2</sup> )	<i>cu</i> (kN/m <sup>2</sup> )	<i>Fi</i> (°)	<i>G</i> (kN/m <sup>3</sup> )	<i>Gs</i> (kN/m <sup>3</sup> )	<i>K</i> (Kg/cm <sup>3</sup> )	Litologia
1	5		23	18	18,5	0,00	argilla limosa
2	38		29	18,5	19,5	0,00	argilla sovracosolidat a fessurata
3	100		30	20	21	0,00	marna

## Risultati analisi pendio

---

---

<i>Fs</i> minimo individuato	0,99
Ascissa centro superficie	21,5 m
Ordinata centro superficie	229,93 m
Raggio superficie	10,69 m

---

---

**(ID=73) *x*c = 21,50 *y*c = 229,93 *R*c = 10,692 *F*s=0,991**

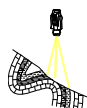
---

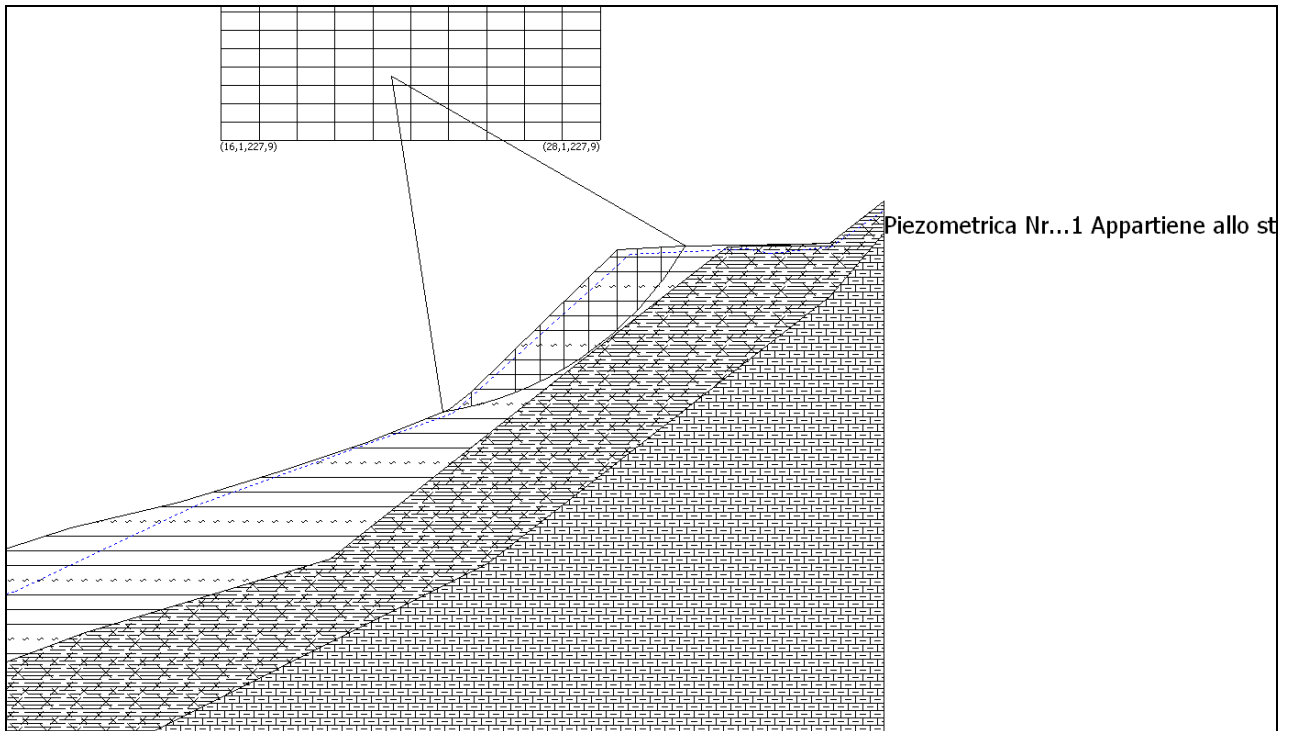
---

Nr.	<i>B</i> m	Alfa (°)	<i>Li</i> m	<i>Wi</i> (kN)	<i>Kh</i> • <i>Wi</i> (kN)	<i>Kv</i> • <i>Wi</i> (kN)	<i>c</i> (kN/m <sup>2</sup> )	<i>Fi</i> (°)	<i>Ui</i> (kN)	<i>N</i> ' <i>i</i> (kN)	<i>Ti</i> (kN)
1	0,22	9,2	0,22	0,1	0,01	0,0	5,0	23,0	0,0	-0,1	1,3
2	0,69	11,6	0,7	3,28	0,33	0,16	5,0	23,0	0,0	2,2	5,5
3	1,39	17,4	1,46	23,84	2,38	1,19	5,0	23,0	0,0	19,1	19,5
4	0,77	23,6	0,84	22,03	2,2	1,1	5,0	23,0	0,0	17,8	15,5
5	0,77	28,2	0,87	27,19	2,72	1,36	5,0	23,0	0,0	22,0	18,8
6	0,77	32,9	0,91	31,25	3,13	1,56	5,0	23,0	0,0	25,3	22,0
7	0,9	38,5	1,15	40,38	4,04	2,02	5,0	23,0	0,0	32,7	30,4
8	0,63	43,9	0,87	25,61	2,56	1,28	5,0	23,0	0,0	20,4	21,8
9	0,77	49,4	1,18	21,56	2,16	1,08	5,0	23,0	0,0	15,5	23,2
10	0,77	56,2	1,38	8,21	0,82	0,41	5,0	23,0	0,0	1,3	16,2

---

---





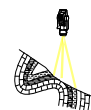
## SEZIONE – 2 SITUAZIONE ATTUALE COMPLETA SATURAZIONE DEL PENDIO

### Analisi di stabilità dei pendii con: JANBU (1956)

Normativa	NTC 2018
Numero di strati	3,0
Numero dei conci	10,0
Grado di sicurezza ritenuto accettabile	1,3
Coefficiente parziale resistenza	1,0
Analisi	Condizione drenata
Superficie di forma circolare	

### Maglia dei Centri

Ascissa vertice sinistro inferiore xi	16,13 m
Ordinata vertice sinistro inferiore yi	227,91 m
Ascissa vertice destro superiore xs	28,07 m
Ordinata vertice destro superiore ys	233,69 m
Passo di ricerca	10,0
Numero di celle lungo x	10,0
Numero di celle lungo y	10,0
Coefficiente azione sismica orizzontale	0,1
Coefficiente azione sismica verticale	0,05



**Vertici profilo**

N	X m	y m
1	0,0	212,32
2	7,36	214,41
3	11,37	215,72
4	14,81	216,54
5	18,03	217,52
6	20,99	217,92
7	21,7	217,96
8	22,73	218,63
9	29,54	224,2
10	30,7	224,57
11	34,19	224,65
12	35,31	224,66
13	37,0	226,0

**Piezometrica Nr..1**

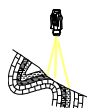
Nr.	X (m)	y (m)
1	0,0	211,04
2	9,64	213,71
3	16,38	216,07
4	21,83	217,84
5	30,33	224,44
6	32,68	224,49
7	33,43	224,37
8	35,32	224,56
9	37,0	225,7

**Vertici strato .....1**

N	X (m)	y (m)
1	0,0	208,0
2	11,84	212,43
3	19,56	214,73
4	26,98	220,6
5	32,06	224,56
6	35,31	224,66
7	37,0	226,0

**Vertici strato .....2**

N	X (m)	y (m)
1	0,0	205,0
2	11,37	208,0
3	24,55	214,62
4	35,31	223,0
5	37,0	225,0



## Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

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

## Stratigrafia

*c*: coesione; *cu*: coesione non drenata; *Fi*: Angolo di attrito; *G*: Peso Specifico; *Gs*: Peso Specifico Saturo; *K*: Modulo di Winkler

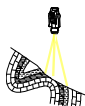
Strato	<i>c</i> (kN/m <sup>2</sup> )	<i>cu</i> (kN/m <sup>2</sup> )	<i>Fi</i> (°)	<i>G</i> (kN/m <sup>3</sup> )	<i>Gs</i> (kN/m <sup>3</sup> )	<i>K</i> (Kg/cm <sup>3</sup> )	Litologia
1	5		23	18	18,5	0,00	argilla limosa
2	38		29	18,5	19,5	0,00	argilla sovracosolidata a fessurata
3	100		30	20	21	0,00	marna

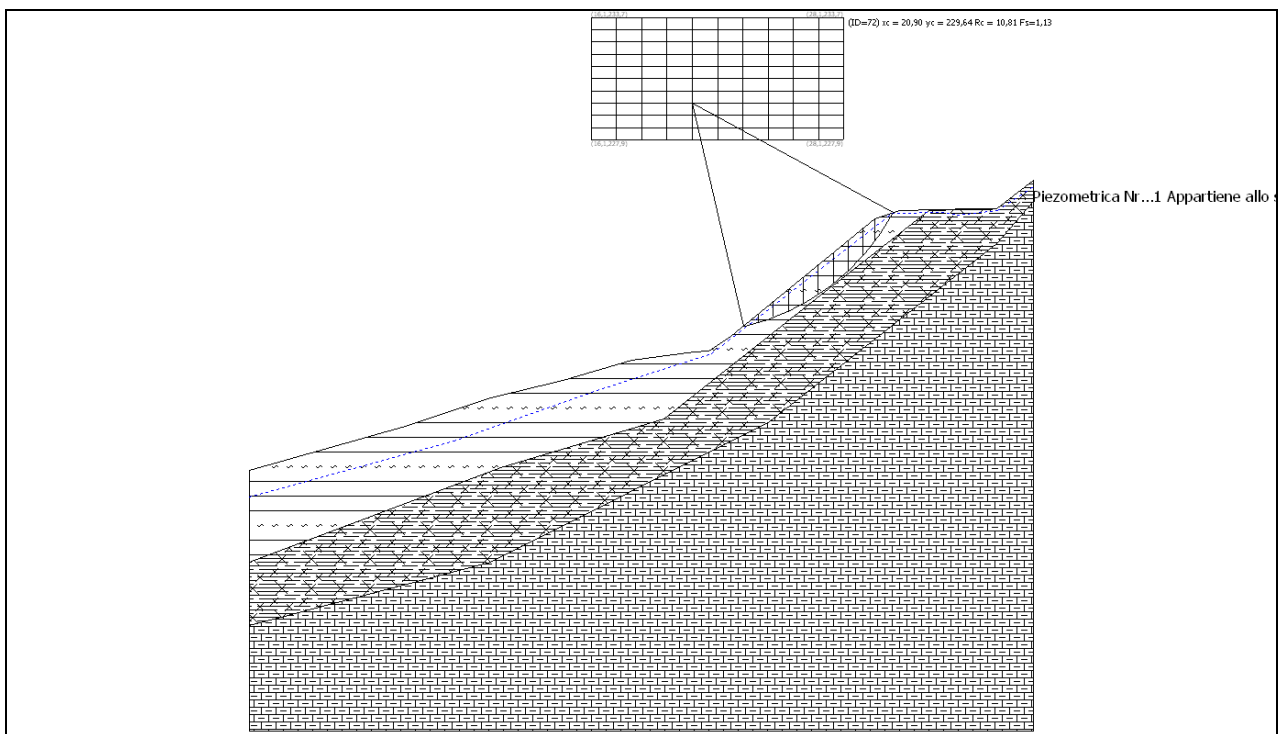
## Risultati analisi pendio

<i>Fs</i> minimo individuato	1,13
Ascissa centro superficie	20,9 m
Ordinata centro superficie	229,64 m
Raggio superficie	10,81 m

**(ID=72) *x*c = 20,903 *y*c = 229,641 *R*c = 10,807 *F*s=1,134**

Nr.	<i>B</i> m	Alfa (°)	<i>Li</i> m	<i>Wi</i> (kN)	<i>Kh</i> • <i>Wi</i> (kN)	<i>Kv</i> • <i>Wi</i> (kN)	<i>c</i> (kN/m <sup>2</sup> )	<i>Fi</i> (°)	<i>Ui</i> (kN)	<i>N</i> ' <i>i</i> (kN)	<i>Ti</i> (kN)
1	0,71	14,8	0,73	2,58	0,26	0,13	5,0	23,0	0,0	1,5	4,7
2	0,71	18,7	0,75	7,24	0,72	0,36	5,0	23,0	0,0	5,5	6,8
3	0,71	22,8	0,77	11,2	1,12	0,56	5,0	23,0	0,0	8,8	8,7
4	0,71	26,9	0,79	14,41	1,44	0,72	5,0	23,0	0,0	11,4	10,5
5	0,71	31,2	0,83	16,78	1,68	0,84	5,0	23,0	0,0	13,3	12,1
6	0,71	35,7	0,87	18,2	1,82	0,91	5,0	23,0	0,0	14,4	13,7
7	0,71	40,5	0,93	18,51	1,85	0,93	5,0	23,0	0,0	14,6	15,1
8	0,71	45,7	1,01	17,47	1,75	0,87	5,0	23,0	0,0	13,4	16,2
9	0,56	50,7	0,89	11,98	1,2	0,6	5,0	23,0	0,0	8,5	13,5
10	0,85	57,2	1,58	8,9	0,89	0,45	5,0	23,0	0,0	2,1	17,1





## SEZIONE – 2 SITUAZIONE ATTUALE SATURAZIONE MINIMA DEL PENDIO

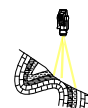
### Analisi di stabilità dei pendii con: JANBU (1956)

Normativa	NTC 2018
Numero di strati	3,0
Numero dei conci	10,0
Grado di sicurezza ritenuto accettabile	1,3
Coefficiente parziale resistenza	1,0
Analisi	Condizione drenata
Superficie di forma circolare	

### Maglia dei Centri

Ascissa vertice sinistro inferiore xi	16,13 m
Ordinata vertice sinistro inferiore yi	227,91 m
Ascissa vertice destro superiore xs	28,07 m
Ordinata vertice destro superiore ys	233,69 m
Passo di ricerca	10,0
Numero di celle lungo x	10,0
Numero di celle lungo y	10,0

Coefficiente azione sismica orizzontale	0,1
Coefficiente azione sismica verticale	0,05



**Vertici profilo**

N	X m	y m
1	0,0	212,32
2	7,36	214,41
3	11,37	215,72
4	14,81	216,54
5	18,03	217,52
6	20,99	217,92
7	21,7	217,96
8	22,73	218,63
9	29,54	224,2
10	30,7	224,57
11	34,19	224,65
12	35,31	224,66
13	37,0	226,0

**Piezometrica Nr..1**

Nr.	X (m)	y (m)
1	0,0	211,04
2	9,64	213,71
3	16,44	215,39
4	22,64	217,51
5	31,65	224,32
6	32,68	224,49
7	33,43	224,37
8	35,32	224,56
9	37,0	225,7

**Vertici strato .....1**

N	X (m)	y (m)
1	0,0	208,0
2	11,84	212,43
3	19,56	214,73
4	26,98	220,6
5	32,06	224,56
6	35,31	224,66
7	37,0	226,0

**Vertici strato .....2**

N	X (m)	y (m)
1	0,0	205,0
2	11,37	208,0
3	24,55	214,62
4	35,31	223,0
5	37,0	225,0



### Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

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

### Stratigrafia

*c*: coesione; *cu*: coesione non drenata; *Fi*: Angolo di attrito; *G*: Peso Specifico; *Gs*: Peso Specifico Saturo; *K*: Modulo di Winkler

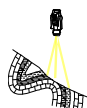
Strato	<i>c</i> (kN/m <sup>2</sup> )	<i>cu</i> (kN/m <sup>2</sup> )	<i>Fi</i> (°)	<i>G</i> (kN/m <sup>3</sup> )	<i>Gs</i> (kN/m <sup>3</sup> )	<i>K</i> (Kg/cm <sup>3</sup> )	Litologia
1	5		23	18	18,5	0,00	argilla limosa
2	38		29	18,5	19,5	0,00	argilla sovracosolidata a fessurata
3	100		30	20	21	0,00	marna

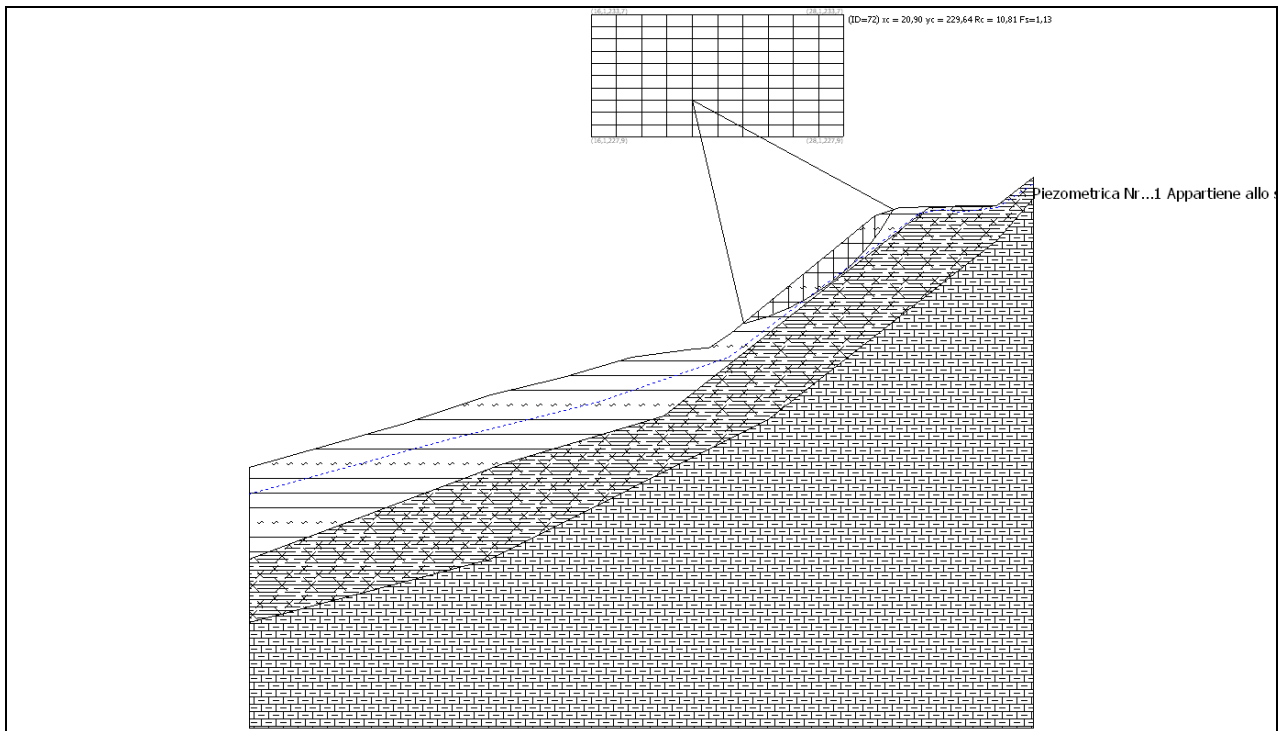
### Risultati analisi pendio

<i>Fs</i> minimo individuato	1,13
Ascissa centro superficie	20,9 m
Ordinata centro superficie	229,64 m
Raggio superficie	10,81 m

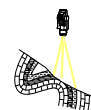
**(ID=72)  $x_c = 20,903$   $y_c = 229,641$   $R_c = 10,807$   $F_s = 1,134$**

Nr.	<i>B</i> m	Alfa (°)	<i>Li</i> m	<i>Wi</i> (kN)	<i>Kh</i> • <i>Wi</i> (kN)	<i>Kv</i> • <i>Wi</i> (kN)	<i>c</i> (kN/m <sup>2</sup> )	<i>Fi</i> (°)	<i>Ui</i> (kN)	<i>N'i</i> (kN)	<i>Ti</i> (kN)
1	0,71	14,8	0,73	2,58	0,26	0,13	5,0	23,0	0,0	1,5	4,7
2	0,71	18,7	0,75	7,24	0,72	0,36	5,0	23,0	0,0	5,5	6,8
3	0,71	22,8	0,77	11,2	1,12	0,56	5,0	23,0	0,0	8,8	8,7
4	0,71	26,9	0,79	14,41	1,44	0,72	5,0	23,0	0,0	11,4	10,5
5	0,71	31,2	0,83	16,78	1,68	0,84	5,0	23,0	0,0	13,3	12,1
6	0,71	35,7	0,87	18,2	1,82	0,91	5,0	23,0	0,0	14,4	13,7
7	0,71	40,5	0,93	18,51	1,85	0,93	5,0	23,0	0,0	14,6	15,1
8	0,71	45,7	1,01	17,47	1,75	0,87	5,0	23,0	0,0	13,4	16,2
9	0,56	50,7	0,89	11,98	1,2	0,6	5,0	23,0	0,0	8,5	13,5
10	0,85	57,2	1,58	8,9	0,89	0,45	5,0	23,0	0,0	2,1	17,1





*Le verifiche mettono in luce che nelle condizioni attuali la saturazione del pendio poco incide sulle sue condizioni di stabilità che evidenziano un coefficiente di sicurezza di poco superiore all'unità. L'elevata pendenza è il fattore che determina tale risultato numerico, anche in condizioni non sismiche, lungo un pendio il cui ciglio evidenzia fessurazioni di trazione tipiche di un distacco in corona.*



## **IPOTESI E PROPOSTE PROGETTUALI**

*I risultati delle verifiche precedentemente descritte portano alla conclusione che per ottenere la stabilità del pendio attuale nelle condizioni più severe e per il lungo periodo occorre necessariamente mantenere nel tempo la condizione drenata e diminuire, il più possibile l'angolo della scarpata.*

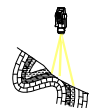
*In condizioni temporanee occorrerà comunque proteggere il pendio da infiltrazione efficace e garantire il rapido deflusso delle acque meteoriche a monte e più in generale su tutta l'area coinvolta dal movimento tramite una rete di canalette superficiali.*

*Per la successiva fase di stabilizzazione definitiva del pendio, occorrerà provvedere alla realizzazione di un sostegno della scarpata franata eliminando il materiale che si è mobilizzato, (oramai privo di qualsiasi caratteristica geomeccanica resistente), sostituendolo con un ammorsamento di materiale arido, ricostituendo la sede stradale e riprofilando la scarpata con l'utilizzo, ad esempio, di terre rinforzate o di una gabbionata che si appoggino ad una quota in cui sono presenti i materiali del substrato, (strato 3 delle verifiche).*

*In alternativa è ipotizzabile una struttura di sostegno al piede la cui fondazione dovrà intestarsi sempre sul substrato resistente e la cui elevazione permetta di abbassare la pendenza del tratto di monte a partire dal ciglio della ricostituita sede stradale e sua banchina laterale.*

