

Dott. Paolo Giacomelli

Geologo

Ordine regionale dei geologi N. 369

Codice Fiscale: GCM PLA 64L04 E783S

P.I. 01259920435

**Studio di
Geologia
Idrogeologia
Geotecnica**

COMUNE DI TREIA

**LAVORI DI RISTRUTTURAZIONE E RIPRISTINO CON
MIGLIORAMENTO SISMICO DELL'IMMOBILE
DENOMINATO "CASA DEL CUSTODE"
ANNESSE AL COMPLESSO DI VILLA SPADA**

RELAZIONE GEOLOGICA

Committente:
Amministrazione
comunale di Treia

INDICE

1.0 Premessa	pag.3
2.0 Ubicazione e Inquadramento geomorfologico	pag.4
3.0 Litologia	pag.5
4.0 Idrogeologia	pag.5
5.0 Caratteristiche geomeccaniche dei terreni – parametri medi Fm	pag.5
6.0 Fondazioni	pag.7
6.1 Amplificazione topografica	pag.7
7.0 Periodo di riferimento dell'azione sismica	pag.8
8.0 Sismicità	pag.9
9.0 Definizione dell'azione sismica di progetto	pag.10
10.0 Conclusioni	pag.13

All. 1 Tabulati prova sismica HVSR

All. 2 Relazione verifica di stabilità scarpata

APPENDICE

Tav. 1	Corografia	scala 1:25.000
Tav. 2	Stralcio Carta geologica Regionale	scala 1:10.000
Tav. 3	Stralcio Cartografia PAI Regionale	
Tav. 4	Stralcio Carta Geotecnica MZS I° Livello Treia	
Tav. 5	Planimetria ubicazione indagini	scala 1:200
N° 2	Stratigrafia sondaggi	
N° 5	Stratigrafia scavi in fondazione	
N° 2	Tabulati prove penetrometriche dinamiche	
Tav. 6	Sezione geologica interpretativa A-A' e B-B'	scala 1:200

1.0 PREMESSA

Nella presente relazione vengono esposti i risultati relativi ad una indagine geologica e geocnica, eseguita per conto dell'Amministrazione Comunale di Treia, in occasione del progetto di LAVORI DI RISTRUTTURAZIONE E RIPRISTINO CON MIGLIORAMENTO SISMICO DELL'IMMOBILE DI PROPRIETA' COMUNALE DENOMINATO "CASA DEL CUSTODE" ANNESSO AL COMPLESSO DI "VILLA SPADA" da destinare ad alloggi temporanei per l'emergenza abitativa del sisma del 2016.

La presente relazione, finalizzata alla costruzione del modello geologico e alla caratterizzazione sismica del sito è stata redatta in conformità alla normativa vigente di seguito elencata:

- **Decreto Ministeriale 20.02.2018.** *Testo Unitario - Norme Tecniche per le Costruzioni.*
- **Voto n. 36 del 27.07.2007.** *Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici. Pericolosità sismica e Criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale.*
- **D.M. 11/3/1998:** *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.*
- **Deliberazione Consiglio Regionale Marche n. 116 del 21.01.2004.** *Approvazione PAI (Piano Assetto Idrogeologico) e successive integrazioni e modifiche.*
- **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*

In riferimento al capitolo 6.2.1 del D.M. 14.01.2008, per la Caratterizzazione e modellazione geologica del sito è stato condotto il seguente programma di indagine:

- rilevamento geologico e geomorfologico dell'area;
- indagine diretta del sottosuolo mediante l'esecuzione di n° 2 prove penetrometriche dinamiche medie e n.2 sondaggi geognostici, acquisizione di precedenti n.5 scavi in fondazione sul perimetro esterno della struttura in oggetto, effettuati dal geologo Palpacelli nel maggio 2016; analisi di affioramenti di terreno naturale in prossimità dell'edificio;
- reperimento di precedenti indagini e sondaggi effettuati nelle vicinanze;
- caratterizzazione sismica del sito; esecuzione di n.2 prove sismiche indirette mediante tecnica di acquisizione HVRS;
- elaborazione dei dati acquisiti e parametrizzazione geomeccanica e sismica dei terreni di fondazione.

I dati forniti nella presente indagine permetteranno di arrivare in modo corretto alla definizione dei parametri caratteristici (K) e di quelli di progetto (D) a partire dai parametri di campagna e medi (M) in seguito riportati, verranno inoltre definiti i parametri sismici del sito oggetto di intervento.

Le indagini sono state estese ad una porzione di terreno ritenuta significativa ai fini dell'indagine stessa, in un intorno geologicamente e geomorfologicamente ritenuto indicativo rispetto all'area in esame.

2.0 UBICAZIONE E INQUADRAMENTO GEOLOGICO-GEOMORFOLOGICO

L'edificio di indagine si trova poco a sud del centro abitato di Treia, ad una quota di circa 260 m slm.. Tale area cartograficamente ricade:

- **Foglio 124** “Treia-Tolentino” della Carta Geologica d'Italia, scala 1: 100.000;
- **Tavoletta IGM** “Treia” Foglio 124 **Quadrante II NE**, scala 1:25.000;
- **Ortofotocarta Regionale** Foglio 302, **sezione n. 302080** scala 1:10.000;
- **P.A.I. (Piano Assetto Idrogeologico) Tav. RI44b**;

L'area di indagine è situata lungo la linea di cresta, alla sommità di un modesto rilievo collinare, a sud del centro storico di Treia, ad una quota di 260 m slm.

Geologicamente il territorio indagato è inquadrato nel Bacino Marchigiano Esterno ed è caratterizzato dall'esistenza di *sedimenti primari* del substrato sub affioranti costituiti nell'area da alternanze di unità Arenaceo – Pelitiche di sedimentazione Miocenica, ascrivibili alla formazione delle Argille a Colombacci.

La zona di sedime dell'edificio oggetto di indagine è debolmente acclive, mentre i versanti attorno presentano pendenze considerevoli, in particolare sul versante est del rilievo dove insite una scarpata superiore ai 10 m di altezza, che raccorda con il sottostante terreno agrario..

Morfologicamente non si osservano fenomeni gravitativi o di erosione superficiale da parte delle acque meteoriche, la scarpata stessa è completamente vegetata e non presenta segni di dissesti passati o in atto. Il lotto è posizionato alla sommità del rilievo collinare e non evidenzia alcun elemento recente di instabilità gravitativa..

La proprietà di indagine ed i suoi dintorni è da ritenersi quindi, dal punto di vista geomorfologico, stabile.

La cartografia del PAI Regionale alla tavola RI45c non individua nel sito in oggetto alcun dissesto.

Data la presenza di una scarpata strutturale con altezza complessiva di circa dieci metri a ridosso del fronte est dell'edificio, è stata effettuata una verifica di stabilità della stessa, i cui tabulati sono riportati in allegato.

Il valore più basso del coefficiente di sicurezza è risultato per la superficie n.3 con valore di F_s pari a 1,08.

Si consiglia in sede progettuale di valutare opportuna opera di contenimento con tura di pali/micropali a ridosso dell'edificio, per garantire una maggiore sicurezza ed evitare la decompressione dei terreni nel tempo.

3.0 LITOLOGIA

Per l'espletamento della presente indagine si fa riferimento agli affioramenti litologici visibili nell'area ed alle indagini geognostiche effettuate..

La successione litostratigrafica dei terreni riscontrati è riassumibile nel seguente schema:

a) *Terreno di riporto*;

b) - **Formazione alterata/inalterata:** Argille e sabbie (*Substrato*)

a)- *Terreno di riporto*; costituito da limo argilloso color nocciola con partimenti sabbiosi ed elementi organici. Tale litotipo si osserva con spessori modesti, fino a profondità comprese tra 0.6 e 1,0 m. In corrispondenza del versante est, si individua alla base del riporto un modesto spessore di coltre limoso sabbiosa, riscontrata nelle prove penetrometriche P1 e P2, fino alla profondità di circa 1,5 m dal p.c.

- b) - **Formazione alterata/inalterata:** materiale della formazione sedimentaria marina della *Formazione delle Argille a Colombacci*, costituita da alternanza di strati sabbiosi e arenacei alternati a strati argillosi grigio giallastri prima e grigio azzurri poi, fortemente sovraconsolidati inizialmente ossidati, con microfratture sub-verticali.

Scarso contenuto naturale in acqua ed il grado di consistenza varia da *medio-duro a duro*.

Tale litotipo si rinviene subaffiorante al di sotto della coltre di riporto a partire da meno di un metro di profondità. Sul lato est in corrispondenza della scarpata il substrato si rinviene da circa 1, m di profondità.

4.0 IDROGEOLOGIA

Per quanto riguarda il reticolo idrografico superficiale, l'area in esame è situata all'interno del bacino idrografico del fiume Potenza, il recettore idrico primario dell'area è costituito dal rio Palazzolo che scorre a sud del sito.

L'idrografia naturale della zona investigata è notevolmente influenzata dalla permeabilità, che risulta alta sia per granulometria che per grado di fratturazione dei litotipi presenti.

Dal punto di vista idrogeologico, nel sito in oggetto, non si osservano livelli acquiferi; locali presenze idriche per lo più a carattere stagionale e legate ad orizzonti lenticolari e disuniformi di materiale più permeabile in contrasto con terreni meno permeabili possono riscontrarsi in concomitanza di forti eventi meteorici all'interno del substrato.

L'area di indagine non presenta fenomeni erosivi imputabili all'azione delle acque correnti superficiali, in virtù delle caratteristiche di permeabilità dei terreni, che consentono un sufficiente drenaggio delle acque.

Nel corso delle indagini non sono state riscontrate manifestazioni idriche. Non sono presenti nella zona indagata falde idriche superficiali.

5.0 CARATTERISTICHE GEOMECCANICHE DEI TERRENI

5.1 PARAMETRI GEOMECCANICI MEDI (F_M)

Per la valutazione delle caratteristiche geomeccaniche dei terreni presenti è stato fatto riferimento alle prove penetrometriche dinamiche eseguite..

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

$$N_{spt} = \beta_t N$$

$$\text{Dove: } \beta_t = \frac{Q}{Q_{SPT}}$$

in cui Q è l'energia specifica per colpo e Q_{spt} è quella riferita alla prova SPT. L'energia specifica per colpo viene calcolata come segue

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

in cui

M = peso massa battente; M' = peso aste; H = altezza di caduta;
 A = area base punta conica; δ = passo di avanzamento.

Valutazione resistenza dinamica alla punta R_{pd}

$$R_{pd} = \frac{M^2 \cdot H}{[A \cdot e \cdot (M + P)]} = \frac{M^2 \cdot H \cdot N}{[A \cdot \delta \cdot (M + P)]}$$

Formula Olandese

R_{pd} = resistenza dinamica punta (area A); e = infissione media per colpo (δ / N);
 M = peso massa battente (altezza caduta H); P = peso totale aste e sistema battuta.

I coefficienti geotecnici medi (M) di seguito riportati sono stati desunti dalla estrapolazione dei dati ricavati dalle prove e dalla letteratura tecnica esistente.

I valori misurati risultano sempre di una certa omogeneità e soddisfacenti per tutto il materiale estratto.

Sono inoltre stati presi a riferimento i campioni di terreno analizzati in laboratorio durante precedenti indagini geologiche nelle vicinanze rappresentativi dei litotipi rinvenuti.

I coefficienti geotecnici medi, possono essere così valutati:

Terreno di riporto / limo sabbioso (litotipo "a")

peso di volume	γ	= 1,8	(g/cm ³)
coesione non drenata	C_u	= 0,5-0,7	(Kg/cmq)
angolo di attrito interno	φ'	≈ 20÷25°	(gradi)

b)-Formazione Arenaceo-Pelitica (Substrato)

peso di volume	γ	=	2,0-2,1	(g/cm ³)
coesione non drenata	C_u	=	2,0-2,2	(Kg/cmq)
angolo di attrito interno	ϕ'	≈	25÷28°	(gradi)
modulo edometrico	E_{ed}	>	120	(Kg/cm ²)

5.2 Parametri geotecnici caratteristici - Fk

Per la definizione dei parametri caratteristici (F_k) dei litotipi rilevati nel sito di progetto, si applicano i coefficienti di sicurezza parziali (CP) a quelli medi in funzione dello stato limite considerato nelle verifiche allo S.L.U.

L'eurocodice 7 ed il D.M. 14.01.2008 fissano, per i parametri geotecnici del terreno, in particolare di resistenza al taglio, una probabilità di non superamento del 5%, alla quale corrisponde, per una distribuzione di tipo gaussiano, un valore "X" uguale a - 1,645.

Da cui:

$$\phi'k = \phi'm \cdot (1 + X \cdot V\phi) = \phi'm \cdot (1 - 1,645 \times V\phi^\circ)$$

$$c'k = c'm \cdot (1 + X \cdot Vc) = c'm \cdot (1 - 1,645 \times Vc^\circ)$$

(°) = coefficiente di variazione = rapporto fra lo scarto quadratico medio e la media dei valori

La deviazione standard si esplicita nella forma a 3 variabili (Cfr. Allegato 1):

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N t_i^2}{N} - \left(\frac{\sum t}{N}\right)^2}$$

I parametri caratteristici (k) possono essere ricavati partendo dai dati di campagna e medi riportati nel paragrafo precedente.

6.0 FONDAZIONI

Viste le caratteristiche geolitologiche dei terreni indagati, l'assenza di falda idrica in superficie, le discrete caratteristiche geomeccaniche dei primi strati di terreno attraversati, per gli interventi in oggetto si ritiene idoneo il mantenimento della tipologia fondale di tipo diretto poggiante sul substrato..

Si consiglia di irrigidire e rinforzare il corpo fondale con sottofondazione.

Le sottofondazioni (doppio cordolo e mensole) dovranno arrivare ad almeno un metro di profondità (dove l'arenaria è pressoché affiorante) o ancora più in profondità ove sia presente maggiore spessore di terreno di riporto (in particolare sul lato est dell'edificio, a ridosso della scarpata). Quanto ora descritto dovrà essere verificato nel corso dei lavori che dovranno preventivamente attestare l'esatto rinvenimento del substrato punto per punto..

L'analisi di calcolo con verifica di stabilità della scarpata (tabulati in allegato) presente sul lato nord dell'edificio, ha dato risultati al limite della sicurezza, con un coefficiente minimo di Fa pari a 1,08. Ogni minima variazione delle caratteristiche geomeccaniche dei terreni potrebbe abbassare tale coefficiente di sicurezza nel tempo; in contrapposizione a questo rischio è auspicabile la posa in opera di una paratia di

contenimento lungo il pendio che ne aumenti le forze resistenti in contrasto a quelle di taglio. Dai tabulati di calcolo con inserimento di paratia con pali realizzati in opera si evince come in coefficiente minimo di sicurezza si alzi fino ad un valore di 1,25 (in allegato).

Per una maggiore completezza dell'analisi, e per un adeguato dimensionamento della paratia, si ritiene opportuno, oltre ad ulteriori prove geotecniche sui terreni costituenti il pendio della scarpata, di monitorare anche l'area per verificare nel tempo le condizioni di stabilità della stessa, in relazione alla vicinanza del manufatto di intervento.

Un adeguato monitoraggio non può prescindere dalla installazione di tubi inclinometrici lungo il versante in prossimità dell'edificio.

Sarà comunque compito dello strutturista la scelta della tipologia fondale più idonea, anche in virtù delle esigenze progettuali e dalla adattabilità e facilità di esecuzione delle suddette opere fondali.

Si raccomanda l'accurata regimazione di tutte le acque superficiali e di scarico delle aree prospicienti il fabbricato; -variazioni di umidità dei terreni a ridosso delle strutture comporterebbe sgradevoli conseguenti variazioni di volume e scadimento delle caratteristiche geomeccaniche.

6.1 AMPLIFICAZIONE TOPOGRAFICA

Per configurazioni superficiali semplici si può adottare la seguente classificazione.

Tab. 1. *Categorie topografiche e valori massimi del coefficiente di amplificazione S_T .*

Categoria topografica	Caratteristiche della superficie topografica	Ubicazione dell'opera o dell'intervento	S_T
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $\leq 15^\circ$		1,0
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$	In corrispondenza della sommità del pendio	1,2
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$	In corrispondenza della cresta del rilievo	1,2
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinaz media $i > 30^\circ$	In corrispondenza della cresta del rilievo	1,4

L'area interessata dal progetto si trova in condizioni di debole acclività, ma la scarpata sottostante è a ridosso dalle strutture oggetto di intervento; pertanto, per quanto riguarda la topografia, può essere classificato come **T2** e il valore del fattore di amplificazione topografica risulta **$S_T = 1,2$** .

7.0 PERIODO DI RIFERIMENTO DELL'AZIONE SISMICA VR

Secondo le NTC 2008, la sicurezza e le prestazioni di un'opera devono essere valutate in relazione agli **stati limite** che si possono verificare durante la **VITA NOMINALE**. La vita nominale di un'opera strutturale V_N è intesa come il numero di anni nel quale la struttura, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, deve potere essere usata per lo scopo al quale è destinata.

Tab. 1. Vita nominale (Tab.2.4.1. delle NTC2008).

	TIPO DI COSTRUZIONE	VITA NOMINALE V_N (in anni)
1	Opere provvisorie – Opere provvisionali – Strutture in fase costruttiva	≤ 10
2	Opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali e dighe di dimensioni contenute o di importanza normale	≥ 50
3	Grandi opere, ponti, opere infrastrutturali e dighe di grandi dimensioni o di importanza strategica	≥ 100

Nel progetto in questione si ha: Tipo di costruzione 2 con $V_N \geq 50$ anni.

Tab. 2. Classi d'uso.

Classe II	Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe III e IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.
------------------	---

Nel progetto in questione si ha: Classe d'uso II.

Tab. 3. Coefficienti d'uso (C_U).

Classe d'uso	I Persone occasionali	II Normali affollamenti	III Affollamenti significativi	IV Funzioni pubbliche
Coeff. d'uso C_U	0,7	1,0	1,5	2,0

Nel progetto in questione si ha: Coefficiente d'uso $C_U = 1,0$.

Per individuare il periodo di riferimento (V_R), in rapporto al quale valutare le azioni sismiche, si moltiplicano V_N (vita nominale dell'opera) per C_U (coefficiente d'uso dell'opera).

Tab. 4. Periodo di riferimento dell'azione sismica (V_R).

	TIPI DI COSTRUZIONE	V_N (in anni)	Classe I $C_U = 0,7$	Classe II $C_U = 1,0$	Classe III $C_U = 1,5$	Classe IV $C_U = 2,0$
1	Opere provvisorie – Opere provvisionali – Strutture in fase costruttiva	≤ 10	$V_R = 35$	$V_R = 35$	$V_R = 35$	$V_R = 35$
2	Opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali e dighe di dimensioni contenute o di importanza normale	≥ 50	$V_R = 35$	<u>$V_R = 50$</u>	$V_R = 75$	$V_R = 100$
3	Grandi opere, ponti, opere infrastrutturali e dighe di grandi dimensioni o di importanza strategica	≥ 100	$V_R = 70$	$V_R = 100$	$V_R = 150$	$V_R = 200$

Per il manufatto in questione $V_N = 50$, $C_U = 1,0$ quindi **$V_R = V_N \times C_U = 50$ anni**.

8.0 SISMICITÀ

Il territorio comunale di Treia (MC) ricade in **zona sismica 2** (O.P.C.M. n. 3274 del 23.03.2003), dove il valore di $A(g)$, accelerazione orizzontale al suolo espressa come frazione della accelerazione di gravità (g) risulta pari a **0,25**.

Si riporta la tabella ove ogni zona è individuata secondo valori di accelerazione di picco orizzontale del suolo (ag), con probabilità di superamento del 10% in 50 anni.

Tab. 6. Zone sismiche.

zona sismica	Accelerazione orizzontale con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni [ag/g]	Accelerazione orizzontale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico [ag/g]
1	> 0.25	0.35

2	0.15 – 0.25	0.25
3	0.05 – 0.15	0.15
4	< 0.05	0.05

8.1 CLASSIFICAZIONE SISMICA DEL SUOLO

Per classificare il sito in oggetto dal punto di vista sismico deve essere nota la litostratigrafia del sottosuolo, in dettaglio si deve conoscere:

- il numero e lo spessore degli strati di copertura sovrastanti il substrato roccioso (bedrock) o comunque uno strato con velocità delle onde S nettamente maggiore ($V_s > 500$ m/s) di quella dei livelli superiori (bedrock-like); la velocità delle onde S negli strati di copertura.