*L'utilizzo di una gabbionata è preferibile in quanto intrinsecamente drenante, condizione già più volte giudicata imprescindibile per la stabilità della pendice.*

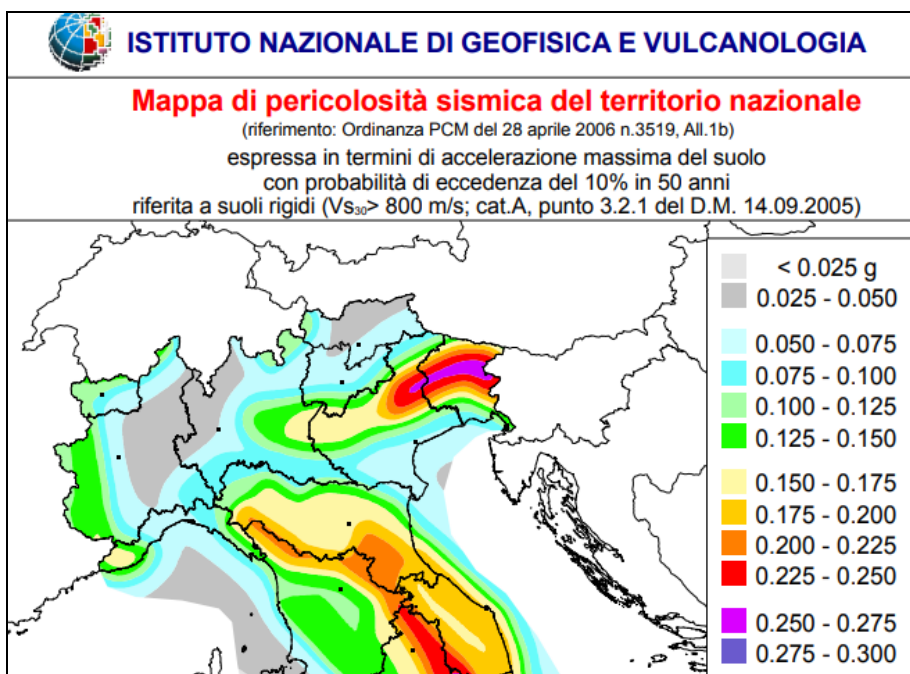
*Qualsiasi siano le soluzioni adottate, queste non possono prescindere dall'adozione di una regimazione corretta delle acque sia superficiali che profonde.*



## VERIFICHE IN CONDIZIONI SISMICHE

*In condizioni sismiche, in assenza di prescrizioni speciali, il rispetto degli stati limite ultimi e di esercizio si effettua considerando lo stato limite di salvaguardia della vita (SLU diventa SLV) e stato limite di danno (SLE diventa SLD).*

*La classificazione sismica nazionale prevede la suddivisione del territorio nazionale in quattro zone sismiche, l'area di studio si trova in zona sismica 2 (sismicità media) cui corrisponde un valore massimo di accelerazione di picco orizzontale del suolo ( $a_g$ ) con probabilità di superamento del 10% in 50 anni di  $a_g = 0.175$ , (vedi la "Mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale" sottostante).*



*La carta sottostante, redatta dal Dipartimento della Protezione Civile in data 30 Aprile 2021, riporta per i comuni del Nord Italia le diverse Zone sismiche e i diversi livelli di pericolosità sismica; questi sono suddivisi in 4 classi e in 11 sottoclassi.*

*Nel caso dell'area in esame (l'ubicazione è stata segnata con un cerchio rosso nell'immagine sottostante) viene indicata come zona sismica avente livello di pericolosità 3: area avente bassa sismicità dove possono verificarsi molto raramente forti terremoti.*





Presidenza del Consiglio dei Ministri

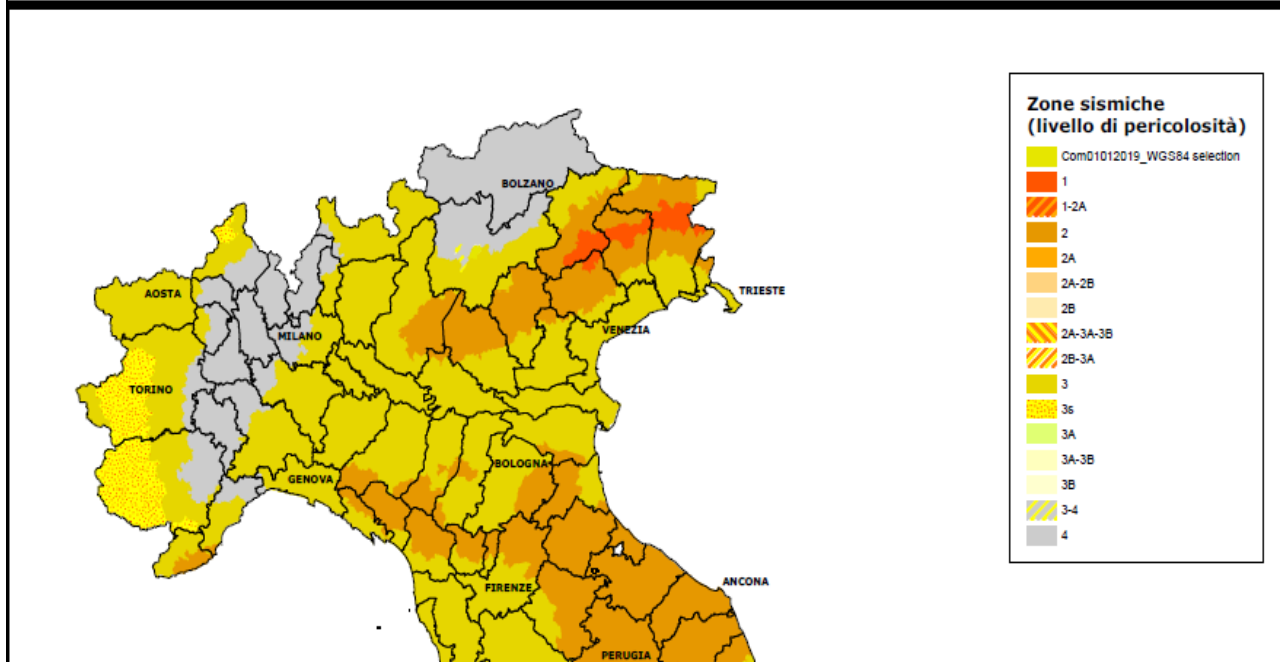
## Dipartimento della protezione civile

UFFICIO III – Attività Tecnico-Scientifiche per la previsione e la prevenzione dei Rischi - Servizio Rischio Sismico

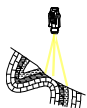
### Classificazione sismica al 30 aprile 2021

Recepimento da parte delle Regioni e delle Province autonome dell'OPCM 20 marzo 2003, n. 3274 e dell'OPCM 28 aprile 2006, n. 3519

Atti di recepimento al 31 gennaio 2020. Abruzzo: DGR 29/3/03, n. 438. Basilicata: DCR 19/11/03, n. 731. Calabria: DGR 10/2/04, n. 47. Campania: DGR 7/11/02, n. 5447. Emilia Romagna: DGR 23/07/18, n. 1164. Friuli Venezia Giulia: DGR 6/5/10, n. 845. Lazio: DGR 22/5/09, n. 387. Liguria: DGR 17/03/17, n. 216. Lombardia: DGR 11/7/14, n. X/2129. Marche: DGR 29/7/03, n. 1046. Molise: DGR 20/9/06, n. 194. Piemonte: DGR 15 febbraio 2019, n. 17-8404. Puglia: DGR 2/3/04, n. 153. Sardegna: DGR 30/3/04, n. 15/31. Sicilia: DGR 19/12/03, n. 408. Toscana: DGR 26/5/14, n. 421. Trentino Alto Adige-Bolzano, DGP 6/11/06, n. 4047; Trento, DGP 27/12/12, n. 2919/S049/2020-21.3. Umbria: DGR 18/9/12, n. 1111. Veneto: DGR n. 244 del 09 marzo 2021. Valle d'Aosta: DGR 4/10/13 n. 1603



*Dalla campagna di indagini sismiche, costituita da n°1 prova sismica di tipo MASW ed una prova di sismica passiva HVSR, sono stati ottenuti i seguenti risultati:*



Studio tecnico di Geologia e Topografia



## Indagine sismica mediante HVSR

### Registrazione MALPASSO STRADA VICINALE 47

Instrument: TZB-0127/01-20 Max. H/V at 2.16 ± 19.56 Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).