Per definire l'azione sismica di progetto viene caratterizzato ogni litotipo rinvenuto attraverso i valori delle velocità di propagazione delle onde sismiche di taglio VS_{30} mediate sui primi 30 m. di sottosuolo, oppure sulla base dei valori N_{SPT} , oppure sui valori della Coesione non drenata C_U .

Tab. 7. *Categorie del sottosuolo.*

Categoria	Descrizione
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati dai Valori V_{S30} superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3,0 m.</i>
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensata o terreni a grana fina molto consistenti con spessori superiori a 30 m. caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{S30} compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $N_{SPT30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $C_{U30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina).</i>
C	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m. caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{S30} compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < N_{SPT30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < C_{U30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina).</i>
D	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con spessori superiori a 30 m., caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{S30} inferiori a 180 m/s (ovvero $N_{SPT30} < 15$ nei terreni a grana grossa e $C_{U30} < 70$ kPa nei terreni a grana fina).</i>
E	<i>Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m., posti sul substrato di riferimento (con $V_{S30} > 800$ m/s).</i>

Nel presente lavoro la classificazione è stata effettuata con strumentazione sismica passiva, tramite tomografo assiale digitalizzato e acquisizione HVSR.

In base ai risultati ottenuti nei primi trenta metri di profondità, seguendo l'approccio semplificato (in alternativa agli studi di risposta sismica locale che rappresentano l'approccio rigoroso), il suolo di fondazione dell'area in oggetto, può essere classificato come di categoria

B. In allegato i tabulati delle due prove HVSR eseguite.

9.0 DEFINIZIONE DELL'AZIONE SISMICA DI PROGETTO

L'azione sismica sulle costruzioni è valutata a partire da una "pericolosità sismica di base", in condizioni ideali di sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale (di categoria A nelle NTC).

La "pericolosità sismica di base", o *pericolosità sismica*, costituisce l'elemento di conoscenza primario per la determinazione delle azioni sismiche. La pericolosità sismica in un

generico sito deve essere descritta in modo da renderla compatibile con le NTC e da dotarla di un sufficiente livello di dettaglio, sia in termini geografici che in termini temporali; tali condizioni possono ritenersi soddisfatte se i risultati dello studio di pericolosità sono forniti:

- in termini di valori di accelerazione orizzontale massima a_g e dei parametri che permettono di definire gli spettri di risposta ai sensi delle NTC, nelle condizioni di sito di riferimento rigido orizzontale sopra definite
- in corrispondenza dei punti di un reticolo (reticolo di riferimento) i cui nodi sono sufficientemente vicini fra loro (non distano più di 10 km);
- per diverse probabilità di superamento in 50 anni e/o diversi periodi di ritorno TR ricadenti in un intervallo di riferimento compreso almeno tra 30 e 2475 anni, estremi inclusi; L'azione sismica così individuata viene successivamente variata, nei modi chiaramente precisati dalle NTC, per tener conto delle modifiche prodotte dalle condizioni locali stratigrafiche del sottosuolo effettivamente presente nel sito di costruzione e dalla morfologia della superficie. Tali modifiche caratterizzano la risposta sismica locale.

Allo stato attuale, la pericolosità sismica su reticolo di riferimento nell'intervallo di riferimento è fornita dai dati pubblicati sul sito <http://esse1.mi.ingv.it/>, per cui la stima dei parametri spettrali necessari per l'azione sismica di progetto si calcola direttamente per il sito in esame nel reticolo di riferimento, che suddivide il territorio in aree omogenee dal punto di vista del rischio sismico (Tab. 1 All.B del D.M. 14/01/2008). Ad ogni nodo che identifica un'area è associato un valore di accelerazione massima attesa al suolo per un determinato periodo di tempo di ritorno.

I parametri sismici calcolati, in relazione agli stati limite considerati ed al sito in oggetto sono:

- Tr periodo di ritorno dell'azione sismica espresso in anni;
- a_g accelerazione orizzontale massima attesa al sito, in riferimento alle coordinate che identificano il sito in oggetto;
- Fo valore massimo di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale, in riferimento alle coordinate che identificano il sito in oggetto;
- Tc periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale, anche questo dipendente dalle coordinate che identificano il sito in oggetto.

Via	<input type="text"/>	n°	<input type="text"/>
Comune	Treia	Cap	<input type="text"/>
Provincia	<input type="text"/>	<input type="button" value="Cerca"/>	
WGS84 (°)			
Latitudine	<input type="text"/>		
Longitudine	<input type="text"/>	<input type="button" value="Cerca"/>	
Isole	-- Seleziona -- <input type="button" value="Cerca"/>		

Visualizza vertici della maglia di appartenenza

(1)* Il software converte i dati dal sistema WGS84 al sistema ED50, prima di elaborare i risultati è comunque possibile inserire direttamente le coordinate nel sistema ED50. I punti sulla mappa sono da considerarsi esclusivamente in coordinate WGS84.
(2)* Il file creato con "Salva file" può essere importato automaticamente negli applicativi GeoStru.

(1)* Coordinate WGS84 (°)
Latitudine Longitudine

(1)* Coordinate ED50 (°)
Latitudine Longitudine

Classe dell'edificio
II. Affollamento normale. Assenza di funz. pubbliche e sociali...

Cu = 1

Vita nominale
(Opere provvisorie <=10, Opere ordinarie >=50, Grandi opere >=100)
Interpolazione

Stato Limite	Tr [anni]	a _g [g]	F _o	Tc' [s]
Operatività (SLO)	30	0,055	2,444	0,273
Danno (SLD)	50	0,069	2,429	0,292
Salvaguardia vita (SLV)	475	0,175	2,425	0,335
Prevenzione collasso (SLC)	975	0,226	2,455	0,343
Periodo di riferimento per l'azione sismica:	50			

CALCOLO COEFFICIENTI SISMICI

Muri di sostegno Paratie
 Stabilità dei pendii e fondazioni
 Muri di sostegno che non sono in grado di subire spostamenti.

H (m)
us (m)

Categoria sottosuolo
Categoria topografica

	SLO	SLD	SLV	SLC
Ss * Amplificazione stratigrafica	1,20	1,20	1,20	1,18
Cc * Coeff. funz categoria	1,43	1,41	1,37	1,36
St * Amplificazione topografica	1,20	1,20	1,20	1,20

Acc.ne massima attesa al sito [m/s²]

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0,016	0,020	0,060	0,090
kv	0,008	0,010	0,030	0,045
Amax [m/s²]	0,777	0,980	2,468	3,141
Beta	0,200	0,200	0,240	0,280

* I valori di Ss, Cc ed St possono essere variati.

Tab. 1 -PARAMETRI SISMICI

I coefficienti sismici in relazione agli stati limite considerati sono:

- Ss coefficiente di amplificazione stratigrafica
Cc coefficiente in funzione della categoria di sottosuolo
St coefficiente massimo di amplificazione topografica
Kh coefficiente di intensità sismica orizzontale
Kv coefficiente di intensità sismica verticale

A_{max} accelerazione massima orizzontale attesa al sito (dipendente dagli effetti di amplificazione stratigrafica e topografica)

Tabella 3.2.V – Espressioni di S_S e di C_C

Categoria sottosuolo	S_S	C_C
A	1,00	1,00
B	$1,00 \leq 1,40 - 0,40 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,20$	$1,10 \cdot (T_C^*)^{-0,20}$
C	$1,00 \leq 1,70 - 0,60 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,50$	$1,05 \cdot (T_C^*)^{-0,33}$
D	$0,90 \leq 2,40 - 1,50 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,80$	$1,25 \cdot (T_C^*)^{-0,50}$
E	$1,00 \leq 2,00 - 1,10 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,60$	$1,15 \cdot (T_C^*)^{-0,40}$

Beta coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito.

Pertanto, partendo dalla *Pericolosità sismica di base* (a_g) del sito e dal parametro S che tiene conto della categoria di sottosuolo e delle condizioni topografiche, per il nostro caso si ha:

$$\underline{SLV} \quad a_g \times S = a_g \times S_s \times S_t = 0,175 \times 1,2 \times 1,2 = \mathbf{0,252 \text{ g}}$$

dove

a_g = accelerazione orizzontale massima attesa nel sito; S_s Coefficiente di amplificazione stratigrafica; S_t coefficiente di amplificazione topografica.

10.0 CONCLUSIONI

In base a l'indagine geologica eseguita ed all'analisi comparativa degli elementi topografici, geologici, geomorfologici, litostratigrafici, idrologici ed idrogeologici evidenziati risulta che:

- **GEOLOGIA:** il substrato del sito in oggetto è costituito dalla Formazione sedimentaria marina denominata *Associazione Arenaceo-pelitica* sub affiorante nell'area.

- **GEOMORFOLOGIA:** l'area risulta attualmente stabile dal punto di vista gravitativo. Non si hanno evidenze di dissesti attuali o quiescenti nel sito in studio.

L'analisi di calcolo con verifica di stabilità della scarpata sul lato nord dell'edificio, ha dato risultati al limite della sicurezza, con un coefficiente minimo di F_a pari a 1,08 (tabulati in allegato).

Inserendo nel calcolo della verifica una paratia di contenimento il coefficiente aumenta fino a 1,25 (schema e tabulati in allegato).

Ogni minima variazione delle caratteristiche geomeccaniche dei terreni potrebbe abbassare tale coefficiente di sicurezza nel tempo; in contrapposizione a questo rischio è preventivabile una paratia di contenimento lungo il pendio che ne aumenti le forze di resistenza. Per una maggiore completezza dell'analisi, si consiglia oltre ad ulteriori prove geotecniche sui terreni costituenti il pendio della scarpata, di monitorare anche l'area per verificare nel tempo le condizioni di stabilità della stessa, in relazione alla vicinanza del manufatto di intervento. Un adeguato

monitoraggio non può prescindere dalla installazione di tubi inclinometrici lungo il versante ed in prossimità dell'edificio.

- Coefficiente di amplificazione topografica $St = 1,2$.
- IDROGEOLOGIA: durante le indagini non sono state rinvenute manifestazioni idriche in prossimità della superficie...
- PARAMETRI GEOTECNICI: La formazione del substrato (alterata/integra) ha caratteristiche geotecniche discrete/buone. Per i parametri medi (F_m) i valori sono espressi analiticamente nel paragrafo 8.
- PARAMETRIZZAZIONE SISMICA: il suolo di fondazione dell'area in oggetto può essere classificato come di categoria B (per altri parametri sismici si vedano tabulati in allegato).

L'approccio semplificato dei parametri sismici di progetto, ha permesso di ricavare per il sito in oggetto una accelerazione a_g pari a 0,252.

▪

Porto Recanati (Mc), marzo 2018

Dott. Geologo
Paolo Giacomelli

INDAGINE GEOFISICA HVSR

Proprietà Villa Spada- casa del custode - Treia

Prova HVSR 1

Prova HVSR 2

Geologo Paolo Giacomelli

PREMESSA

La presente indagine ha lo scopo di eseguire una caratterizzazione sismica del sottosuolo, individuare le discontinuità sismiche e ricostruire la profondità del locale sub-strato geologico (o meglio bedrock geofisico). Come richiesto dalle Norme Tecniche per le Costruzioni del 14 Gennaio 2008, con tale metodo è possibile eseguire una stima della velocità di propagazione delle onde di taglio nei primi 30 metri di profondità ($V_s 30$) e determinare, quindi, la categoria sismica del suolo utile per il calcolo dell'azione sismica di progetto.

Tale indagine geofisica si basa sulla tecnica di Nakamura e sul rapporto H/V. La tecnica HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio) è una prospezione geofisica non invasiva, molto rapida e applicabile ovunque senza la necessità di perforazione né di energizzazioni esterne; essa si basa, difatti, sulla misura del "rumore sismico ambientale", chiamato anche microtremore (poiché riguarda oscillazioni molto più piccole di quelle indotte da terremoti nel campo prossimo all'epicentro), ovunque presente sulla superficie terrestre.

Tale indagine permette di ricavare:

- **frequenza caratteristica di risonanza del sito** , rappresenta un parametro fondamentale per il corretto dimensionamento degli edifici in termini di risposta sismica locale, in quanto si dovranno adottare adeguate precauzioni nell'edificare manufatti aventi la stessa frequenza di vibrazione del terreno per evitare l'effetto di "doppia risonanza" estremamente pericolosa per la stabilità degli stessi in caso di sisma;
- **frequenza fondamentale di risonanza di un edificio** , quando la misura viene effettuata all'interno dello stesso. Tale misura risulterà possibile confrontarla con quella caratteristica del sito e capire se in caso di sisma la struttura potrà essere o meno a rischio;
- **velocità media delle onde di taglio V_s e $V_s 30$** ,calcolata tramite un apposito codice di calcolo. E' necessario in questo caso, per l'affidabilità del risultato conoscere la profondità di un riflettore noto dalla stratigrafia (prova penetrometrica, sondaggio geognostico ecc..) e riconoscibile nella curva H/V. E' possibile calcolare la $V_s 30$ e la relativa categoria del suolo di fondazione come esplicitamente richiesto dal DM 14/01/08;
- **stratigrafia del sottosuolo**, con un range di indagine compreso tra 0.5 e 700 mt. di profondità, anche se il dettaglio maggiore si ha nei primi 100 mt. Il principio su cui si basa la presente tecnica, in termini di stratigrafia del sottosuolo, è rappresentato dalla definizione di strato inteso come unità distinta da quelle sopra e sottostanti per un contrasto d'impedenza, ossia per il rapporto tra i prodotti di velocità delle onde sismiche nel mezzo e densità del mezzo stesso.

CARATTERISTICHE DELLA STRUMENTAZIONE IMPIEGATA

Le misure di microtremore ambientale sono state eseguite per mezzo di un tromografo digitale portatile progettato specificamente per l'acquisizione del rumore sismico. Lo strumento (SARA GEOBOX 3CH 24 bit - SS45PACK, Sara electronic instruments s.r.l) è dotato di tre sensori elettrodinamici (velocimetri), da 4,5 Hz, orientati secondo le direzioni NS, EW e verticalmente, ad alta definizione. I dati di rumore, amplificati e digitalizzati a 24 bit equivalenti, sono stati acquisiti alle frequenze di campionamento di 300 Hz, per un tempo di 20 minuti.

Analisi dei dati per stazioni singole H/V

L'analisi e l'elaborazione del rumore sismico registrato è stata eseguita mediante il software GeoExplorer HVSR 2.2.1, prodotto e sviluppato dalla Sara electronic instruments s.r.l..

Dalla registrazione del rumore ambientale in campagna si ricava la curva H/V secondo la procedura descritta in Castellaro et al. (2005):

- larghezza finestre d'analisi di 20s;
- lisciamento secondo finestra triangolare con ampiezza pari a 10% della frequenza centrale;
- rimozione dei transetti sulla serie temporale degli H/V.

La curva H/V viene riprodotta creando una serie di modelli sintetici (che contemplano la propagazione delle onde di Rayleigh e di Love nel modo fondamentale e superiori in sistemi multistrato), fino a considerare per buono il modello teorico più vicino alle curve sperimentali. Tale operazione è possibile esclusivamente in presenza di un vincolo che può essere la profondità nota, tramite prove dirette, di un riflettore sismico il cui marker sia riconoscibile nelle curve H/V (Castellaro e Mulargia, 2008) o la velocità delle onde di taglio (V_s) del primo strato nota da altre indagini.

Nel caso specifico si sono ottenuti i seguenti risultati:

- velocità delle onde V_s a 30 mt, come esplicitamente richiesto dalle Norme Tecniche per le Costruzioni, D.M. 14/01/2008, è stata calcolata a partire dal piano campagna, ed è pari, considerando entrambe le prove effettuate, a circa:

$$V_{s30} (0,0-30,0) = 411 \text{ m/s}$$

- **categoria di suolo di tipo "B"**, *Depositi di sabbie o ghiaie molto addensate o argille molto consistenti*, con spessori di diverse decine di metri, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s30} compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero resistenza penetrometrica NSPT > 50, o coesione non drenata $C_u > 250$ kPa)
- per quanto riguarda le frequenze caratteristiche del sito, non si notano amplificazioni rilevanti: il picco intorno a 30hz è molto superficiale, al passaggio riporto- substrato alterato inferiore al metro, poi si nota un picco a 5 Hz e dovrebbe essere il passaggio a substrato più cementato a circa 8 m, mentre i picchi a <0,5 Hz sono dovuti allo spostamento dello strumento (che potrebbe aver disturbato la banda compresa fra 0,2-5 Hz). La frequenza caratteristica di sito è pari a:

$$5,00 \pm 0,1 \text{ Hz (in un range 0.2 – 30,0 Hz)}$$

Sarà cura del progettista, al fine di evitare pericolosi fenomeni di doppia risonanza in caso di sisma, progettare una struttura con frequenze fondamentali di oscillazione lontane (per un fattore di almeno 1.4) da quelle tipiche del terreno nel sito specifico di edificazione.

E' da tenere presente che le frequenze dei modi di vibrare delle strutture dipendono principalmente dalla loro altezza. Nel seguente grafico è schematizzata, per edifici standard in c.a., la relazione esistente tra l'altezza della struttura e il primo modo vibrazionale.

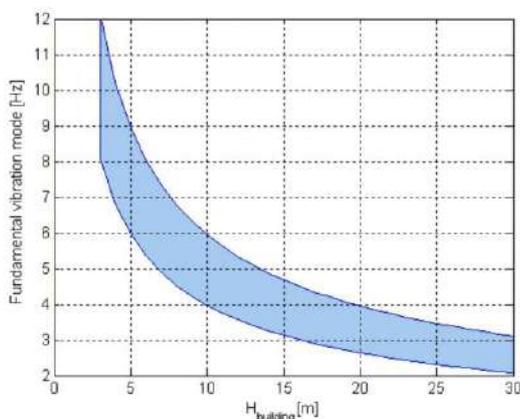


Fig.1 - Relazione tipica tra la frequenza di primo modo flessionale di vibrare ed altezza di una struttura (da S. Castellaro 2008)

Nel grafico a lato si osserva che le frequenze superiori ai 10-12 Hz non interagiscono con i fabbricati civili e, pertanto, possono essere considerate dal punto di vista ingegneristico non significative, mentre, frequenze fondamentali di risonanza del terreno inferiori a 10-12 Hz, interagiscono con quelle dei fabbricati in modo inversamente proporzionale all'altezza, negli edifici multi-piano le frequenze fondamentali risultano progressivamente più basse.

Di seguito i certificati e i risultati delle prove.

STATION INFORMATION

Station code: TR1-S1

Model: SARA GEOBOX

Sensor: SARA SS45PACK (integrated 4.5 Hz sensors)

PLACE INFORMATION

Place ID: Comune di Treia

Address: Lead Time Spa

Latitude:

Longitude:.