Data format: 32 bit

Full scale [mV]: 179

Start recording: 06/02/2025 11:35:57 End recording: 06/02/2025 11:55:57

Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

GPS data not available

2.16 > 0.50OK2587.5 > 2000KExceeded 0 out of 105 timesOK

Trace length: 0h20'00". Analysis performed on the entire trace.

Sampling rate: 128 Hz

Window size: 20 sNONO2.11 > 2OK|9.07301| < 0.05NO19.56368 < 0.10781NO0.1549 < 1.58OK

Smoothing type: Triangular window

Smoothing: 10%

### RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE

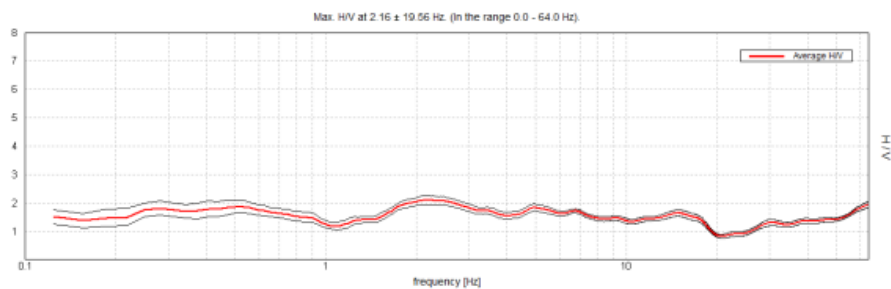


Figura 3 – Curva H/V

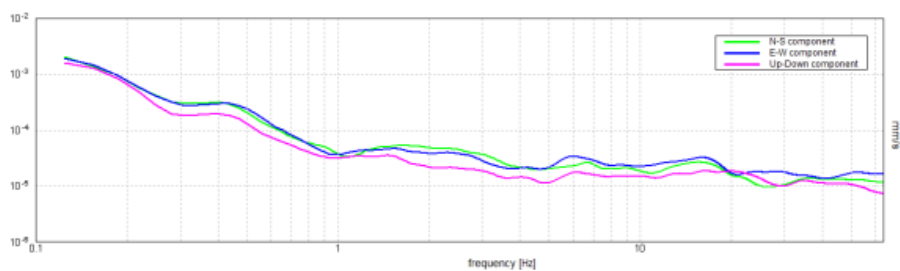
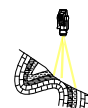
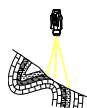


Figura 4 – Andamento delle componenti velocimetriche della prova HVSR1



Si riportano in figura 6 e 7 i risultati ottenuti dall'indagine sismica HVSR.

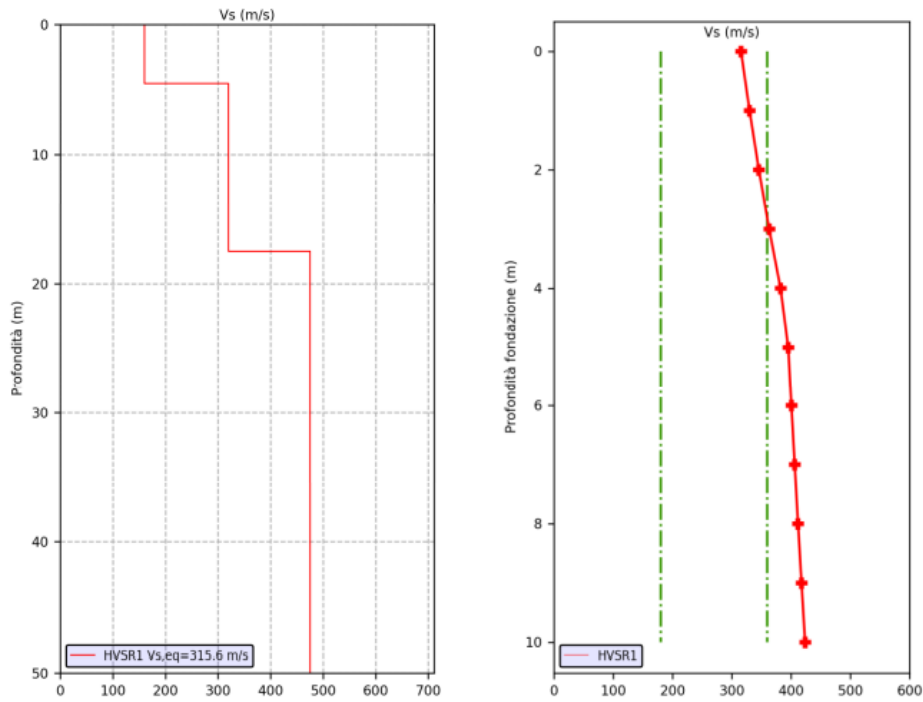


Figura 6 - A sinistra i modelli Vs- prof della prova HVSR. A destra il modello Vsh-prof di posa da p.c. della stessa.

H/V SPERIMENTALE vs. H/V SINTETICO

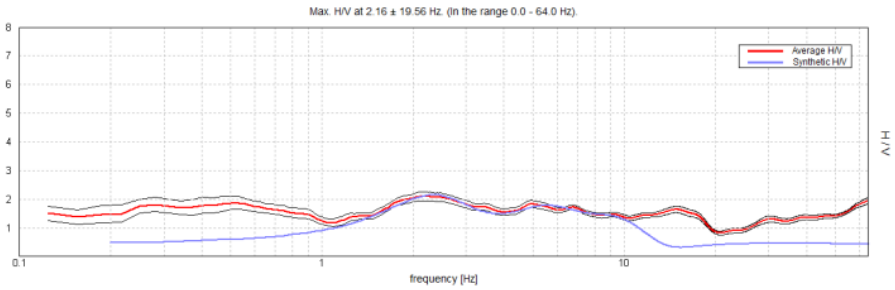
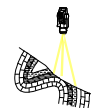
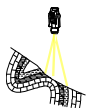


Figura 5 – Curva H/V con sovrapposta curva sintetica

Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
4.50	4.50	160	0.42
17.50	13.00	320	0.42
52.50	35.00	475	0.42
inf.	inf.	685	0.42

$Vs_{eq}(0.0-30.0) = 316 \text{ m/s}$



Prova	Letto (m da p.c.)	spessore (m)	Vs (m/s)
HVSR1	4.5	4.5	160.0
	17.5	13.0	320.0
	52.5	35.0	475.0
	inf.	inf.	685.0

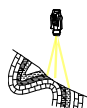
Figura 7 – Tabella modello delle velocità nel sottosuolo della prova HVSR.

L'indagine HVSR, è stata eseguita per ricostruire il profilo verticale di velocità delle onde S nel sito in esame, presenta il suo massimo valore H/V a circa 2.2 Hz. La Vs,eq relativa alla quota del piano campagna risulta pari a circa 316 m/s

Per la definizione dell'azione sismica di progetto si può far riferimento ad un approccio semplificato qualora le condizioni stratigrafiche e le proprietà dei terreni siano chiaramente riconducibile alle categorie definite nella Tab.3.2.II. L'approccio semplificato si basa sull'individuazione di categorie di sottosuolo di riferimento; in funzione dei valori della velocità di propagazione delle onde di taglio VS.