Coordinate system: WGS84

Weather: soleggiato assenza di vento

SIGNAL AND WINDOWING

Sampling frequency: 300 Hz

Recording start time: 2017/09/30

Recording length: 9.99 min

Windows count: 25

Average windows length: 20

Signal coverage: 83.41%

Geologo
Paolo Giacomelli

SIGNAL AND WINDOWING

Sampling frequency: 300 Hz

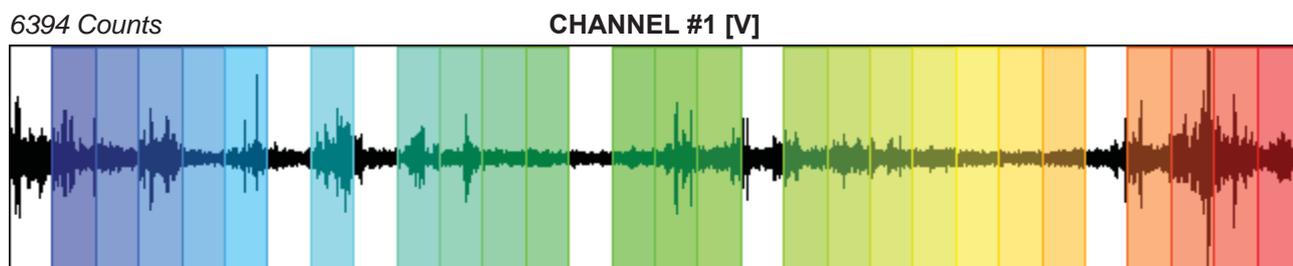
Recording start time: 2017/09/30 13:22:27

Recording length: 10 min

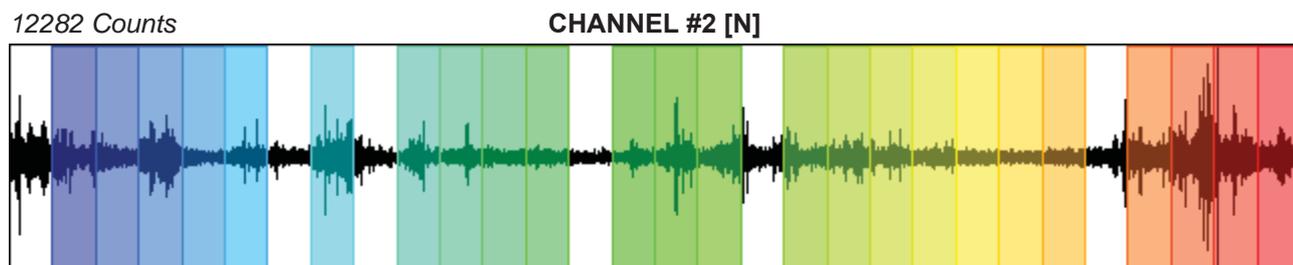
Windows count: 24

Average windows length: 20

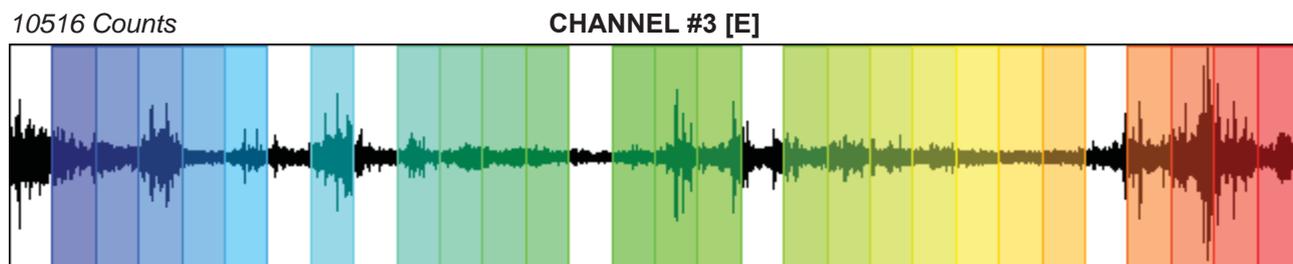
Signal coverage: 80%



-6539 Counts



-12214 Counts



-9796 Counts

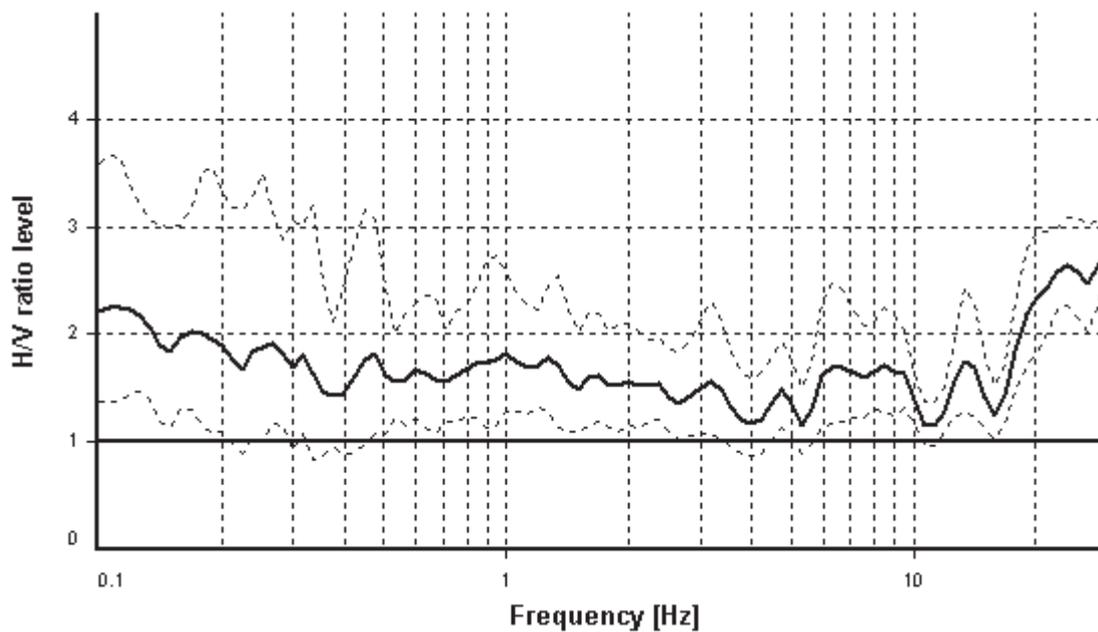
HVSR ANALYSIS

Tapering: Enabled (Bandwidth = 5%)

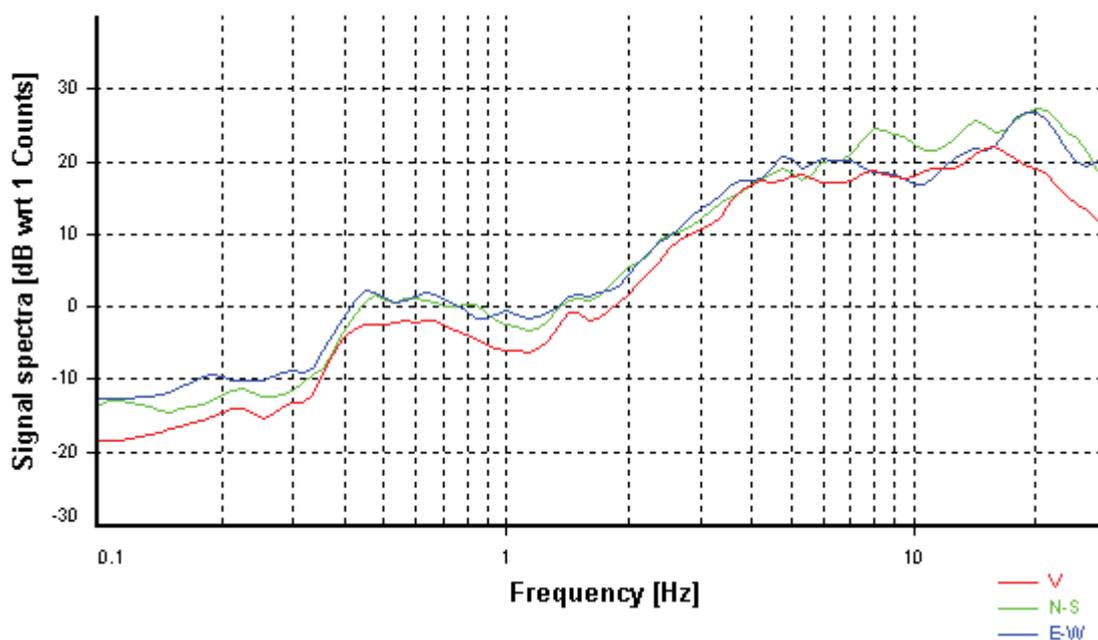
Smoothing: Konno-Ohmachi (Bandwidth coefficient = 40)

Instrumental correction: Disabled

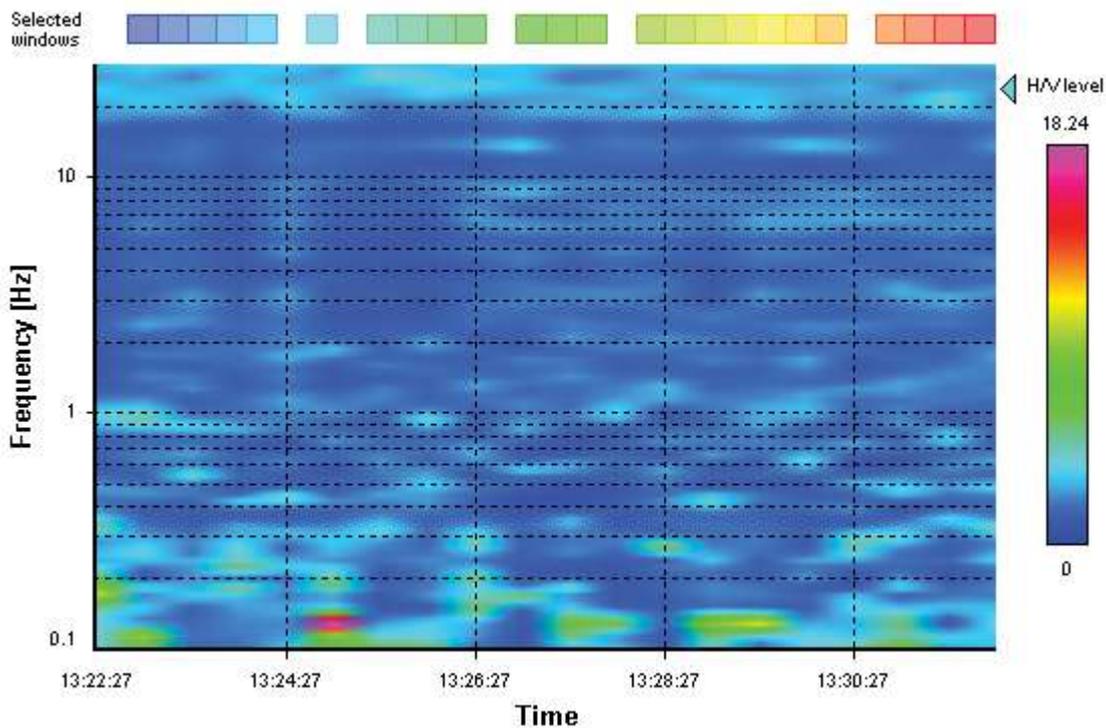
HVSR average



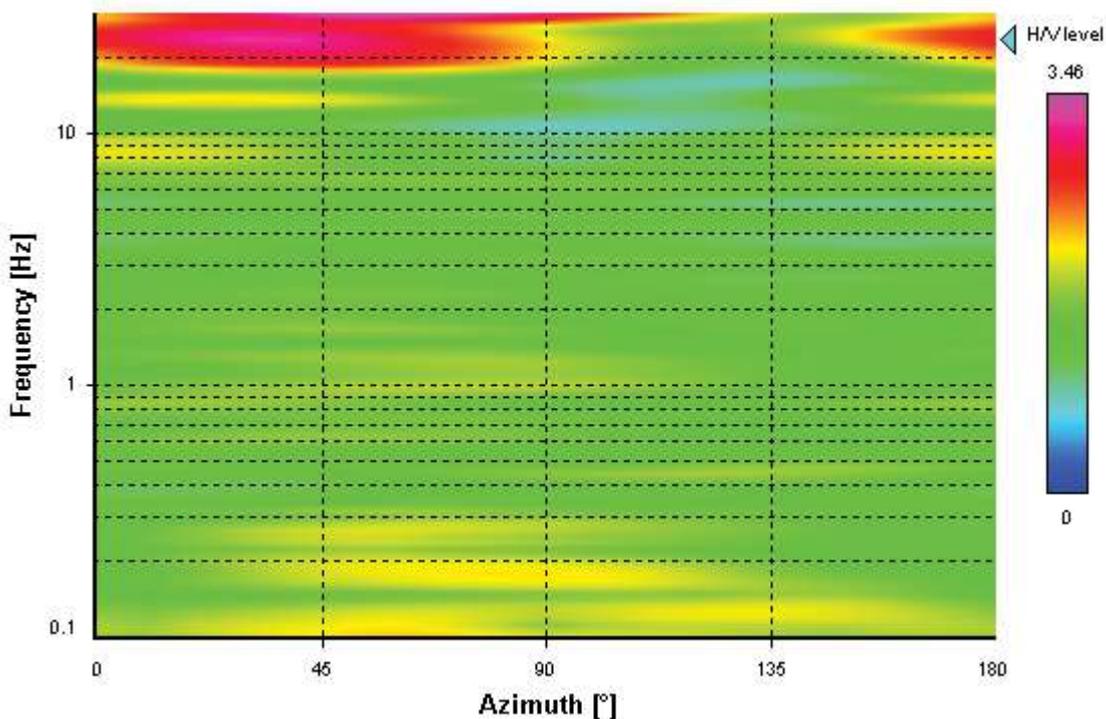
Signal spectra average



HVSR time-frequency analysis (30 seconds windows)



HVSR directional analysis



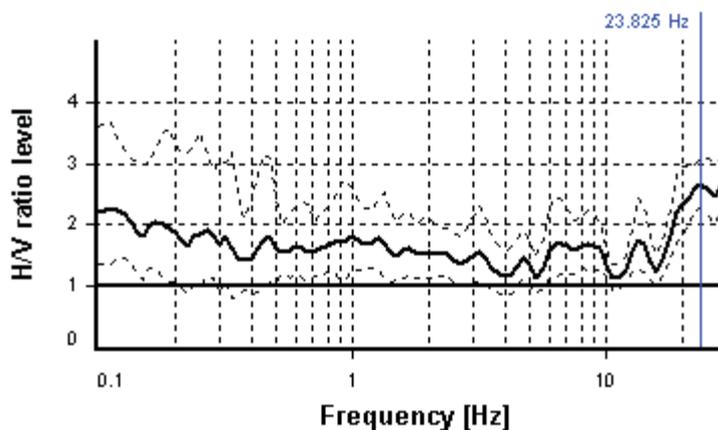
SESAME CRITERIA

Selected f_0 frequency

23.825 Hz

A_0 amplitude = 2.648

Average $f_0 = 25.598 \pm 4.289$



HVSR curve reliability criteria		
$f_0 > 10 / L_w$	24 valid windows (length > 0.42 s) out of 24	OK
$n_c(f_0) > 200$	11436.07 > 200	OK
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$	Exceeded 0 times in 17	OK
HVSR peak clarity criteria		
$\exists f$ in $[f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f) < A_0/2$	15.91789 Hz	OK
$\exists f^+$ in $[f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0/2$	0 Hz	NO
$A_0 > 2$	2.65 > 2	OK
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	25.92% > 5%	NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	4.2888 >= 1.19126	NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	1.16407 < 1.58	OK
Overall criteria fulfillment		NO

SIGNAL AND WINDOWING

Sampling frequency: 300 Hz

Recording start time: 2017/09/30 13:41:09

Recording length: 10 min

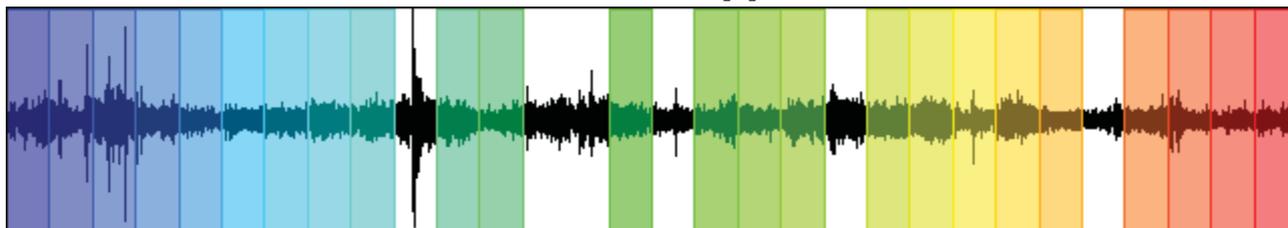
Windows count: 24

Average windows length: 20

Signal coverage: 80%

1954 Counts

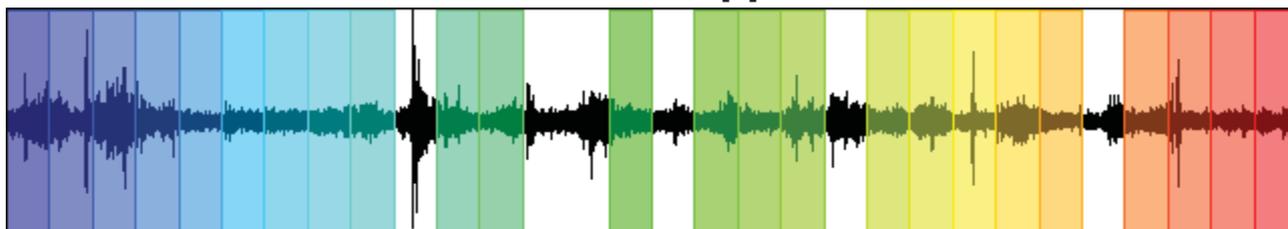
CHANNEL #1 [V]



-1869 Counts

2402 Counts

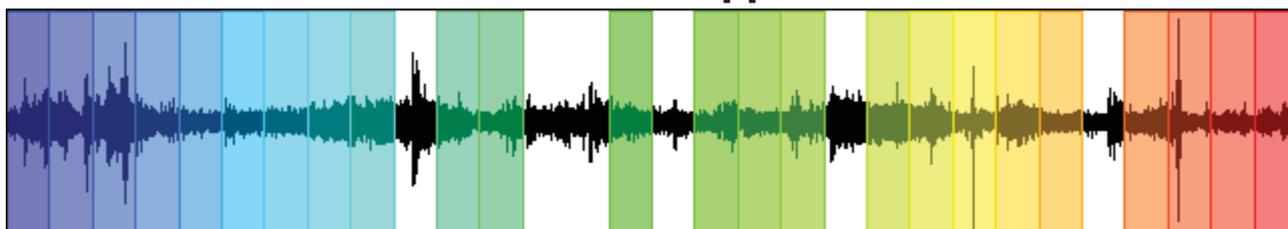
CHANNEL #2 [N]



-2296 Counts

2205 Counts

CHANNEL #3 [E]



-2363 Counts

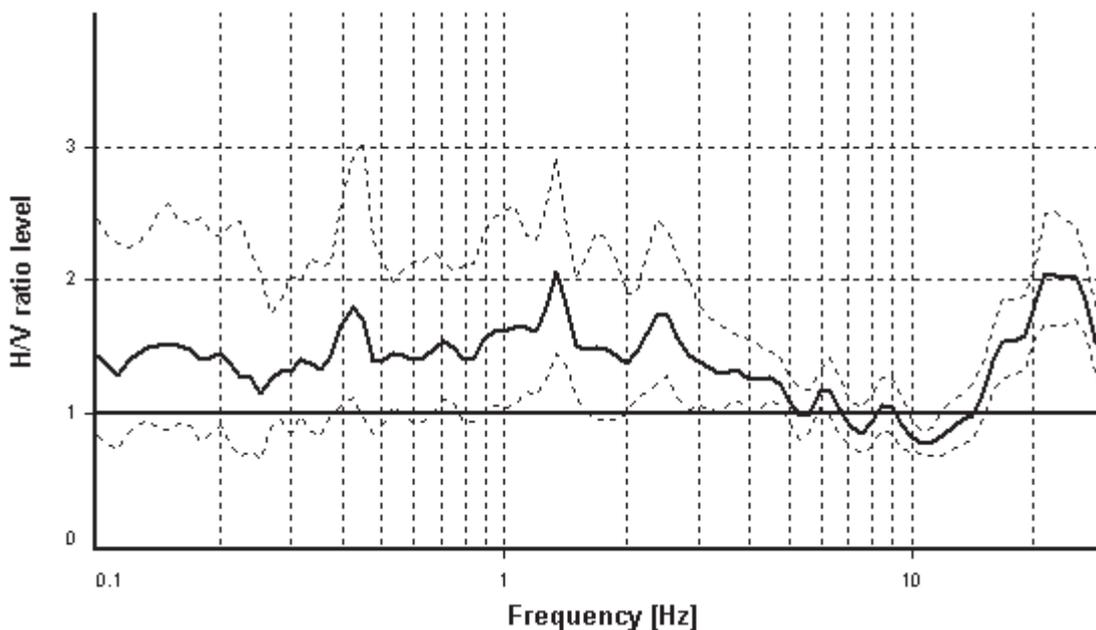
HVSR ANALYSIS

Tapering: Enabled (Bandwidth = 5%)

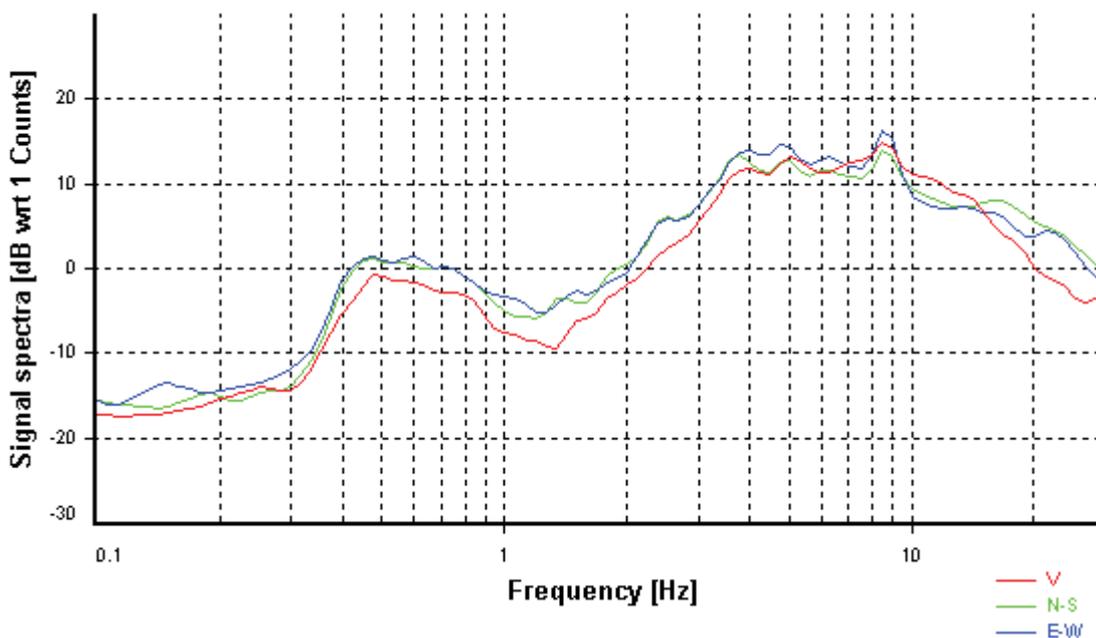
Smoothing: Konno-Ohmachi (Bandwidth coefficient = 40)

Instrumental correction: Disabled

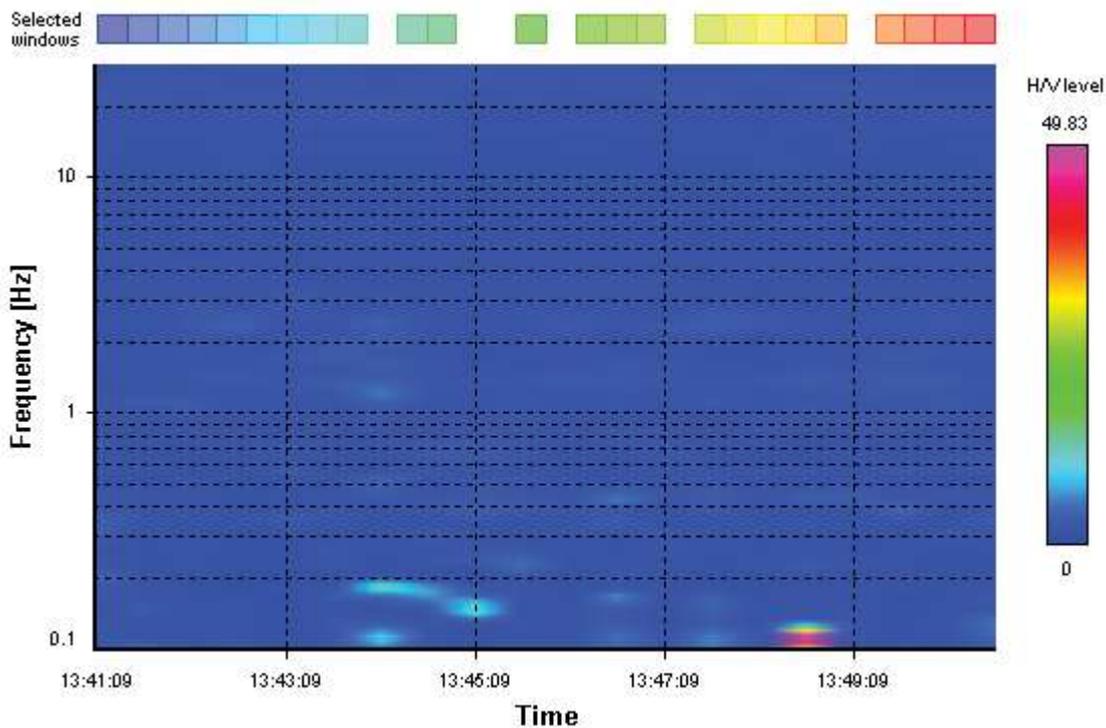
HVSR average



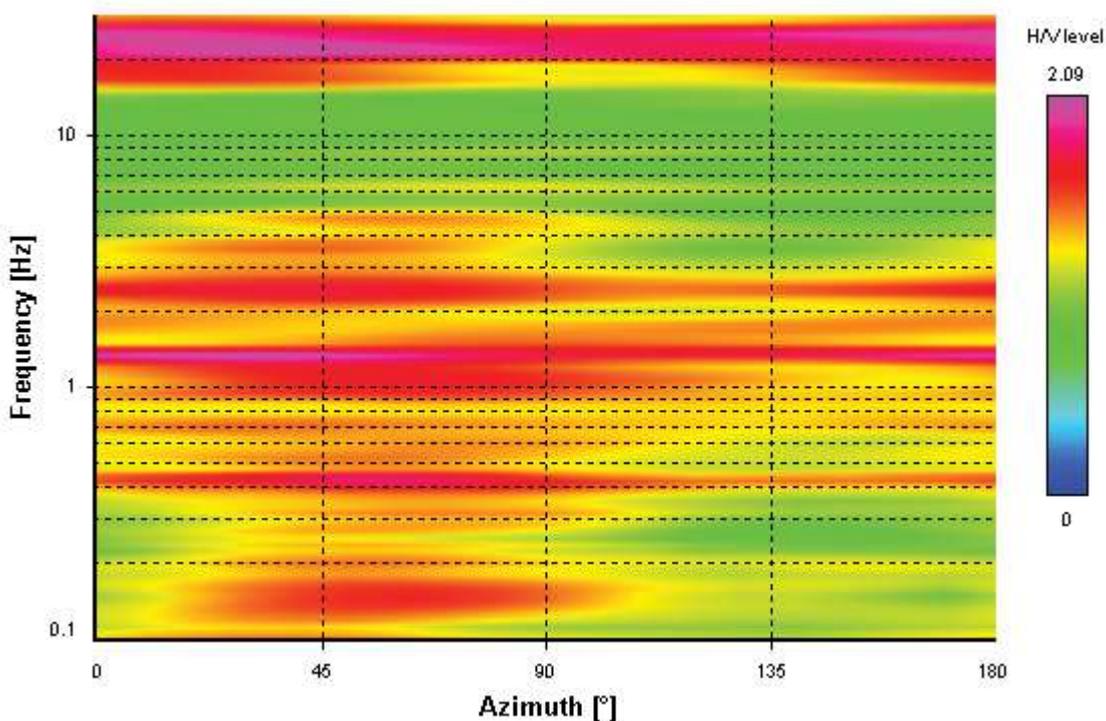
Signal spectra average



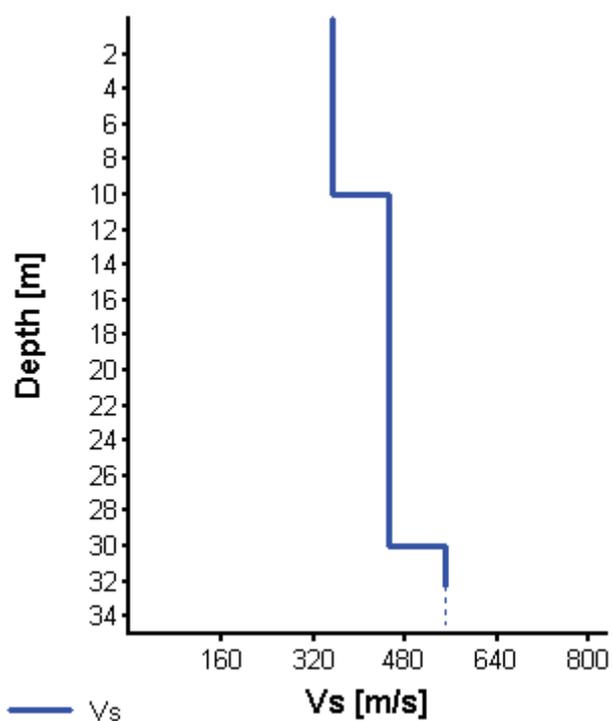
HVSR time-frequency analysis (30 seconds windows)



HVSR directional analysis



H [m]	D [m]	Vp [m/s]	Vs [m/s]	ρ [kg/m ³]
10	10	700	350	1950
20	30	900	450	2000
-	> 30	1100	550	2050



Vs 30 = 411 m/s (Offset = 0 m)

Dott. Paolo Giacomelli
Geologo

Ordine regionale dei geologi N. 369

Codice Fiscale: GCM PLA 64E04 E783S

P.I. 01259920435

**Studio di
Geologia
Idrogeologia
Geotecnica**

COMUNE DI TREIA (MC)

**LAVORI DI RISTRUTTURAZIONE E RIPRISTINO CON
MIGLIORAMENTO SISMICO DELL'IMMOBILE
DENOMINATO "CASA DEL CUSTODE"
ANNESSO AL COMPLESSO DI VILLA SPADA**

RELAZIONE ANALISI STABILITÀ' PENDIO



RELAZIONE DI CALCOLO

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 (ϕ), 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 (τ) e confrontate con la resistenza disponibile (τ_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

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

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

Metodo di FELLENIUS (1927)

Con questo metodo (valido solo per superfici di scorrimento di forma circolare) vengono trascurate le forze di interstriscia pertanto le incognite si riducono a:

n valori delle forze normali N_i ;

n valori delle forze da taglio T_i ;

1 fattore di sicurezza.

Incognite $(2n+1)$

Le equazioni a disposizione sono:

n equazioni di equilibrio alla traslazione verticale;

n equazioni relative al criterio di rottura;

1 equazione di equilibrio dei momenti globale.

$$F = \frac{\sum \{ c_i \times l_i + (W_i \times \cos \alpha_i - u_i \times l_i) \times \tan \varphi_i \}}{\sum W_i \times \sin \alpha_i}$$

Questa equazione è semplice da risolvere ma si è trovato che fornisce risultati conservativi (fattori di sicurezza bassi) soprattutto per superfici profonde.

Metodo di BISHOP (1955)

Con tale metodo non viene trascurato nessun contributo di forze agenti sui blocchi e fu il primo a descrivere i problemi legati ai metodi convenzionali.

Le equazioni usate per risolvere il problema sono:

$\sum F_v = 0, \sum M_0 = 0$, Criterio di rottura.

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

I valori di F e di ΔX per ogni elemento che soddisfano questa equazione danno una soluzione rigorosa al problema. Come prima approssimazione conviene porre $\Delta X = 0$ ed iterare per il calcolo del fattore di sicurezza, tale procedimento è noto come metodo di **Bishop ordinario**, gli errori commessi rispetto al metodo completo sono di circa 1 %.

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.

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

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:

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

dove f_o è riportato in grafici funzione di geometria e parametri geotecnici.

Tale correzione è molto attendibile per pendii poco inclinati.

Metodo di BELL (1968)

Le forze agenti sul corpo che scivola includono il peso effettivo del terreno, W , le forze sismiche pseudostatiche orizzontali e verticali $K_x W$ e $K_z W$, le forze orizzontali e verticali X e Z applicate esternamente al profilo del pendio, infine, la risultante degli sforzi totali normali e di taglio σ e τ agenti sulla superficie potenziale di scivolamento.

Lo sforzo totale normale può includere un eccesso di pressione dei pori u che deve essere specificata con l'introduzione dei parametri di forza efficace.

In pratica questo metodo può essere considerato come un'estensione del metodo del cerchio di attrito per sezioni omogenee precedentemente descritto da Taylor.

In accordo con la legge della resistenza di Mohr-Coulomb in termini di tensione efficace, la forza di taglio agente sulla base dell' i -esimo concio è data da:

$$T_i = \frac{c_i L_i + (N_i - u_{ci} L_i) \tan \phi_i}{F}$$

in cui

F = il fattore di sicurezza;

c_i = la coesione efficace (o totale) alla base dell' i -esimo concio;

ϕ_i = l'angolo di attrito efficace (= 0 con la coesione totale) alla base dell' i -esimo concio;

L_i = la lunghezza della base dell' i -esimo concio;

u_{ci} = la pressione dei pori al centro della base dell' i -esimo concio.

L'equilibrio risulta uguagliando a zero la somma delle forze orizzontali, la somma delle forze verticali e la somma dei momenti rispetto all'origine.

Viene adottata la seguente assunzione sulla variazione della tensione normale agente sulla potenziale superficie di scorrimento:

$$\sigma_{ci} = \left[C_1 (1 - K_z) \frac{W_i \cos \alpha_i}{L_i} \right] + C_2 f(x_{ci}, y_{ci}, z_{ci})$$

in cui il primo termine dell'equazione include l'espressione:

$W_i \cos \alpha_i / L_i$ = valore dello sforzo normale totale associato con il metodo ordinario dei conchi.

Il secondo termine dell'equazione include la funzione:

$$f = \sin 2\pi \left(\frac{x_n - x_{ci}}{x_n - x_0} \right)$$

Dove x_0 ed x_n sono rispettivamente le ascisse del primo e dell'ultimo punto della superficie di scorrimento, mentre x_{ci} rappresenta l'ascissa del punto medio della base del concio i -esimo.

Una parte sensibile di riduzione del peso associata con una accelerazione verticale del terreno $K_Z g$ può essere trasmessa direttamente alla base e ciò è incluso nel fattore $(1 - K_Z)$.

Lo sforzo normale totale alla base di un concio è dato da:

$$N_i = \sigma_{ci} L_i$$

La soluzione delle equazioni di equilibrio si ricava risolvendo un sistema lineare di tre equazioni ottenute moltiplicando le equazioni di equilibrio per il fattore di sicurezza F , sostituendo l'espressione di N_i e moltiplicando ciascun termine della coesione per un coefficiente arbitrario C_3 .

Si assume una relazione di linearità tra detto coefficiente, determinabile tramite la regola di Cramer, ed il fattore di sicurezza F . Il corretto valore di F può essere ottenuto dalla formula di interpolazione lineare:

$$F = F(2) + \left(\frac{1 - C_3(2)}{C_3(2) - C_3(1)} \right) (F(2) - F(1))$$

dove i numeri in parentesi (1) e (2) indicano i valori iniziale e successivo dei parametri F e C_3 .

Qualsiasi coppia di valori del fattore di sicurezza nell'intorno di una stima fisicamente ragionevole può essere usata per iniziare una soluzione iterativa.

Il numero necessario di iterazioni dipende sia dalla stima iniziale sia dalla desiderata precisione della soluzione; normalmente, il processo converge rapidamente.

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_H e F_V rispettivamente la componente orizzontale e verticale della forza d'inerzia applicata al baricentro del concio; W : peso concio K_o : Coefficiente sismico orizzontale K_v : Coefficiente sismico verticale.

Calcolo coefficienti sismici

Le NTC 2008 calcolano i coefficienti K_o e K_v in dipendenza di vari fattori:

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

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

Con

β_s coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito;

a_{max} 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.

$$a_{max} = S_S S_T a_g$$

S_S (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).

S_T (effetto di amplificazione topografica).

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

$$T1(S_T = 1.0) \quad T2(S_T = 1.20) \quad T3(S_T = 1.20) \quad T4(S_T = 1.40).$$

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:

$$T_R = -V_R / \ln(1 - PVR)$$

Con V_R 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 V_R dovrà essere maggiore o uguale a 35 anni.

Con l'**OPCM 3274** e successive modifiche, i coefficienti sismici orizzontale K_0 e verticale K_v che interessano tutte le masse vengono calcolati come:

$$K_0 = S \cdot (a_g/g) \quad K_v = 0.5 \cdot K_0$$

S : fattore dipendente dal tipo di suolo secondo lo schema:

tipo A - $S=1$; tipo B - $S=1.25$; tipo C - $S=1.25$; tipo E - $S=1.25$; tipo D - $S=1.35$.

Per pendii con inclinazione superiore a 15° e dislivello superiore a 30 m, l'azione sismica deve essere incrementata moltiplicandola per il coefficiente di amplificazione topografica S_T :

$S_T \geq 1,2$ per siti in prossimità del ciglio superiore di pendii scoscesi isolati;
 $S_T \geq 1,4$ per siti prossimi alla sommità di profili topografici aventi larghezza in testa molto inferiore alla larghezza alla base e pendenza media $> 30^\circ$; $S_T \geq 1,2$ per siti dello stesso tipo ma pendenza media inferiore.

L'applicazione del **D.M. 88** e successive modifiche ed integrazioni è consentito mediante l'inserimento del coefficiente sismico orizzontale K_0 in funzione delle Categorie Sismiche secondo il seguente schema: I Cat. $K_0=0.1$; II Cat. $K_0=0.07$; III Cat. $K_0=0.04$

Per l'applicazione dell'**Eurocodice 8** (progettazione geotecnica in campo sismico) il coefficiente sismico orizzontale viene così definito:

$$K_0 = a_{gR} \cdot \gamma_I \cdot S / (g)$$

a_{gR} : accelerazione di picco di riferimento su suolo rigido affiorante,

γ_I : fattore di importanza,

S : soil factor e dipende dal tipo di terreno (da A ad E).

$$a_g = a_{gR} \cdot \gamma_I$$

è la "design ground acceleration on type A ground".

Il coefficiente sismico verticale K_v è definito in funzione di K_0 , e vale:

$$K_v = \pm 0.5 \cdot K_0$$

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 $m \times n$ e raggio variabile in un determinato range di valori tale da esaminare superfici cinematicamente ammissibili.