Tab. 3.2.II – Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato.

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
A	Annessi 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.



La velocità delle onde di taglio VS viene definita dall'espressione:

$$V_{S,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{S,i}}}$$

Dove:

$h_i$  spessore dell' $i$ -esimo strato;

$V_s$  velocità delle onde di taglio nell' $i$ -esimo strato;

$N$  numero degli strati;

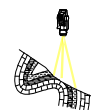
$H$  profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da VS non inferiore a 800 m/s.

La profondità del substrato è riferita al piano di posa delle fondazioni (es per fondazioni superficiali  $H$  è riferita al piano di imposta delle stesse, mentre per i pali è riferita alla testa del palo).

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

Al fine di effettuare l'analisi dell'azione sismica di progetto, come descritto precedentemente, è necessario conoscere la velocità locale di propagazione delle onde di taglio  $V_s$ , per questo si è fatto riferimento a una prova sismica Masw e una prova HVSR eseguite nell'area di studio appositamente per la presente relazione.

Analizzando i risultati delle prove sismiche effettuate nell'area di studio e in aree adiacenti si deduce che i terreni di fondazione appartengono, alla categoria C.



Dalla tabella seguente si osserva che ad ogni tipo di costruzione viene attribuito un “valore minimo di VN”. Per vita nominale di progetto, VN, si intende il numero di anni nel quale è previsto che l’opera, purché soggetta alla necessaria manutenzione, mantenga specifici livelli prestazionali.

**Tab. 2.4.I – Valori minimi della Vita nominale  $V_N$  di progetto per i diversi tipi di costruzioni**

TIPI DI COSTRUZIONI		Valori minimi di $V_N$ (anni)
1	Costruzioni temporanee e provvisorie	10
2	Costruzioni con livelli di prestazioni ordinari	50
3	Costruzioni con livelli di prestazioni elevati	100

In presenza di azioni sismiche, le diverse tipologie di costruzione sono suddivise in 4 classi d’uso a seconda dell’utilizzo per il quale sono state progettate:

Classe I Costruzioni con presenza occasionale di persone ed edifici agricoli

Classe II Costruzioni per i quali viene previsto normale affollamento

Classe III Costruzioni il cui uso prevede affollamenti significativi

Classe IV Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti

Nel caso dell’intervento in progetto, in assenza di specifiche indicazioni da parte dei progettisti, si ritiene di poter classificare l’opera in progetto in Classe II con  $VN=50$ .

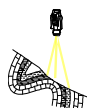
Ad ognuna delle classi sopra descritte viene attribuito un coefficiente d’uso  $C_U$ , il quale moltiplicato per VN consente il calcolo di VR ovvero il periodo di riferimento per l’azione sismica

**Tab. 2.4.II – Valori del coefficiente d’uso  $C_U$**

CLASSE D’USO	I	II	III	IV
COEFFICIENTE $C_U$	0,7	1,0	1,5	2,0

Nel caso in esame:

$$VR = VN \times CU = 50 \times 1 = 50 \text{ anni}$$



Le azioni sismiche di progetto del sito di costruzione quindi derivano dalla pericolosità sismica di base, la quale è descritta dalla probabilità che nel sito in oggetto si verifichi un evento sismico di grado almeno pari ad un valore prefissato, nel lasso di tempo rappresentato dal periodo di riferimento  $V_R$ .

Tale probabilità è denominata “Probabilità di eccedenza o di superamento nel periodo di riferimento”  $P_{V_R}$ ; nella tabella seguente sono mostrate le probabilità di superamento del periodo di riferimento relativamente ai diversi stati limite.

Tab. 3.2.I – Probabilità di superamento  $P_{V_R}$  in funzione dello stato limite considerato

Stati Limite	$P_{V_R}$ : Probabilità di superamento nel periodo di riferimento $V_R$	
Stati limite di esercizio	SLO	81%
	SLD	63%
Stati limite ultimi	SLV	10%
	SLC	5%

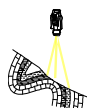
Ai fini delle NTC 2018, le forme spettrali sono definite, per ciascuna delle possibilità di superamento nel periodo di riferimento  $P_{V_R}$ , a partire dai valori dei seguenti parametri su sito di riferimento rigido orizzontale (categoria A):

ag accelerazione orizzontale massima al sito;

Fo valore massimo del valore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;

Tc\* Periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

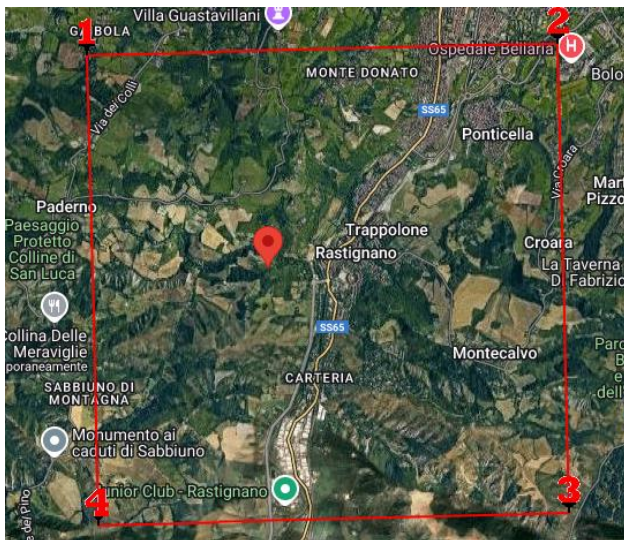
Tali parametri sono ricavabili per ogni sito mediante le coordinate dello stesso utilizzando la Tabella dei Parametri Spettrali riportata in allegato al suddetto DM. Nel nostro caso:



La Tabella dei Parametri Spettrali allegata al D.M. 2018 NTC, sintetizza i parametri sismici caratteristici di una determinata area, mediante la descrizione di diversi siti sparsi sul territorio nazionale contrassegnati da una sigla "ID" ed a cui corrispondono determinate coordinate.

I quattro siti utilizzati per la determinazione dei parametri dell'area in esame sono riportati nella figura seguente.

Coordinate: 44.441377, 11.345284



### Coefficienti sismici

**Muri di sostegno NTC 2018**

Muri di sostegno che non sono in grado di subire spostamenti.

H (m)  us (m)

Cat. Sottosuolo

Cat. Topografica

	SLO	SLD	SLV	SLC
SS Amplificazione stratigrafica	1,50	1,50	1,46	1,39
CC Coeff. funz categoria	1,64	1,62	1,56	1,54
ST Amplificazione topografica	1,20	1,20	1,20	1,20

Acc.ne massima attesa al sito [m/s<sup>2</sup>]

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0.000	0.059	0.112	0.000
kv	--	0.030	0.056	--
Amax [m/s <sup>2</sup> ]	0.991	1.238	2.900	3.471
Beta	--	0.470	0.380	--

### Stati limite

**Classe Edificio**

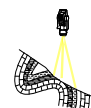
II. Affollamento normale. Assenza di funz. pubbliche e sociali...

Vita Nominale

Interpolazione

**CU = 1**

Stato Limite	Tr [anni]	a <sub>0</sub> [g]	F <sub>0</sub>	Tc* [s]
Operatività (SLO)	30	0.056	2.478	0.258
Danno (SLD)	50	0.070	2.466	0.270
Salvaguardia vita (SLV)	475	0.169	2.416	0.303
Prevenzione collasso (SLC)	975	0.212	2.441	0.313
Periodo di riferimento per l'azione sismica:	50			



*Parametri sismici*

Tipo di elaborazione: Opere di sostegno NTC 2018  
Muro rigido: 0

*Sito in esame.*

latitudine: 44,442352  
longitudine: 11,346458  
Classe: 2  
Vita nominale: 50

*Siti di riferimento*

Sito 1	ID: 16952	Lat: 44,4650	Lon: 11,3193	Distanza: 3315,436
Sito 2	ID: 16953	Lat: 44,4663	Lon: 11,3893	Distanza: 4316,983
Sito 3	ID: 17175	Lat: 44,4163	Lon: 11,3911	Distanza: 4576,285
Sito 4	ID: 17174	Lat: 44,4150	Lon: 11,3211	Distanza: 3647,463

*Parametri sismici*

Categoria sottosuolo: C  
Categoria topografica: T2  
Periodo di riferimento: 50anni  
Coefficiente cu: 1

*Operatività (SLO):*

Probabilità di superamento: 81 %  
Tr: 30 [anni]  
ag: 0,056 g  
Fo: 2,478  
Tc\*: 0,258 [s]

*Danno (SLD):*

Probabilità di superamento: 63 %  
Tr: 50 [anni]  
ag: 0,070 g  
Fo: 2,466  
Tc\*: 0,270 [s]

*Salvaguardia della vita (SLV):*

Probabilità di superamento: 10 %  
Tr: 475 [anni]  
ag: 0,169 g  
Fo: 2,416  
Tc\*: 0,303 [s]

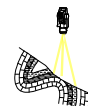
*Prevenzione dal collasso (SLC):*

Probabilità di superamento: 5 %  
Tr: 975 [anni]  
ag: 0,212 g  
Fo: 2,441  
Tc\*: 0,313 [s]

*Coefficienti Sismici Opere di sostegno NTC 2018*

*SLO:*

Ss: 1,500  
Cc: 1,640  
St: 1,200  
Kh: 0,000  
Kv: 0,000  
Amax: 0,991  
Beta: 0,000



SLD:  
 Ss: 1,500  
 Cc: 1,620  
 St: 1,200  
 Kh: 0,059  
 Kv: 0,030  
 Amax: 1,238  
 Beta: 0,470

SLV:  
 Ss: 1,460  
 Cc: 1,560  
 St: 1,200  
 Kh: 0,112  
 Kv: 0,056  
 Amax: 2,900  
 Beta: 0,380

SLC:  
 Ss: 1,390  
 Cc: 1,540  
 St: 1,200  
 Kh: 0,000  
 Kv: 0,000  
 Amax: 3,471  
 Beta: 0,000

Le coordinate espresse in questo file sono in ED50

Geostru

Coordinate WGS84  
 latitudine: 44.441412  
 longitudine: 11.345466

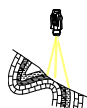
In tabella seguente vengono mostrate le relazioni empiriche che permettono di ricavare i valori Ss e Cc; essi nel caso di suolo di categoria A valgono 1; per le altre categorie di suolo essi vengono calcolati mediante l'ausilio dei parametri Fo e Tc\*, come riportato in tabella.

Il moto sismico alla superficie di un sito, associato a ciascuna categoria di sottosuolo, è definito mediante l'accelerazione massima, ricavata dalla relazione:

$$a_{max} = S_s \cdot a_g \cdot S_t$$

Tab. 3.2.IV – Espressioni di S<sub>s</sub> e di C<sub>c</sub>

Categoria sottosuolo	S <sub>s</sub>	C <sub>c</sub>
A	1,00	1,00
B	$1,00 \leq 1,40 - 0,40 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,20$	$1,10 \cdot (T_c^*)^{-0,20}$
C	$1,00 \leq 1,70 - 0,60 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,50$	$1,05 \cdot (T_c^*)^{-0,33}$
D	$0,90 \leq 2,40 - 1,50 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,80$	$1,25 \cdot (T_c^*)^{-0,50}$
E	$1,00 \leq 2,00 - 1,10 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,60$	$1,15 \cdot (T_c^*)^{-0,40}$



I parametri vengono calcolati per  $T_r$  475 anni (SLV)

$$TC = T_c \cdot C_c = 0.313 \times 1.56 = 0.488 \text{ sec}$$

$$TB = TC/3 = 0.473 / 3 = 0.163 \text{ sec}$$

$$TD = 4.0 (a_g/g) + 1.6 = 4.0 (0.169/9.8) + 1.6 = 1.67 \text{ sec}$$

La risposta sismica di un sito è direttamente influenzata dalle condizioni locali, cioè dalle qualità stratigrafiche e topografiche caratteristiche.

Il moto sismico alla superficie di un sito, associato a ciascuna categoria di sottosuolo, è definito mediante l'accelerazione massima, ricavata dalla relazione:

$$a_{max} = S_s a_g S_t$$

la quale comprende i parametri relativi alla caratterizzazione stratigrafica e topografica.

Utilizzando la seguente tabella, ove viene riportato il coefficiente  $\beta_s$  per le diverse tipologie di terreno, vengono determinati i coefficienti sismici orizzontale e verticale per lo stato limite SLV:

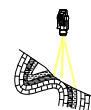
	Categoria di sottosuolo	
	A	B, C, D, E
	$\beta_s$	$\beta_s$
$0,2 < a_g(g) \leq 0,4$	0,30	0,28
$0,1 < a_g(g) \leq 0,2$	0,27	0,24
$a_g(g) \leq 0,1$	0,20	0,20

$$K_h = \beta_s a_{max}/g = 0.112$$

$$K_v = 0.5 K_h = 0.056$$

Le situazioni geologiche e geomorfologiche che possono portare ad una modificazione del segnale sismico in arrivo sono essenzialmente 3:

- depositi costituiti da terreni stratificati le cui caratteristiche meccaniche sono diverse da quelle della roccia sottostante
- depositi di valle con bordi e morfologie del substrato irregolari che possono causare fenomeni di rifrazione e riflessione delle onde sismiche
- sommità di rilievi collinari, creste, promontori, pendii, profili di versanti, bordi di terrazzi.



Dal punto di vista della caratterizzazione topografica, sono state definite quattro categorie differenziate in base alla morfologia del territorio (T1, T2, T3, T4).

Tab. 3.2.III – Categorie topografiche

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

Il coefficiente  $S$  è il parametro che tiene conto della categoria di sottosuolo (mediante  $S_s$  coeff. di amplificazione stratigrafica) e delle condizioni topografiche (mediante  $S_t$ , coeff. di amplificazione topografica) attraverso la seguente relazione:

$$S = S_s \times S_t$$

Tab. 3.2.V – Valori massimi del coefficiente di amplificazione topografica  $S_T$

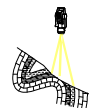
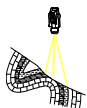
Categoria topografica	Ubicazione dell'opera o dell'intervento	$S_T$
T1	-	1,0
T2	In corrispondenza della sommità del pendio	1,2
T3	In corrispondenza della cresta di un rilievo con pendenza media minore o uguale a $30^\circ$	1,2
T4	In corrispondenza della cresta di un rilievo con pendenza media maggiore di $30^\circ$	1,4

Nel caso in esame, per lo stato limite SLV con  $T_r$  di 475 anni il valore del coefficiente  $S$  è di 1,752.

Nel caso di pendii la cui altezza risulti essere inferiore a 30 m, il coefficiente di amplificazione topografica ( $S_t$ ) risulta ininfluenza.

L'andamento topografico dell'area in esame fa sì che essa ricada in categoria T2; come si evince dalla consultazione della tabella sopra il relativo coefficiente di amplificazione vale 1,2.