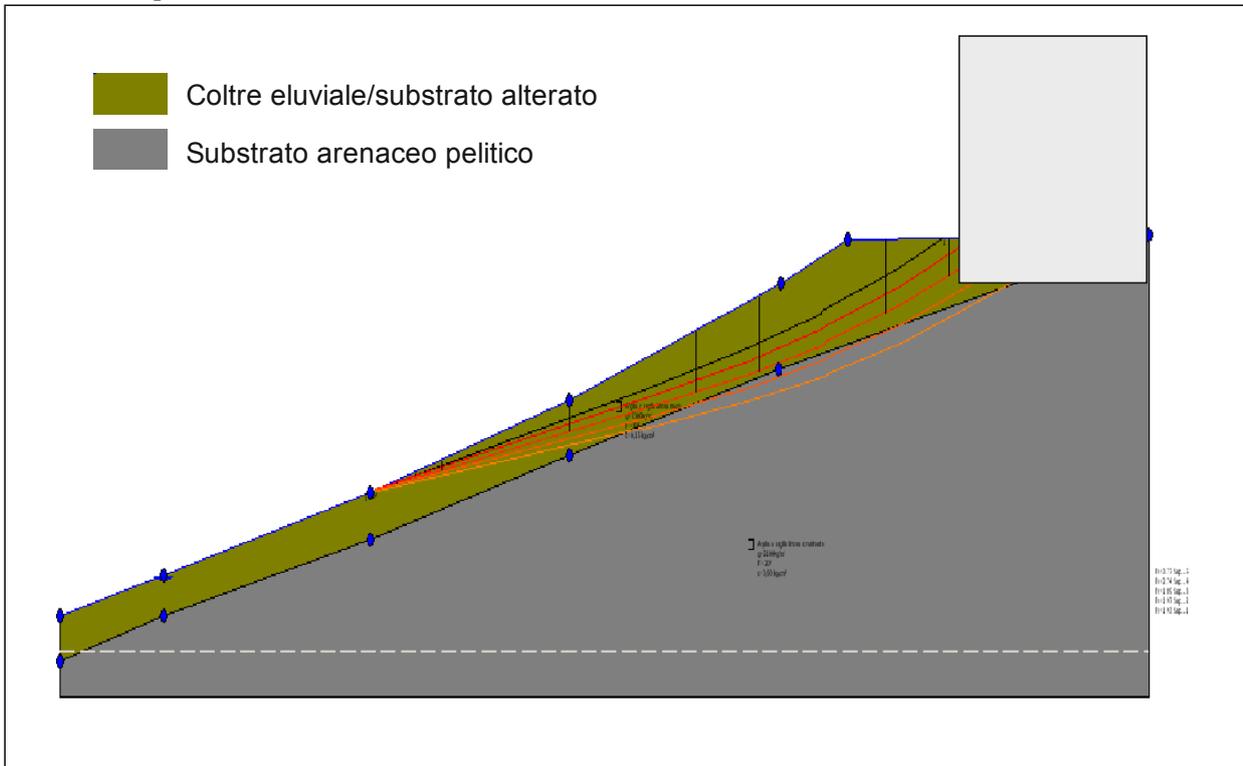


Fig.1 – Sezione geologica X-X' e parametri geotecnici dei terreni per il calcolo

Analisi di stabilità del pendio con BELL

=====

==

Numero di strati	2,0
Numero dei conci	10,0
Coefficiente di sicurezza [R2]	1,1
Superficie di forma generica	n.5 superfici

=====

Coefficienti sismici [N.T.C.]

=====

==

Dati generali

Descrizione:	
Latitudine:	0,0
Longitudine:	0,0
Tipo opera:	2 - Opere ordinarie
Classe d'uso:	Classe IV
Vita nominale:	50,0 [anni]
Vita di riferimento:	100,0 [anni]

Parametri sismici su sito di riferimento

Categoria sottosuolo: B
Categoria topografica: T2

S.L. Stato limite	TR Tempo ritorno [anni]	ag [m/s ²]	F0 [-]	TC* [sec]
S.L.O.	60,0	0,11	2,45	0,29
S.L.D.	101,0	0,14	2,43	0,31
S.L.V.	949,0	0,31	2,47	0,34
S.L.C.	1950,0	0,36	2,52	0,35

Coefficienti sismici orizzontali e verticali

Opera: Stabilità dei pendii

S.L. Stato limite	amax [m/s ²]	beta [-]	kh [-]	kv [sec]
S.L.O.	0,165	0,2	0,0034	0,0017
S.L.D.	0,21	0,2	0,0043	0,0021
S.L.V.	0,465	0,2	0,0095	0,0047
S.L.C.	0,54	0,2	0,011	0,0055

Coefficiente azione sismica orizzontale 0,0034
Coefficiente azione sismica verticale 0,0017

Vertici profilo

N	X m	y m
1	0,0	0,0
2	22,5	4,65
3	67,0	13,7
4	110,0	24,0
5	155,5	37,0
6	170,0	42,0
7	235,0	42,5

Falda

Nr.	X m	y m
1	0,0	0,0
2	22,5	4,65
3	67,0	13,7
4	110,0	24,0
5	155,5	37,0
6	170,0	42,0
7	235,0	42,5

Vertici strato1

N	X m	y m
1	0,0	-5,0
2	22,5	0,0
3	67,0	8,5
4	110,0	18,0
5	155,0	27,5
6	235,0	42,5

Vertici superficie Nr...1

N	X m	y m
1	65,92	13,58
2	124,91	25,04
3	125,14	25,04
4	148,44	29,83
5	148,44	29,83
6	164,25	33,68
7	164,41	33,92
8	180,83	38,67
9	190,64	42,19

Vertici superficie Nr...2

N	X m	y m
1	68,12	14,07
2	125,1	24,01
3	125,33	24,01
4	148,71	28,38
5	148,71	28,38
6	164,59	31,96
7	164,75	32,19

8	181,25	36,66
9	197,71	42,24

Vertici superficie Nr...3

N	X m	y m
1	67,63	13,95
2	125,27	22,98
3	125,5	22,97
4	148,95	26,94
5	148,95	26,94
6	164,89	30,24
7	165,06	30,47
8	181,64	34,65
9	205,58	42,3

Vertici superficie Nr...4

N	X m	y m
1	67,31	13,88
2	125,43	21,94
3	125,66	21,93
4	149,17	25,49
5	149,17	25,49
6	165,17	28,51
7	165,34	28,73
8	181,99	32,62
9	214,4	42,37

Vertici superficie Nr...5

N	X m	y m
1	67,1	13,83
2	125,56	20,9
3	125,79	20,88
4	149,37	24,03
5	149,37	24,03
6	165,41	26,78
7	165,58	27,0
8	182,3	30,6
9	224,36	42,44

Stratigrafia

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

Strato	c (kg/cm ²)	Fi (°)	G (Kg/m ³)	Gs (Kg/m ³)	K (Kg/cm ³)	Litologia	
1	0,15	19	2000	2100	0,00		Argilla o argilla limosa media
2	0,90	20	2100	2300	0,00		Argilla e sabbie molto consistente

B: Larghezza del concio; Alfa: Angolo di inclinazione della base del concio; Li: Lunghezza della base del concio; Wi: Peso del concio ; Ui: Forze derivanti dalle pressioni neutre; Ni: forze agenti

normalmente alla direzione di scivolamento; Ti: forze agenti parallelamente alla superficie di scivolamento; Fi: Angolo di attrito; c: coesione.

Superficie Nr...1 Fattore di sicurezza=1,24

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (Kg)	Kh•Wi (Kg)	Kv•Wi (Kg)	c (kg/cm ²)	Fi (°)	Ui (Kg)	N'i (Kg)	Ti (Kg)
1	12,15	11,0	12,38	7012,52	23,84	11,92	0,12	15,4	0,016568,2	9888,7	
2	12,15	11,0	12,38	21037,57	71,53	35,76	0,12	15,4	0,049702,3	14602,7	
3	12,15	11,0	12,38	35062,63	119,21	59,61	0,12	15,4	0,082836,3	19316,8	
4	12,15	11,0	12,38	50928,98	173,16	86,58	0,12	15,4	0,0120320,6	24649,8	
5	12,15	11,0	12,38	79195,42	269,26	134,63	0,12	15,4	0,0187589,1	34220,2	
6	12,15	11,6	12,41	105757,7	359,58	179,79	0,12	15,4	0,0263986,4	45089,4	
7	12,15	12,6	12,45	127908,0	434,89	217,44	0,12	15,4	0,0347226,2	56932,2	
8	12,15	14,9	12,58	147570,9	501,74	250,87	0,12	15,4	0,0478655,5	75630,9	
9	12,15	16,2	12,65	148263,5	504,12	252,05	0,12	15,4	0,0522079,6	81809,0	
10	12,15	19,0	12,85	2275,95	177,74	88,87	0,12	15,4	0,0219188,2	38715,9	

Superficie Nr...2 Fattore di sicurezza=1,17

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (Kg)	Kh•Wi (Kg)	Kv•Wi (Kg)	c (kg/cm ²)	Fi (°)	Ui (Kg)	N'i (Kg)	Ti (Kg)
1	12,79	9,9	12,99	11177,61	38,0	19,0	0,12	15,4	0,024987,3	11271,0	
2	12,79	9,9	12,99	33532,86	114,01	57,01	0,12	15,4	0,074852,1	18234,1	
3	12,79	9,9	12,99	55888,13	190,02	95,01	0,12	15,4	0,0124716,8	25197,1	
4	12,79	9,9	12,99	83785,97	284,87	142,44	0,12	15,4	0,0186946,0	33886,7	
5	12,79	10,2	13,01	21188,5	412,04	206,02	0,12	15,4	0,0277797,6	46573,1	
6	12,79	10,6	13,01	156410,9	531,8	265,9	0,12	15,4	0,0374319,8	60051,4	
7	12,79	12,3	13,09	184854,5	628,51	314,25	0,12	15,4	0,0516948,5	79967,9	
8	12,79	14,9	13,24	215785,7	733,67	366,84	0,12	15,4	0,0734931,1	110406,7	
9	12,79	16,2	13,32	85045,06	289,15	144,58	0,12	15,4	0,0315171,2	51791,9	
10	12,79	18,7	13,51	29824,25	101,4	50,7	0,12	15,4	0,0129285,1	25835,0	

Superficie Nr...3 Fattore di sicurezza=1,08 (il più basso calcolato)

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (Kg)	Kh•Wi (Kg)	Kv•Wi (Kg)	c (kg/cm ²)	Fi (°)	Ui (Kg)	N'i (Kg)	Ti (Kg)
1	13,66	8,9	13,83	16260,7	55,29	27,64	0,12	15,4	0,034781,7	13748,6	
2	13,66	8,9	13,83	48782,2	165,86	82,93	0,12	15,4	0,0104390,4	23897,2	
3	13,66	8,9	13,83	81303,66	276,43	138,22	0,12	15,4	0,0173999,2	34045,8	
4	13,66	8,9	13,83	122677,9	417,12	208,55	0,12	15,4	0,0262555,6	46956,9	
5	13,66	9,3	13,85	171828,2	584,22	292,11	0,12	15,4	0,0385414,4	4869,2	
6	13,66	9,9	13,87	217481,5	739,44	369,72	0,12	15,4	0,0518513,9	84274,5	

7	13,66	11,7	13,95258361,1	878,43439,21	0,12	15,4	0,0731835,8115375,8
8	13,66	14,8	14,13288213,6	979,93489,96	0,12	15,4	0,01041656,0160546,1
9	13,66	16,8	14,2794343,46	320,77160,38	0,12	15,4	0,0390170,165562,5
10	13,66	17,7	14,34 61160,1	207,94103,97	0,12	15,4	0,0267311,747650,4

Superficie Nr...4 Fattore di sicurezza=1,25

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (Kg)	Kh•Wi (Kg)	Kv•Wi (Kg)	c (kg/cm ²)	Fi (°)	Ui (Kg)	N'i (Kg)	Ti (Kg)
1	14,6	7,9	14,7422550,14	76,67	38,34	0,12	15,4	0,045594,1	10951,0		
2	14,6	7,9	14,7467650,41	230,01115,01	0,12	15,4	0,0136917,220110,3				
3	14,6	7,9	14,74112750,7	383,35191,68	0,12	15,4	0,0228240,029269,5				
4	14,6	7,8	14,73171664,6	583,66291,83	0,12	15,4	0,0342241,040703,4				
5	14,6	8,6	14,76235103,6	799,35399,68	0,12	15,4	0,0518906,258422,1				
6	14,6	9,6	14,8293181,1	996,82498,41	0,72	16,2	0,0721858,6114797,8				
7	14,6	12,3	14,94348674,1	1185,49592,75	0,72	16,2	0,01109304,0155873,6				
8	14,6	13,9	15,04316002,8	1074,41	537,2	0,72	16,2	0,01143545,0159503,8			
9	14,6	16,7	15,24102993,8	350,18175,09	0,12	15,4	0,0451792,451690,9				
10	14,6	16,7	15,2465541,69	222,84111,42	0,12	15,4	0,0287508,835214,0				

Superficie Nr...5 Fattore di sicurezza=1,38

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (Kg)	Kh•Wi (Kg)	Kv•Wi (Kg)	c (kg/cm ²)	Fi (°)	Ui (Kg)	N'i (Kg)	Ti (Kg)
1	15,63	6,9	15,7430403,63	103,37	51,69	0,12	15,4	0,057518,0	9163,4		
2	15,63	6,9	15,7491210,83	310,12155,06	0,12	15,4	0,0172503,117551,7				
3	15,63	6,9	15,74152018,2	516,86258,43	0,12	15,4	0,0287488,225940,0				
4	15,63	7,0	15,75232160,7	789,35394,67	0,72	16,2	0,0442355,163915,5				
5	15,63	7,6	15,77317311,1	1078,86539,43	0,72	16,2	0,0661734,980832,5				
6	15,63	9,3	15,84390856,7	1328,91664,46	0,72	16,2	0,0996981,2106684,3				
7	15,63	12,2	15,99248294,9	844,2	422,1	0,72	16,2	0,0840698,194632,9			
8	15,63	14,6	16,15186241,6	633,22316,61	0,72	16,2	0,0758924,488327,1				
9	15,63	15,7	16,24211737,3	719,91359,95	0,72	16,2	0,0932016,8101674,7				
10	15,63	15,7	16,24 70288,6	238,98119,49	0,12	15,4	0,0309394,327538,1				

Porto Recanati (Mc), gennaio 2108

Dott. Geologo
Paolo Giacomelli

**LAVORI DI RISTRUTTURAZIONE E RIPRISTINO CON
MIGLIORAMENTO SISMICO DELL'IMMOBILE
DENOMINATO "CASA DEL CUSTODE"
ANNESSO AL COMPLESSO DI VILLA SPADA**

**RELAZIONE ANALISI STABILITÀ' PENDIO
CON PARATIA DI CONTENIMENTO**



Progetto: Villa Spada-Treia
Ditta:
Comune:
Progettista:
Direttore dei Lavori:
Impresa:

Normative di riferimento

- Legge nr. 64 del 02/02/1974.
Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche.
- D.M. LL.PP. del 11/03/1988.
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.
- D.M. 16 Gennaio 1996
Norme Tecniche per le costruzioni in zone sismiche
- Circolare Ministero LL.PP. 15 Ottobre 1996 N. 252 AA.GG./S.T.C.
Istruzioni per l'applicazione delle Norme Tecniche di cui al D.M. 9 Gennaio 1996
- Circolare Ministero LL.PP. 10 Aprile 1997 N. 65/AA.GG.
Istruzioni per l'applicazione delle Norme Tecniche per le costruzioni in zone sismiche di cui al D.M. 16 Gennaio 1996

- Norme Tecniche per le Costruzioni 2008 (D.M. 14 Gennaio 2008) - Circolare 617 del 02/02/2009
- e successivo *Decreto Ministeriale 20.02.2018*.
Istruzioni per l'applicazione delle Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al D.M. 14 gennaio 2008.

Descrizione metodo di calcolo

La verifica alla stabilità del pendio deve fornire un coefficiente di sicurezza non inferiore a **1.10**.

Viene usata la tecnica della suddivisione a strisce della superficie di scorrimento da analizzare.

In particolare il programma esamina un numero di superfici che dipende dalle impostazioni fornite e che sono riportate nella corrispondente sezione. Il processo iterativo permette di determinare il coefficiente di sicurezza di tutte le superfici analizzate.

Nella descrizione dei metodi di calcolo si adatterà la seguente simbologia:

l	lunghezza della base della striscia
α	angolo della base della striscia rispetto all'orizzontale
b	larghezza della striscia $b=l \times \cos(\alpha)$
ϕ	angolo di attrito lungo la base della striscia
c	coesione lungo la base della striscia
γ	peso di volume del terreno
u	pressione neutra
W	peso della striscia
N	sforzo normale alla base della striscia
T	sforzo di taglio alla base della striscia
E_s, E_d	forze normali di interstriscia a sinistra e a destra
X_s, X_d	forze tangenziali di interstriscia a sinistra e a destra
E_a, E_b	forze normali di interstriscia alla base ed alla sommità del pendio
ΔX	variazione delle forze tangenziali sulla striscia $\Delta X = X_d - X_s$
ΔE	variazione delle forze normali sulla striscia $\Delta E = E_d - E_s$

Metodo di Bell

Bell suppone nota l'andamento della pressione normale lungo la superficie di rottura ed assume per la σ_i la seguente espressione

$$\sigma_i = C_1(1-K_y)W_i \cos \alpha_i / l_i + C_2 f(x,y)$$

La funzione $f(x,y)$ è espressa in funzione delle coordinate della striscia

$$f(x,y) = \sin 2\pi \frac{x_n - x_i}{x_n - x_0}$$

Per pareggiare il numero delle equazioni con il numero delle incognite introduce l'ulteriore incognita C_3 come moltiplicatore della coesione. Tale incognita dovrà essere in soluzione pari all'unità. Il coefficiente di sicurezza nel metodo di **Bell** si ottiene dalla risoluzione del seguente sistema di equazioni non lineari, nelle incognite C_1, C_2 e C_3 , ottenuto scrivendo l'equilibrio dell'intera massa alla traslazione orizzontale, verticale ed alla rotazione:

$$\begin{aligned} M_{11} C_1 + M_{12} C_2 + M_{13} C_3 &= V_1 \\ M_{21} C_1 + M_{22} C_2 + M_{23} C_3 &= V_2 \\ M_{31} C_1 + M_{32} C_2 + M_{33} C_3 &= V_3 \end{aligned}$$

dove i coefficienti del sistema si ricavano dalle equazioni di equilibrio e valgono:

$$\begin{aligned} M_{11} &= (1 - K_y) [\sum_i W_i \cos^2 \alpha_i \operatorname{tg} \phi_i - F \sum_i \cos \alpha_i \sin \alpha_i] \\ M_{12} &= \sum_i f_i b_i \operatorname{tg} \phi_i - F \sum_i f_i b_i \operatorname{tg} \alpha_i \\ M_{13} &= \sum_i c_i b_i \\ M_{21} &= (1 - K_y) [\sum_i W_i \cos \alpha_i \sin \alpha_i \operatorname{tg} \phi_i + F \sum_i W_i \cos^2 \alpha_i] \\ M_{22} &= \sum_i f_i b_i \operatorname{tg} \alpha_i \operatorname{tg} \phi_i + F \sum_i f_i b_i \\ M_{23} &= \sum_i c_i b_i \operatorname{tg} \alpha_i \\ M_{31} &= (1 - K_y) [\sum_i (W_i \cos^2 \alpha_i \operatorname{tg} \phi_i) y_{ci} + \sum_i (W_i \cos \alpha_i \sin \alpha_i \operatorname{tg} \phi_i) x_{ci}] + F [\sum_i (W_i \cos^2 \alpha_i) x_{ci} - \sum_i (W_i \cos \alpha_i \sin \alpha_i) y_{ci}] \\ M_{32} &= \sum_i (f_i b_i \operatorname{tg} \phi_i) y_{ci} + \sum_i (f_i b_i \operatorname{tg} \alpha_i \operatorname{tg} \phi_i) x_{ci} - F [\sum_i (f_i b_i \operatorname{tg} \alpha_i) y_{ci} + \sum_i (f_i b_i) x_{ci}] \\ M_{33} &= \sum_i (c_i b_i) y_{ci} + \sum_i (c_i b_i \operatorname{tg} \alpha_i) x_{ci} \\ V_1 &= \sum_i u_i b_i \operatorname{tg} \phi_i + F(K_x \sum_i W_i - X) \\ V_2 &= \sum_i u_i b_i \operatorname{tg} \alpha_i \operatorname{tg} \phi_i + F[(1 - K_y) \sum_i W_i + Z] \\ V_3 &= \sum_i (u_i b_i \operatorname{tg} \phi_i) y_{ci} + \sum_i (u_i b_i \operatorname{tg} \alpha_i \operatorname{tg} \phi_i) x_{ci} + F [K_x \sum_i W_i y_{cgi} + (1 - K_y) \sum_i W_i x_{cgi} - X y_x - Z x_y] \end{aligned}$$

La ricerca del fattore di sicurezza avviene operando sul coefficiente C_3 . Si comincia da due valori di F che individuano un intervallo all'interno del quale si può ritenere sia compreso il coefficiente di sicurezza soluzione del problema. Risolvendo il sistema si ricavano i due corrispondenti valori di C_3 e quindi si reitera prendendo come nuovo valore quello derivante dall'interpolazione:

$$F = F_f + \frac{1 - C_{3f}}{C_{3f} - C_{3i}} (F_f - F_i)$$

dove gli indici i ed f stanno rispettivamente per iniziale e finale. L'iterazione si può fermare quando la differenza tra l'ultimo F ricavato ed il penultimo è abbastanza piccola, oppure quando la differenza di C_3 dall'unità può essere ritenuta trascurabile.