Lo spettro di risposta elastica della componente orizzontale è definito dal parametro  $S_e(T)$



Per quanto riguarda lo spettro di risposta elastico in accelerazione della componente verticale:

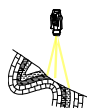
$F_v$  è il fattore che quantifica l'amplificazione spettrale massima e nel caso del progetto della presente relazione risulta essere pari a

$$F_v = 1,35 \cdot F_o \cdot \left( \frac{a_g}{g} \right)^{0,5}$$

Sve accelerazione spettrale verticale

Tab. 3.2.VI - Valori dei parametri dello spettro di risposta elastico della componente verticale

Categoria di sottosuolo	$S_s$	$T_B$	$T_C$	$T_D$
A, B, C, D, E	1,0	0,05 s	0,15 s	1,0 s



## VERIFICA A LIQUEFAZIONE

*Si definisce liquefazione una diminuzione di resistenza al taglio e/o di rigidità causata dall'aumento di pressione interstiziale in un terreno saturo non coesivo durante uno scuotimento sismico, tale da generare deformazioni permanenti significative e persino l'annullamento degli sforzi efficaci nel terreno.*

*Possono essere coinvolti dal fenomeno della liquefazione i terreni granulari non coesivi che si trovano in falda.*

*Il rischio di liquefazione può rivestire notevole importanza in occasione di eventi sismici.*

*Il manifestarsi di un evento sismico di entità considerevole, quali terremoti contraddistinti da magnitudo superiore a 6 gradi, di durata maggiore di 15-20 secondi e caratterizzati da accelerazioni massime al sito maggiori di 0.10 g. può causare un addensamento delle particelle solide che compongono il terreno con una rapidità che non consente il drenaggio del liquido interstiziale.*

*Tale situazione genera un incremento della pressione dell'acqua, la quale arriva ad eguagliare la pressione di confinamento, rendendo nulle le pressioni efficaci trasmesse attraverso le particelle solide, le quali, di conseguenza, perdono il contatto tra di loro e il deposito si comporta come un liquido.*

*I terreni maggiormente suscettibili di liquefazione sono le sabbie ben cernite costituite da grani medio - piccoli.*

*Il DM.14-01-2008 dispone che la verifica a liquefazione può essere omessa quando si verifica almeno una delle seguenti condizioni:*

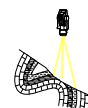
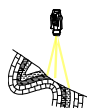
*eventi sismici attesi di magnitudo  $M$  inferiore a 5;*

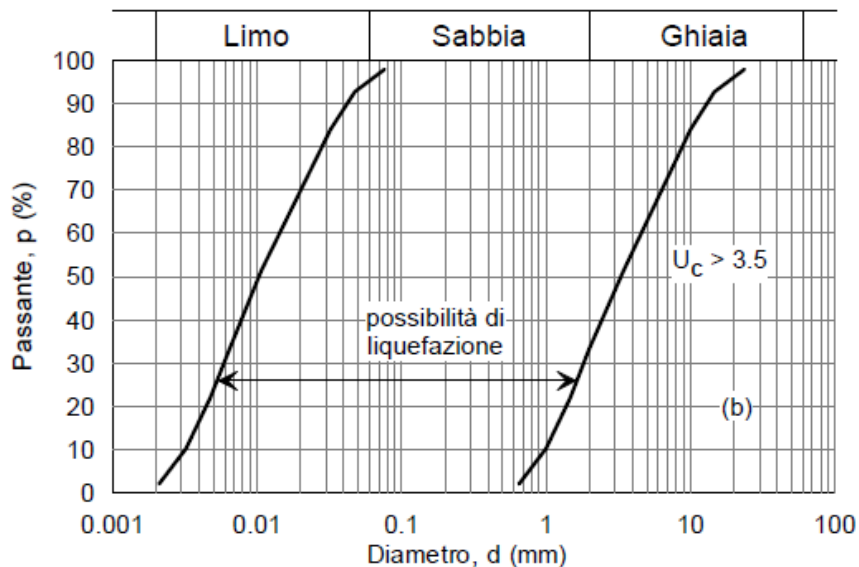
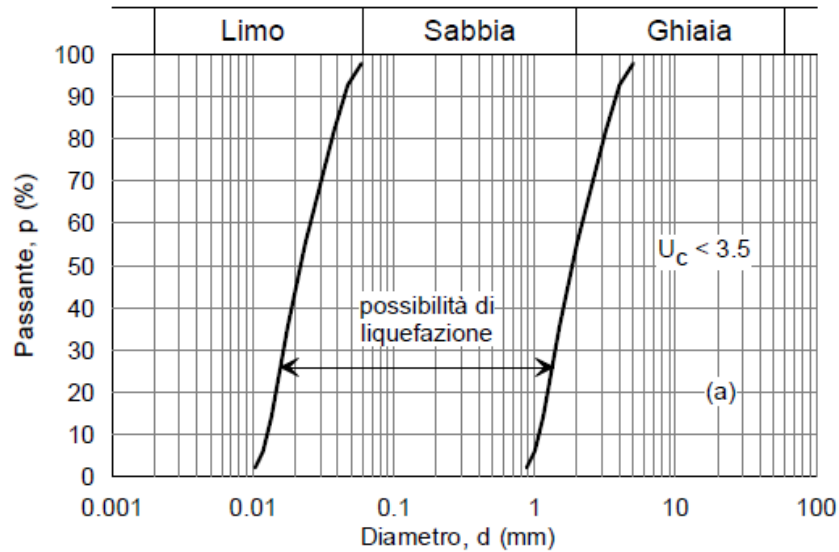
*accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti minori di 0.1 g;*

*profondità media stagionale della falda inferiore a 15 mt. dal p.d.c., per piano di campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;*

*depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata  $(N1)_{60} > 30$  oppure  $qc(1N) > 180$ ;*

*distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nelle figure seguenti:*

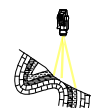




*I dati del PSC del Comune di Bologna indicano che per l'area non è necessario un approfondimento di III livello per eventuale liquefazione dei terreni di fondazione.*

*Si ritiene che il terreno in oggetto, non sia suscettibile a fenomeni di liquefazione in quanto non presenta livelli costituiti da sabbie sciolte ben cernite ma le litologie sabbiose, ove presenti, appaiono miscelate a litologie granulometricamente fini e appaiono ben compatte; inoltre non è stata rilevata la presenza della falda freatica superficiale.*

*Di conseguenza i terreni presenti non ricadono all'interno delle aree indicate con la dicitura "possibilità di liquefazione" nei grafici riportati sopra.*



## CONCLUSIONI

*La stabilità del pendio oggetto di studio è stata compromessa in conseguenza degli eventi meteorici straordinari del Settembre – Ottobre 2024, durante i quali numerosissime porzioni di territorio di alcuni Comuni Emiliano Romagnoli, tra cui le colline di Bologna, hanno subito fenomeni di diffuso dissesto, nonché, nella fascia di pianura, eventi alluvionali eccezionali.*

*Come è già stato dimostrato in precedenti esperienze degli scriventi, pendii come quello oggetto di studio, dotati di una buona regimazione superficiale e di una conduzione di fondo agricolo sempre ordinata, non hanno mai presentato problematiche di stabilità.*

*Queste sono quindi venute meno proprio in occasione del violento e prolungato nubifragio del periodo 2 - 3 e 15 - 17 Maggio 2023.*

*Per poter determinare quali sono i parametri fisici caratteristici del pendio attuale, dopo la messa in sicurezza di emergenza del Giugno 2023, la presente relazione ha descritto le fasi di studio successive caratterizzate dai rilievi, dalle prove geognostiche e sismiche e dalle verifiche di stabilità utili per la comprensione del fenomeno e per la prima e preliminare ipotesi di sistemazione definitiva.*

*Nel caso in cui l'intervento non dovesse realizzarsi a breve, si consiglia ai fini del mantenimento della situazione drenata del pendio di proteggerlo sino alla prossima stagione secca, con dei teloni impermeabili correttamente stesi e fissati al terreno sopra tutta la superficie riprofilata del pendio.*

Bologna, 7 Marzo 2023