Descrizione terreno

Simbologia adottata

Nr.	Indice del terreno
Descrizione	Descrizione terreno
γ	Peso di volume del terreno espresso in kg/mc
γ_w	Peso di volume saturo del terreno espresso in kg/mc
ϕ	Angolo d'attrito interno 'efficace' del terreno espresso in gradi
c	Coesione 'efficace' del terreno espressa in kg/cm ²
ϕ_u	Angolo d'attrito interno 'totale' del terreno espresso gradi
c_u	Coesione 'totale' del terreno espressa in kg/cm ²

Nr.	Descrizione	γ	γ_w	ϕ'	c'	ϕ_u	c_u
1	Terreno di riporto	1800	1900	23,00	0,100	0,00	0,600
2	Coltre limo-sabbiosa	1800	2000	24,00	0,100	0,00	2,100
3	Formazione arenaceo-pelitica	2000	2100	26,00	0,100	0,00	2,200

Profilo del piano campagna

Simbologia e convenzioni di segno adottate

L'ascissa è intesa positiva da sinistra verso destra e l'ordinata positiva verso l'alto.

Nr.	Identificativo del punto
X	Ascissa del punto del profilo espressa in m
Y	Ordinata del punto del profilo espressa in m

Nr.	X [m]	Y [m]
1	0,00	11,18
2	4,76	12,05
3	9,00	14,86
4	10,56	15,17
5	14,04	17,46
6	15,45	17,68
7	16,92	18,72
8	19,42	20,28
9	22,43	22,15
10	37,43	22,19

Descrizione stratigrafia

Simbologia e convenzioni di segno adottate

Gli strati sono descritti mediante i punti di contorno (in senso antiorario) e l'indice del terreno di cui è costituito

Strato N° 1 costituito da terreno n° 1 (Formazione arenaceo-pelitica)

Coordinate dei vertici dello strato n° 1

N°	X[m]	Y[m]
1	0,00	10,78
2	0,00	0,00
3	37,43	0,00
4	37,43	21,16
5	24,92	20,99
6	23,30	20,78
7	22,51	20,71
8	22,01	20,66
9	21,81	20,24
10	21,36	19,76
11	19,71	19,13
12	17,94	18,23
13	14,14	16,21
14	9,56	14,08
15	4,75	11,53

Strato N° 2 costituito da terreno n° 2 (Terreno di riporto)

Coordinate dei vertici dello strato n° 2

N°	X[m]	Y[m]
1	37,43	21,16
2	37,43	22,19
3	22,43	22,15
4	19,42	20,28
5	22,01	20,66
6	22,51	20,71
7	23,30	20,78
8	24,92	20,99

Strato N° 3 costituito da terreno n° 3 (Coltre limo-sabbiosa)

Coordinate dei vertici dello strato n° 3

N°	X[m]	Y[m]
1	22,01	20,66
2	19,42	20,28
3	16,92	18,72
4	15,45	17,68
5	14,04	17,46
6	10,56	15,17
7	9,00	14,86
8	4,76	12,05
9	0,00	11,18
10	0,00	10,78
11	4,75	11,53
12	9,56	14,08
13	14,14	16,21
14	17,94	18,23
15	19,71	19,13
16	21,36	19,76
17	21,81	20,24

Carichi sul profilo

Simbologia e convenzioni di segno adottate

L'ascissa è intesa positiva da sinistra verso destra.

Nr.	Identificativo del sovraccarico agente
X_i	Ascissa del punto iniziale del carico ripartito espressa in m Per carico concentrato ascissa del punto di applicazione espressa in m
X_f	Ascissa del punto finale del carico ripartito espressa in m
V_i	Intensità del carico espressa in kg/m per $x=X_i$ Per carico concentrato intensità del carico espressa in kg
V_f	Intensità del carico espressa in kg/m per $x=X_f$

Nr.	Tipo carico	X_i [m]	X_f [m]	V_i	V_f
1	DISTRIBUITO	24,00	36,00	4000	4000

Interventi inseriti

Numero interventi inseriti 1

Paratia di pali - Paratia di pali

Grado di sicurezza desiderato a monte	1,30	
Ascissa sul profilo (quota testa paratia)	14,00	m
Altezza totale paratia	10,00	m
Altezza inefficace paratia (a partire dal piede)	0,00	m
Diametro pali	0,50	m
Interasse pali	1,00	m
Altezza cordolo	0,60	m
Larghezza cordolo	0,60	m
Percentuale di armatura	4,00	%
Resistenza caratteristica a compressione del cls (Rbk)	250	kg/cmq
Altezza di scavo	0,00	m

Risultati analisi

Per l'analisi sono stati utilizzati i seguenti metodi di calcolo :
Metodo di BELL (L)

Impostazioni analisi

Normativa :

Norme Tecniche sulle Costruzioni 14/01/2008

Coefficienti di partecipazione caso statico

Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni:

<i>Carichi</i>	<i>Effetto</i>		<i>A1</i>	<i>A2</i>
Permanenti	Favorevole	γ_{Gfav}	1,00	1,00
Permanenti	Sfavorevole	γ_{Gsfav}	1,30	1,00
Variabili	Favorevole	γ_{Qfav}	0,00	0,00
Variabili	Sfavorevole	γ_{Qsfav}	1,50	1,30

Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno:

<i>Parametri</i>			<i>M1</i>	<i>M2</i>
Tangente dell'angolo di attrito		$\gamma_{\tan\phi}$	1,00	1,25
Coesione efficace		γ_c	1,00	1,25
Resistenza non drenata		γ_{cu}	1,00	1,40
Resistenza a compressione uniassiale		γ_{qu}	1,00	1,60
Peso dell'unità di volume		γ_γ	1,00	1,00

Coefficienti di partecipazione caso sismico

Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni:

<i>Carichi</i>	<i>Effetto</i>		<i>A1</i>	<i>A2</i>
Permanenti	Favorevole	γ_{Gfav}	1,00	1,00
Permanenti	Sfavorevole	γ_{Gsfav}	1,00	1,00
Variabili	Favorevole	γ_{Qfav}	0,00	0,00
Variabili	Sfavorevole	γ_{Qsfav}	1,00	1,00

Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno:

<i>Parametri</i>			<i>M1</i>	<i>M2</i>
Tangente dell'angolo di attrito		$\gamma_{\tan\phi}$	1,00	1,25
Coesione efficace		γ_c	1,00	1,25
Resistenza non drenata		γ_{cu}	1,00	1,40
Resistenza a compressione uniassiale		γ_{qu}	1,00	1,60
Peso dell'unità di volume		γ_γ	1,00	1,00

Sisma

Accelerazione al suolo $a_g =$	1.713 [m/s ²]
Coefficiente di amplificazione per tipo di sottosuolo (Ss)	1.45
Coefficiente di amplificazione topografica (St)	1.00
Coefficiente riduzione (β_s)	0.24
Rapporto intensità sismica verticale/orizzontale	0.50
Coefficiente di intensità sismica orizzontale (percento)	$k_h = (a_g/g * \beta_s * St * S) = 6.06$
Coefficiente di intensità sismica verticale (percento)	$k_v = 0.50 * k_h = 3.03$
Coefficiente di sicurezza richiesto	1.10

Le superfici sono state analizzate per i casi: [PC] [A2M2]

Sisma verticale: verso il basso - verso l'alto

Analisi condotta in termini di tensioni efficaci

Presenza di carichi distribuiti

Impostazioni interventi

Influenza interventi: Variazione forze di interstriscia.

Resistenza interventi calcolata dal programma.

Coefficiente sicurezza resistenza interventi 1,25

Impostazioni delle superfici di rottura

Si considerano delle superfici di rottura circolari generate tramite la seguente maglia dei centri
 Origine maglia [m]: $X_0 = 2,00$ $Y_0 = 20,00$
 Passo maglia [m]: $dX = 1,00$ $dY = 1,00$
 Numero passi : $Nx = 16$ $Ny = 7$
 Raggio [m]: $R = 3,00$

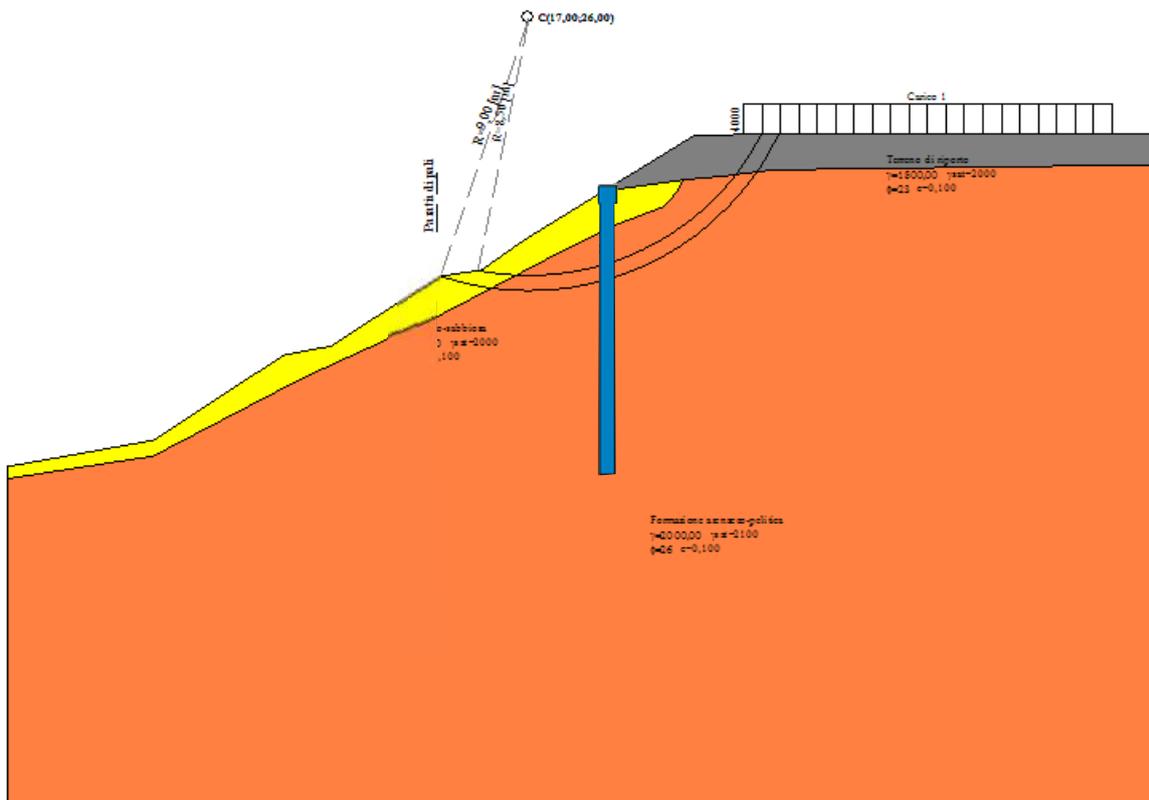
Si utilizza un raggio variabile con passo $dR=0,50$ [m] ed un numero di incrementi pari a 20

Sono state escluse dall'analisi le superfici aventi:
 - lunghezza di corda inferiore a 1,00 m
 - freccia inferiore a 0,50 m
 - volume inferiore a 2,00 mc

Numero di superfici analizzate 3999
Coefficiente di sicurezza minimo **1.252**
 Superficie con coefficiente di sicurezza minimo 1

Quadro sintetico coefficienti di sicurezza

Metodo	Nr. superfici	FS _{min}	S _{min}	FS _{max}	S _{max}
BELL	3999	1.252	1	-5.530	4224



4,76	4,24	1,56	3,48	1,41	1,47	2,50	3,01	15,00
------	------	------	------	------	------	------	------	-------

Caratteristiche delle superfici analizzate*Simbologia adottata*

Le ascisse X sono considerate positive verso monte

Le ordinate Y sono considerate positive verso l'alto

N° numero d'ordine della superficie cerchio

C_x ascissa x del centro [m]C_y ordinata y del centro [m]

R raggio del cerchio espresso in m

x_v, y_v ascissa e ordinata del punto di intersezione con il profilo (valle) espresse in mx_m, y_m ascissa e ordinata del punto di intersezione con il profilo (monte) espresse in m

V volume interessato dalla superficie espresso [cmq]

C_s coefficiente di sicurezza

caso caso di calcolo

N°	C _x	C _y	R	x _v	y _v	x _m	y _m	V	C _s	caso
1	17,00	26,00	9,00	14,12	17,47	25,14	22,16	23,06	1.252 (L)	[A2M2]
2	17,00	26,00	9,00	14,12	17,47	25,14	22,16	23,06	1.272 (L)	[A2M2]
3	17,00	26,00	8,50	15,34	17,66	24,58	22,16	17,04	1.282 (L)	[A2M2]
4	12,00	24,00	12,50	6,14	12,96	24,36	22,16	82,15	1.300 (L)	[A2M2]
5	16,00	25,00	10,50	11,26	15,63	26,11	22,16	54,11	1.300 (L)	[A2M2]
6	12,00	26,00	12,50	7,96	14,17	23,89	22,15	48,18	1.300 (L)	[A2M2]
7	15,00	25,00	11,00	10,21	15,10	25,63	22,16	56,70	1.300 (L)	[A2M2]
8	11,00	24,00	12,50	5,71	12,68	23,36	22,15	72,84	1.300 (L)	[A2M2]
9	13,00	25,00	10,50	9,76	15,01	23,11	22,15	33,50	1.300 (L)	[A2M2]
10	15,00	25,00	11,50	9,42	14,94	26,14	22,16	66,72	1.300 (L)	[A2M2]
11	11,00	25,00	12,50	6,63	13,29	23,17	22,15	55,95	1.300 (L)	[A2M2]
12	17,00	26,00	11,00	12,07	16,17	27,31	22,16	54,59	1.300 (L)	[A2M2]
13	15,00	25,00	11,00	10,21	15,10	25,63	22,16	56,70	1.300 (L)	[A2M2]
14	14,00	25,00	11,00	9,50	14,96	24,63	22,16	49,59	1.300 (L)	[A2M2]
15	15,00	25,00	11,50	9,42	14,94	26,14	22,16	66,72	1.300 (L)	[A2M2]
16	12,00	24,00	12,50	6,14	12,96	24,36	22,16	82,15	1.300 (L)	[A2M2]
17	14,00	26,00	12,50	8,72	14,67	25,90	22,16	63,62	1.300 (L)	[A2M2]
18	15,00	25,00	10,50	10,84	15,36	25,11	22,16	47,46	1.300 (L)	[A2M2]
19	13,00	25,00	12,00	7,91	14,13	24,66	22,16	62,22	1.301 (L)	[A2M2]
20	13,00	25,00	12,50	7,42	13,81	25,17	22,16	73,16	1.301 (L)	[A2M2]
21	15,00	25,00	12,50	8,34	14,42	27,17	22,16	89,14	1.301 (L)	[A2M2]
22	12,00	25,00	12,00	7,51	13,87	23,66	22,15	54,10	1.301 (L)	[A2M2]
23	13,00	24,00	12,50	6,59	13,27	25,36	22,16	91,19	1.301 (L)	[A2M2]
24	16,00	25,00	11,50	10,16	15,09	27,14	22,16	73,93	1.301 (L)	[A2M2]
25	14,00	25,00	12,00	8,34	14,42	25,66	22,16	70,06	1.301 (L)	[A2M2]
26	17,00	26,00	11,50	11,59	15,85	27,84	22,17	64,15	1.301 (L)	[A2M2]
27	14,00	25,00	12,00	8,34	14,42	25,66	22,16	70,06	1.301 (L)	[A2M2]
28	16,00	26,00	10,50	12,16	16,23	25,77	22,16	39,93	1.301 (L)	[A2M2]
29	16,00	26,00	12,50	9,97	15,05	27,90	22,17	78,13	1.301 (L)	[A2M2]
30	15,00	26,00	11,50	10,77	15,31	25,84	22,16	51,00	1.301 (L)	[A2M2]
31	13,00	25,00	12,50	7,42	13,81	25,17	22,16	73,16	1.301 (L)	[A2M2]
32	16,00	26,00	11,50	11,16	15,57	26,84	22,16	57,71	1.301 (L)	[A2M2]
33	16,00	26,00	12,50	9,97	15,05	27,90	22,17	78,13	1.301 (L)	[A2M2]
34	16,00	25,00	9,50	12,24	16,28	25,06	22,16	36,94	1.301 (L)	[A2M2]
35	13,00	26,00	12,50	8,32	14,41	24,89	22,16	56,02	1.301 (L)	[A2M2]
36	16,00	25,00	11,00	10,78	15,32	26,63	22,16	63,65	1.301 (L)	[A2M2]
37	14,00	25,00	12,50	7,87	14,11	26,17	22,16	81,26	1.301 (L)	[A2M2]
38	16,00	26,00	12,00	10,68	15,25	27,37	22,16	67,57	1.301 (L)	[A2M2]
39	12,00	26,00	12,00	8,49	14,52	23,37	22,15	38,58	1.301 (L)	[A2M2]
40	13,00	24,00	12,50	6,59	13,27	25,36	22,16	91,19	1.301 (L)	[A2M2]
41	15,00	26,00	11,00	11,28	15,65	25,31	22,16	42,13	1.301 (L)	[A2M2]
42	16,00	26,00	10,50	12,16	16,23	25,77	22,16	39,93	1.301 (L)	[A2M2]
43	15,00	25,00	10,00	11,35	15,69	24,59	22,16	38,86	1.301 (L)	[A2M2]
44	14,00	25,00	12,50	7,87	14,11	26,17	22,16	81,26	1.302 (L)	[A2M2]
45	15,00	26,00	11,00	11,28	15,65	25,31	22,16	42,13	1.302 (L)	[A2M2]
46	16,00	25,00	10,50	11,26	15,63	26,11	22,16	54,11	1.302 (L)	[A2M2]
47	16,00	26,00	11,50	11,16	15,57	26,84	22,16	57,71	1.302 (L)	[A2M2]
48	15,00	24,00	10,00	10,38	15,13	24,83	22,16	52,57	1.302 (L)	[A2M2]
49	15,00	26,00	12,50	9,24	14,91	26,90	22,16	70,94	1.302 (L)	[A2M2]
50	10,00	23,00	12,50	4,17	11,94	22,47	22,15	80,71	1.302 (L)	[A2M2]
51	17,00	26,00	11,00	12,07	16,17	27,31	22,16	54,59	1.302 (L)	[A2M2]
52	16,00	26,00	12,00	10,68	15,25	27,37	22,16	67,57	1.302 (L)	[A2M2]
53	12,00	25,00	12,50	7,01	13,54	24,17	22,15	64,64	1.302 (L)	[A2M2]
54	11,00	26,00	12,50	7,64	13,96	22,89	22,15	40,12	1.302 (L)	[A2M2]
55	14,00	26,00	11,50	10,29	15,12	24,84	22,16	44,02	1.302 (L)	[A2M2]
56	13,00	26,00	12,50	8,32	14,41	24,89	22,16	56,02	1.302 (L)	[A2M2]
57	16,00	25,00	10,00	11,75	15,95	25,59	22,16	45,21	1.302 (L)	[A2M2]
58	17,00	25,00	9,50	12,66	16,55	26,07	22,16	42,66	1.302 (L)	[A2M2]
59	15,00	26,00	12,00	10,05	15,07	26,37	22,16	60,57	1.302 (L)	[A2M2]
60	17,00	25,00	10,50	11,71	15,93	27,11	22,16	60,47	1.302 (L)	[A2M2]
61	16,00	26,00	10,00	12,68	16,57	25,23	22,16	32,03	1.302 (L)	[A2M2]

62	13,00	25,00	12,00	7,91	14,13	24,66	22,16	62,22	1.302 (L)	[A2M2]
63	16,00	25,00	11,00	10,78	15,32	26,63	22,16	63,65	1.302 (L)	[A2M2]
64	14,00	26,00	11,50	10,29	15,12	24,84	22,16	44,02	1.302 (L)	[A2M2]
65	15,00	25,00	12,50	8,34	14,42	27,17	22,16	89,14	1.302 (L)	[A2M2]
66	10,00	24,00	12,50	5,31	12,41	22,36	22,10	63,46	1.302 (L)	[A2M2]
67	14,00	26,00	12,00	9,36	14,93	25,37	22,16	53,42	1.302 (L)	[A2M2]
68	15,00	25,00	10,50	10,84	15,36	25,11	22,16	47,46	1.302 (L)	[A2M2]
69	12,00	25,00	11,50	8,02	14,21	23,14	22,15	44,15	1.302 (L)	[A2M2]
70	17,00	25,00	10,00	12,18	16,24	26,59	22,16	51,26	1.303 (L)	[A2M2]
71	10,00	24,00	12,50	5,31	12,41	22,36	22,10	63,46	1.303 (L)	[A2M2]
72	15,00	25,00	12,00	8,80	14,73	26,66	22,16	77,63	1.303 (L)	[A2M2]
73	15,00	26,00	11,50	10,77	15,31	25,84	22,16	51,00	1.303 (L)	[A2M2]
74	12,00	25,00	12,00	7,51	13,87	23,66	22,15	54,10	1.303 (L)	[A2M2]
75	16,00	26,00	11,00	11,66	15,89	26,31	22,16	48,46	1.303 (L)	[A2M2]
76	10,00	23,00	12,00	4,90	12,14	21,94	21,85	68,88	1.303 (L)	[A2M2]
77	17,00	26,00	11,50	11,59	15,85	27,84	22,17	64,15	1.303 (L)	[A2M2]
78	14,00	25,00	10,00	11,00	15,46	23,59	22,15	32,31	1.303 (L)	[A2M2]
79	16,00	25,00	11,50	10,16	15,09	27,14	22,16	73,93	1.303 (L)	[A2M2]
80	12,00	24,00	12,00	6,61	13,28	23,86	22,15	70,68	1.303 (L)	[A2M2]
81	17,00	26,00	12,00	11,12	15,54	28,37	22,17	74,32	1.303 (L)	[A2M2]
82	9,00	23,00	12,50	3,43	11,81	21,41	21,52	70,78	1.303 (L)	[A2M2]
83	7,00	24,00	12,50	3,89	11,89	18,81	19,90	36,72	1.303 (L)	[A2M2]
84	14,00	26,00	12,50	8,72	14,67	25,90	22,16	63,62	1.303 (L)	[A2M2]
85	9,00	23,00	11,50	5,01	12,21	20,29	20,82	49,24	1.303 (L)	[A2M2]
86	17,00	26,00	10,50	12,56	16,49	26,77	22,16	45,72	1.303 (L)	[A2M2]
87	16,00	26,00	11,00	11,66	15,89	26,31	22,16	48,46	1.303 (L)	[A2M2]
88	14,00	26,00	11,00	10,95	15,43	24,31	22,16	35,51	1.303 (L)	[A2M2]
89	15,00	24,00	10,50	9,62	14,98	25,34	22,16	62,31	1.303 (L)	[A2M2]
90	13,00	25,00	11,00	8,90	14,79	23,63	22,15	42,35	1.303 (L)	[A2M2]
91	11,00	25,00	12,00	7,15	13,63	22,66	22,15	45,71	1.303 (L)	[A2M2]
92	9,00	23,00	12,00	4,29	11,96	20,86	21,17	59,57	1.304 (L)	[A2M2]
93	9,00	24,00	12,00	5,48	12,53	20,63	21,03	43,90	1.304 (L)	[A2M2]
94	13,00	24,00	12,00	7,06	13,57	24,86	22,16	79,37	1.304 (L)	[A2M2]
95	13,00	25,00	11,50	8,40	14,46	24,14	22,15	51,91	1.304 (L)	[A2M2]
96	12,00	26,00	12,50	7,96	14,17	23,89	22,15	48,18	1.304 (L)	[A2M2]
97	9,00	25,00	12,50	5,99	12,87	20,91	21,21	38,43	1.304 (L)	[A2M2]
98	17,00	26,00	10,50	12,56	16,49	26,77	22,16	45,72	1.304 (L)	[A2M2]
99	12,00	25,00	11,50	8,02	14,21	23,14	22,15	44,15	1.304 (L)	[A2M2]
100	15,00	25,00	10,00	11,35	15,69	24,59	22,16	38,86	1.304 (L)	[A2M2]
101	16,00	25,00	9,50	12,24	16,28	25,06	22,16	36,94	1.304 (L)	[A2M2]
102	13,00	26,00	11,50	9,67	14,99	23,84	22,15	36,94	1.304 (L)	[A2M2]
103	11,00	26,00	12,50	7,64	13,96	22,89	22,15	40,12	1.304 (L)	[A2M2]
104	16,00	25,00	10,00	11,75	15,95	25,59	22,16	45,21	1.304 (L)	[A2M2]
105	14,00	25,00	11,50	8,81	14,74	25,14	22,16	59,51	1.304 (L)	[A2M2]
106	15,00	26,00	10,50	11,81	16,00	24,77	22,16	33,90	1.304 (L)	[A2M2]
107	16,00	26,00	10,00	12,68	16,57	25,23	22,16	32,03	1.304 (L)	[A2M2]
108	11,00	25,00	12,00	7,15	13,63	22,66	22,15	45,71	1.305 (L)	[A2M2]
109	14,00	25,00	11,00	9,50	14,96	24,63	22,16	49,59	1.305 (L)	[A2M2]
110	12,00	25,00	12,50	7,01	13,54	24,17	22,15	64,64	1.305 (L)	[A2M2]
111	17,00	25,00	10,00	12,18	16,24	26,59	22,16	51,26	1.305 (L)	[A2M2]
112	10,00	24,00	12,00	5,82	12,75	21,79	21,75	52,57	1.305 (L)	[A2M2]
113	12,00	24,00	11,50	7,10	13,60	23,35	22,15	59,67	1.305 (L)	[A2M2]
114	14,00	26,00	12,00	9,36	14,93	25,37	22,16	53,42	1.305 (L)	[A2M2]
115	14,00	25,00	11,50	8,81	14,74	25,14	22,16	59,51	1.305 (L)	[A2M2]
116	15,00	26,00	12,00	10,05	15,07	26,37	22,16	60,57	1.305 (L)	[A2M2]
117	11,00	24,00	12,00	6,20	13,00	22,86	22,15	61,77	1.305 (L)	[A2M2]
118	9,00	24,00	12,50	4,95	12,17	21,23	21,40	53,91	1.305 (L)	[A2M2]
119	14,00	25,00	10,50	10,40	15,14	24,11	22,15	40,51	1.305 (L)	[A2M2]
120	14,00	26,00	10,50	11,51	15,80	23,77	22,15	27,63	1.305 (L)	[A2M2]
121	17,00	25,00	9,50	12,66	16,55	26,07	22,16	42,66	1.305 (L)	[A2M2]
122	11,00	25,00	12,50	6,63	13,29	23,17	22,15	55,95	1.305 (L)	[A2M2]
123	11,00	24,00	11,50	6,70	13,33	22,34	22,09	51,16	1.305 (L)	[A2M2]
124	11,00	24,00	12,50	5,71	12,68	23,36	22,15	72,84	1.305 (L)	[A2M2]
125	11,00	24,00	12,00	6,20	13,00	22,86	22,15	61,77	1.305 (L)	[A2M2]
126	12,00	25,00	11,00	8,54	14,56	22,62	22,15	34,92	1.306 (L)	[A2M2]
127	13,00	25,00	11,50	8,40	14,46	24,14	22,15	51,91	1.306 (L)	[A2M2]
128	15,00	26,00	10,00	12,36	16,35	24,23	22,16	26,35	1.306 (L)	[A2M2]
129	8,00	24,00	12,50	4,49	12,00	20,05	20,67	45,06	1.306 (L)	[A2M2]
130	10,00	24,00	12,00	5,82	12,75	21,79	21,75	52,57	1.306 (L)	[A2M2]
131	17,00	26,00	8,50	15,34	17,66	24,58	22,16	17,04	1.307 (L)	[A2M2]
132	14,00	25,00	10,50	10,40	15,14	24,11	22,15	40,51	1.307 (L)	[A2M2]
133	10,00	26,00	12,50	7,37	13,78	21,75	21,73	31,94	1.307 (L)	[A2M2]
134	14,00	26,00	11,00	10,95	15,43	24,31	22,16	35,51	1.307 (L)	[A2M2]
135	13,00	26,00	11,50	9,67	14,99	23,84	22,15	36,94	1.307 (L)	[A2M2]
136	9,00	23,00	12,50	3,43	11,81	21,41	21,52	70,78	1.307 (L)	[A2M2]

Analisi della superficie critica

Simbologia adottata

Le ascisse X sono considerate positive verso destra
 Le ordinate Y sono considerate positive verso l'alto
 Le strisce sono numerate da valle verso monte

N°	numero d'ordine della striscia
X _s	ascissa sinistra della striscia espressa in m
Y _{ss}	ordinata superiore sinistra della striscia espressa in m
Y _{si}	ordinata inferiore sinistra della striscia espressa in m
X _g	ascissa del baricentro della striscia espressa in m
Y _g	ordinata del baricentro della striscia espressa in m
α	angolo fra la base della striscia e l'orizzontale espresso °(positivo antiorario)
φ	angolo d'attrito del terreno lungo la base della striscia
c	coesione del terreno lungo la base della striscia espressa in kg/cmq
L	sviluppo della base della striscia espressa in m(L=b/cosα)
u	pressione neutra lungo la base della striscia espressa in kg/cmq
W	peso della striscia espresso in kg
Q	carico applicato sulla striscia espresso in kg
N	sforzio normale alla base della striscia espresso in kg
T	sforzio tangenziale alla base della striscia espresso in kg
U	pressione neutra alla base della striscia espressa in kg
E _s , E _d	forze orizzontali sulla striscia a sinistra e a destra espresse in kg
X _s , X _d	forze verticali sulla striscia a sinistra e a destra espresse in kg
ID	Indice della superficie interessata dall'intervento

Analisi della superficie 1 - coefficienti parziali caso A2M2 e sisma verso il basso

Numero di strisce	20	
Coordinate del centro	X[m]= 17,00	Y[m]= 26,00
Raggio del cerchio	R[m]= 9,00	
Intersezione a valle con il profilo topografico	X _v [m]= 14,12	Y _v [m]= 17,47
Intersezione a monte con il profilo topografico	X _m [m]= 25,14	Y _m [m]= 22,16
Coefficiente di sicurezza	C_S= 1.252	

Geometria e caratteristiche strisce

N°	X _s	Y _{ss}	Y _{si}	X _d	Y _{ds}	Y _{di}	X _g	Y _g	L	α	φ	c
1	14,12	17,47	17,47	14,79	17,58	17,28	14,56	17,44	0,69	-16,45	19,61	0,08
2	14,79	17,58	17,28	15,45	17,68	17,13	15,15	17,42	0,68	-12,08	19,61	0,08
3	15,45	17,68	17,13	15,94	18,03	17,06	15,72	17,48	0,50	-8,34	20,14	0,08
4	15,94	18,03	17,06	16,43	18,37	17,02	16,20	17,61	0,49	-5,20	21,32	0,08
5	16,43	18,37	17,02	16,92	18,72	17,00	16,69	17,76	0,49	-2,07	21,32	0,08
6	16,92	18,72	17,00	17,42	19,03	17,01	17,18	17,92	0,50	1,08	21,32	0,08
7	17,42	19,03	17,01	17,92	19,34	17,05	17,68	18,08	0,50	4,27	21,32	0,08
8	17,92	19,34	17,05	18,42	19,66	17,11	18,17	18,26	0,50	7,47	21,32	0,08
9	18,42	19,66	17,11	18,92	19,97	17,21	18,67	18,45	0,51	10,70	21,32	0,08
10	18,92	19,97	17,21	19,42	20,28	17,33	19,17	18,66	0,52	13,96	21,32	0,08
11	19,42	20,28	17,33	20,02	20,65	17,52	19,72	18,91	0,63	17,61	21,32	0,08
12	20,02	20,65	17,52	20,62	21,03	17,76	20,32	19,20	0,65	21,68	21,32	0,08
13	20,62	21,03	17,76	21,23	21,40	18,05	20,93	19,52	0,67	25,88	21,32	0,08
14	21,23	21,40	18,05	21,83	21,78	18,40	21,53	19,87	0,70	30,22	21,32	0,08
15	21,83	21,78	18,40	22,43	22,15	18,82	22,13	20,25	0,73	34,78	21,32	0,08
16	22,43	22,15	18,82	22,97	22,15	19,27	22,69	20,55	0,70	39,34	21,32	0,08
17	22,97	22,15	19,27	23,51	22,15	19,79	23,23	20,80	0,75	43,97	21,32	0,08
18	23,51	22,15	19,79	24,06	22,15	20,41	23,77	21,09	0,83	48,99	21,32	0,08
19	24,06	22,15	20,41	24,60	22,16	21,17	24,30	21,45	0,94	54,60	20,48	0,08
20	24,60	22,16	21,17	25,14	22,16	22,16	24,78	21,83	1,12	61,15	18,76	0,08

Forze applicate sulle strisce [BELL]

N°	W	Q	N	T	U	E _s	E _d	X _s	X _d
1	179	0	231	508	0	0	542	0	107
2	505	0	663	623	0	542	1259	107	109
3	667	0	861	569	0	1259	1906	109	28
4	1048	0	1321	726	0	1906	2685	28	-142
5	1410	0	1752	859	0	2685	3522	-142	-410
6	1765	0	2166	994	0	3522	4368	-410	-775
7	2049	0	2478	1093	0	4368	5149	-775	-1216
8	2305	0	2738	1176	0	5149	5819	-1216	-1710
9	2531	0	2945	1243	0	5819	6340	-1710	-2227
10	2728	0	3098	1295	0	6340	6684	-2227	-2735
11	3499	0	3852	1604	0	6684	6835	-2735	-3287

12	3674	0	3890	1626	0	6835	6686	-3287	-3718
13	3787	0	3832	1622	0	6686	6243	-3718	-3972
14	3848	0	3696	1597	0	6243	5529	-3972	-4006
15	3871	0	3500	1559	0	5529	4579	-4006	-3782
16	3211	0	2704	1290	0	4579	3668	-3782	-3383
17	2694	0	2080	1129	0	3668	2873	-3383	-2887
18	2083	221	1606	1028	0	2873	2196	-2887	-2344
19	1345	2167	2252	1269	0	2196	883	-2344	-1064
20	479	2167	1435	1106	0	883	0	-1064	0

Dichiarazioni secondo N.T.C. 2008 (punto 10.2)

Analisi e verifiche svolte con l'ausilio di codici di calcolo

Il sottoscritto, in qualità di calcolatore delle opere in progetto, dichiara quanto segue.

Tipo di analisi svolta

L'analisi e le verifiche di stabilità sono condotte con l'ausilio di un codice di calcolo automatico.

I metodi di calcolo implementati sono i classici metodi delle strisce, basati sul concetto dell'equilibrio limite globale. La superficie di rottura è suddivisa in un determinato numero di strisce che consentono di calcolare le grandezze che entrano in gioco nelle equazioni risolutive.

Nel modulo terreni si adotta il criterio di rottura di Mohr-Coulomb. Nel modulo rocce si può adottare il criterio di rottura di Hoek-Brown o di Barton.

Il programma consente di inserire degli interventi di stabilizzazione, che possono intervenire secondo sue modalità diverse: variazione delle forze di interstriscia o resistenza a taglio equivalente.

L'analisi sotto le azioni sismiche è condotta con il metodo dell'analisi statica equivalente secondo le disposizioni del capitolo 7 del DM 14/01/2008.

Origine e caratteristiche dei codici di calcolo

Titolo	STAP - Stabilità Pendii Terreni e Rocce
Versione	11.0
Produttore	Aztec Informatica srl, Casole Bruzio (CS)
Utente	PROMAR ENGINEERING S.R.L.
Licenza	AIU3401GH

Affidabilità dei codici di calcolo

Un attento esame preliminare della documentazione a corredo del software ha consentito di valutarne l'affidabilità. La documentazione fornita dal produttore del software contiene un'esauriente descrizione delle basi teoriche, degli algoritmi impiegati e l'individuazione dei campi d'impiego. La società produttrice Aztec Informatica srl ha verificato l'affidabilità e la robustezza del codice di calcolo attraverso un numero significativo di casi prova in cui i risultati dell'analisi numerica sono stati confrontati con soluzioni teoriche.

Modalità di presentazione dei risultati

La relazione di calcolo strutturale presenta i dati di calcolo tale da garantirne la leggibilità, la corretta interpretazione e la riproducibilità. La relazione di calcolo illustra in modo esaustivo i dati in ingresso ed i risultati delle analisi in forma tabellare.

Informazioni generali sull'elaborazione

Il software prevede una serie di controlli automatici che consentono l'individuazione di errori di modellazione, di non rispetto di limitazioni geometriche e di armatura e di presenza di elementi non verificati. Il codice di calcolo consente di visualizzare e controllare, sia in forma grafica che tabellare, i dati del modello strutturale, in modo da avere una visione consapevole del comportamento corretto del modello strutturale.

Giudizio motivato di accettabilità dei risultati

I risultati delle elaborazioni sono stati sottoposti a controlli dal sottoscritto utente del software. Tale valutazione ha compreso il confronto con i risultati di semplici calcoli, eseguiti con metodi tradizionali. Inoltre sulla base di considerazioni riguardanti gli stati tensionali e deformativi determinati, si è valutata la validità delle scelte operate in sede di schematizzazione e di modellazione della struttura e delle azioni.

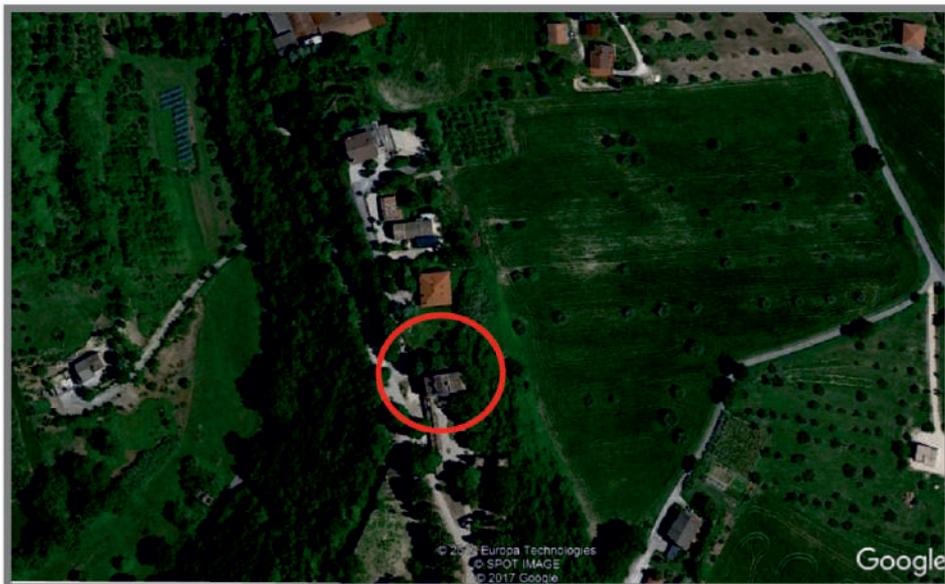
In base a quanto sopra, io sottoscritto asserisco che l'elaborazione è corretta ed idonea al caso specifico, pertanto i risultati di calcolo sono da ritenersi validi ed accettabili.

Porto Recanati, febbraio 2018

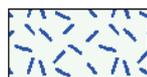
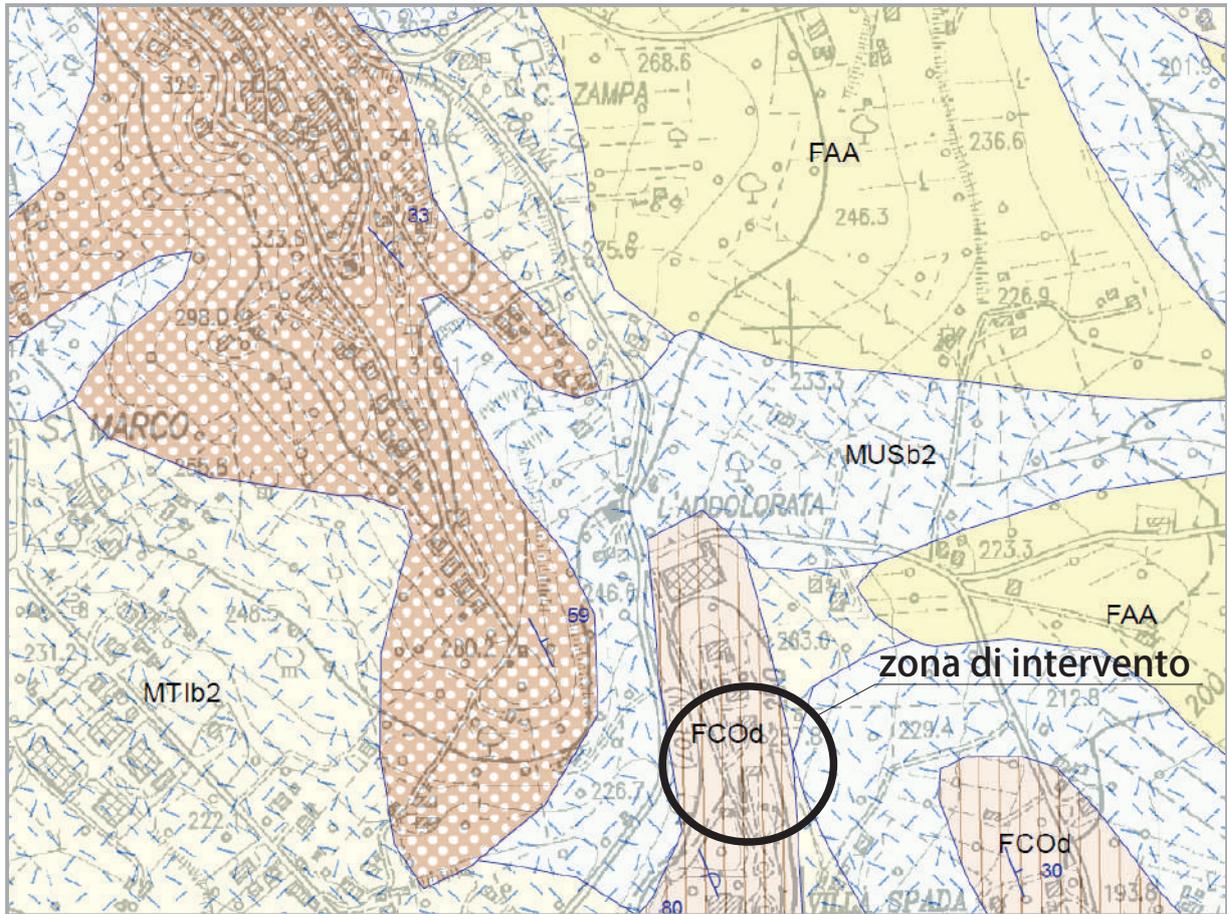
geologo Paolo Giacomelli



COROGRAFIA

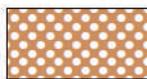


Carta geologica Tav 302080

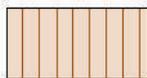


MUSb2 Depositi eluvio-colluviali

SUCCESSIONE MIOCENICA



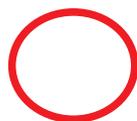
FCOc FORMAZIONE A COLOMBACCI
litofacies arenacea
Messiniano p.p.



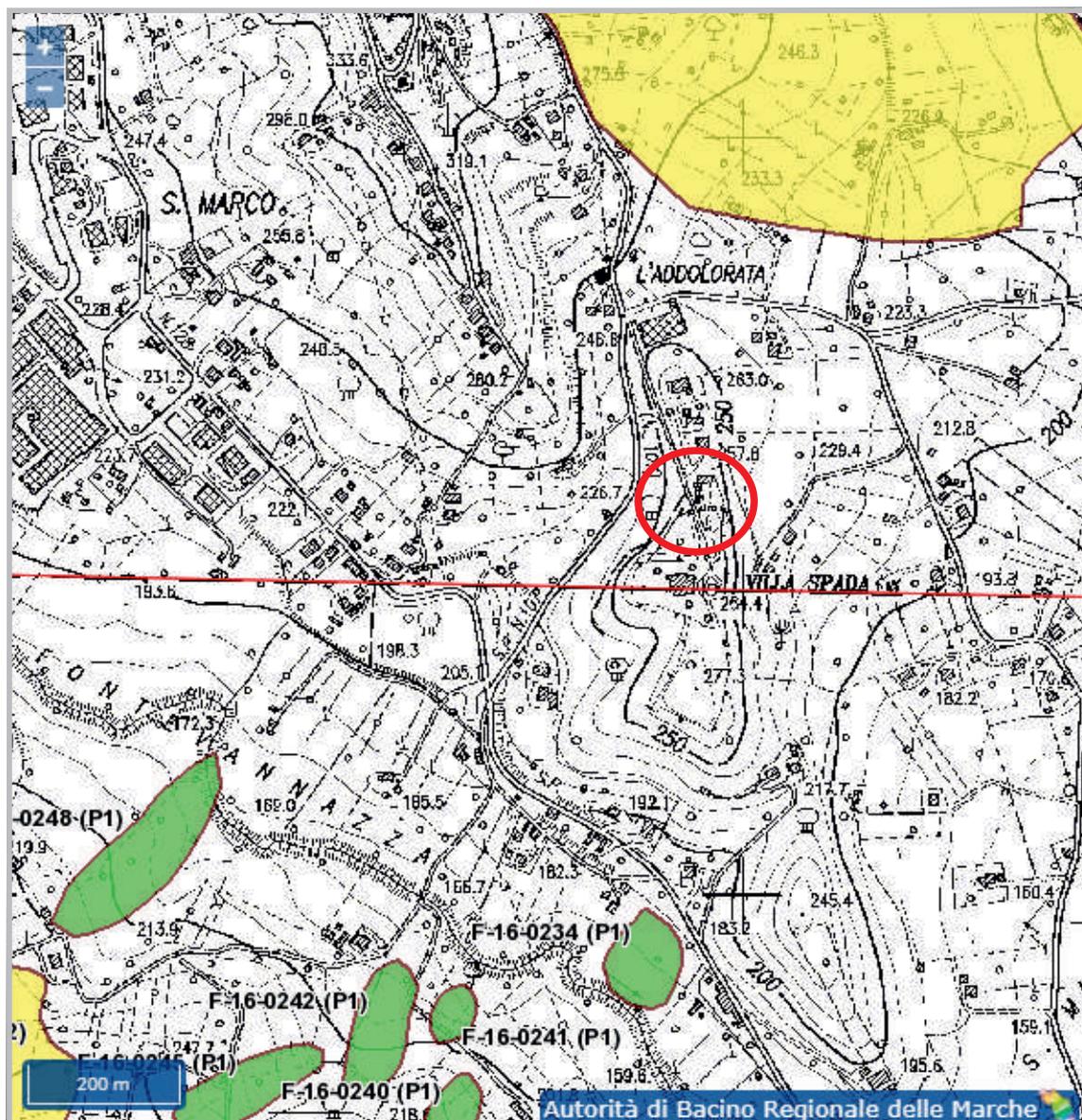
FCOd FORMAZIONE A COLOMBACCI
Litofacies arenaceo-pelitica
Messiniano sup.

Stralcio cartografia PAI Regionale

Tav. RI44b



Ubicazione edificio di indagine



PAI

ESONDAZIONI-PAI



FRANE-PAI

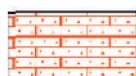
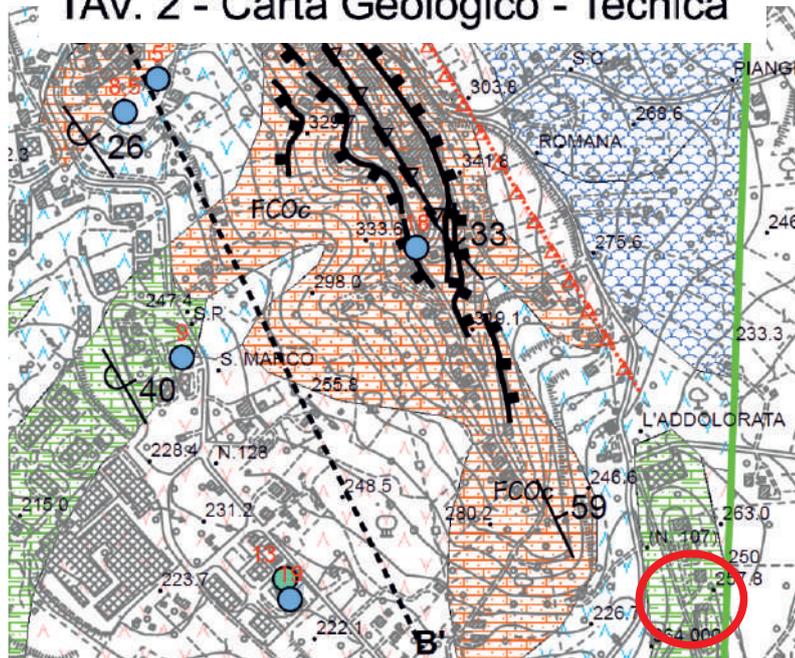


R2

MICROZONAZIONE SISMICA TREIA II° Livello

 Ubicazione edificio di indagine

TAV. 2 - Carta Geologico - Tecnica

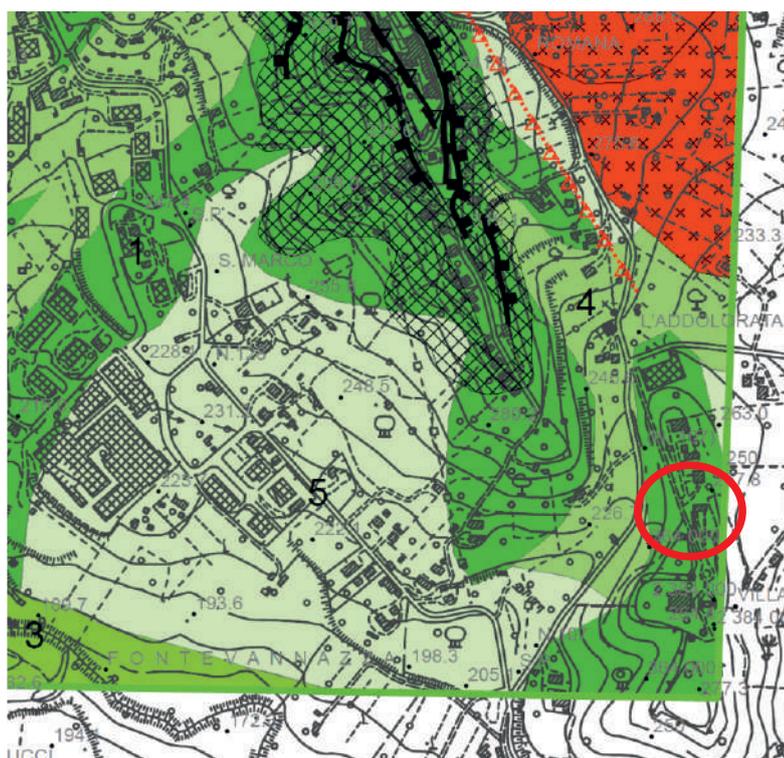


Formazione a Colombacci - Litofaces Arenacea (granulare cementato) (Messiniano p.p.) - FC0c



Formazione a Colombacci - Litofaces Arenaceo Pelitica (alternanze di sabbie e argille) (Messiniano sup) - FC0d

TAV. 3 - Carta Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica - MOPS (1° livello)



 Zona 1

0
10
20
30
40

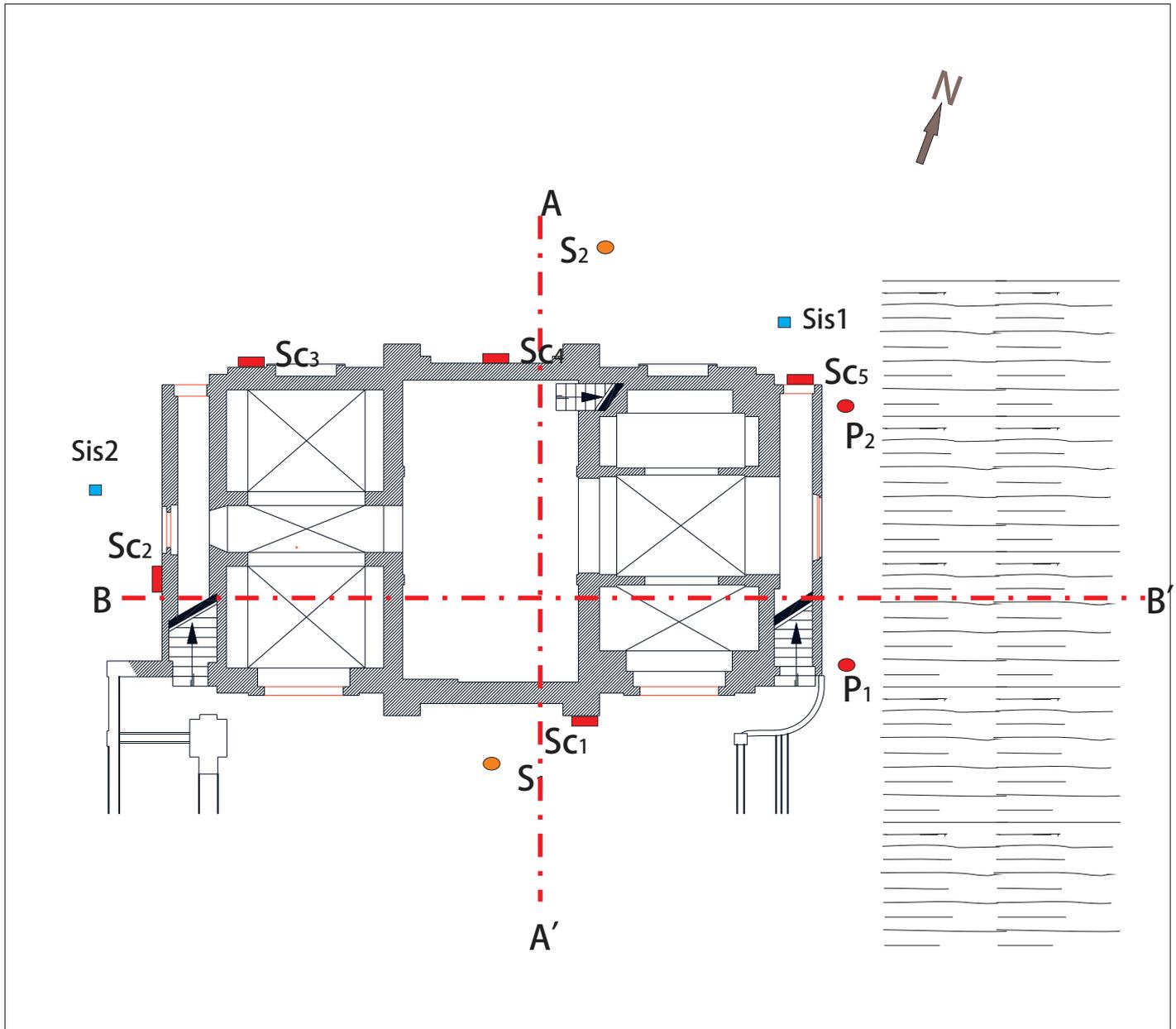


Substrato
 $V_s = 600$ m/s

Tav.4

Planimetria ubicazione indagini

- Sc1 ● P1 Ubicazione scavi e prove penetrometriche dinamiche
- S1 Ubicazione sondaggi
- A - - - - A Traccia sezione geologica interpretativa
- Sis1 Ubicazione prova sismica HVSR



COMUNE: TREIA (Mc)

LOCALITA': Villa Spada

COMMITTENTE: Comune di Treia

STUDIO DI GEOLOGIA

Dott. Paolo Giacomelli

Via Piave 64 62100 Macerata
telefono 0733/233070 349/4753342

SCALA

1:200

Tav.

5

COMUNE: Treia

LOCALITA': Villa Spada

COMMITTENTE: Amm. Comunale

STUDIO DI GEOLOGIA

Dott. Paolo Giacomelli

Via De Gasperi 19 Porto Recanati
telefono 0733/233070 - 349.4753342

SONDAGGIO

1

28-10-'17

STRATIGRAFIA	QUOTE		LITOLOGIA	Rp. (kg.cmq)	Rs. (kg.cmq)	OSSERVAZIONI
	p.c.	parz.				
			<p>Terreno di riporto. Limo argilloso e sabbioso con inclusi di laterizi.</p>	3		
	1,2	1,2	<p>Sabbie con orizzonti arenacei e sottili livelli pelitici.</p> <p><i>Associazione arenaceo-pelitica «Argille a Colombacci»</i></p>	>>6		
		3,5				

Rp = resistenza penetrometrica

Rs = resistenza scissometrica

C = campioni prelevati

H = manifestazioni idriche

NOTE = foro asciutto a fine sondaggio. Interruzione del sondaggio per difficoltà di avanzamento

COMUNE: Treia

LOCALITA': Villa Spada

COMMITTENTE: Amm. Comunale

STUDIO DI GEOLOGIA

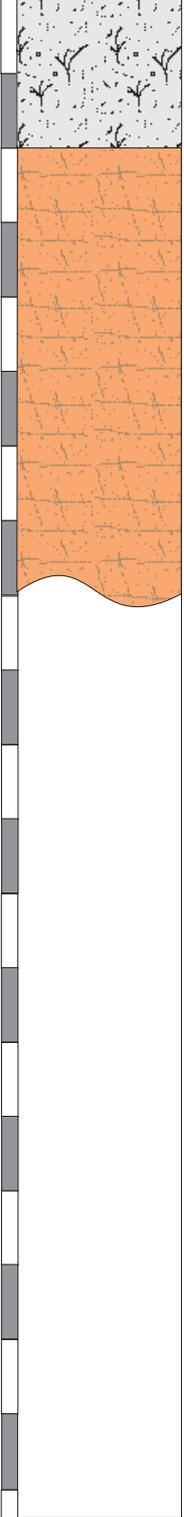
Dott. Paolo Giacomelli

Via De Gasperi 19 Porto Recanati
telefono 0733/233070 - 349.4753342

SONDAGGIO

2

28-10-'17

STRATIGRAFIA	QUOTE		LITOLOGIA	Rp. (kg.cmq)	Rs. (kg.cmq)	OSSERVAZIONI
	p.c.	parz.				
	1,0	1,0	<p>Terreno di riporto. Limo argilloso e sabbioso con inclusi di laterizi.</p>	3		
	2,0		<p>Sabbie con orizzonti arenacei e sottili livelli pelitici</p> <p><i>Associazione arenaceo-pelitica «argille a Colombacci»</i></p>	>>6		
	3,0					
	4,0	4,0				
	5,0					
	6,0					
	7,0					
	8,0					
	9,0					
	10					

Rp = resistenza penetrometrica

Rs = resistenza scissometrica

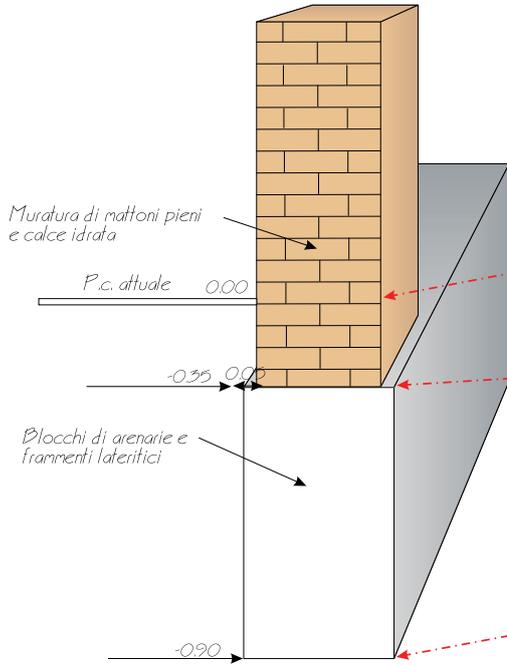
C = campioni prelevati

H = manifestazioni idriche

NOTE = foro asciutto a fine sondaggio. Interruzione del sondaggio per difficoltà di avanzamento

Committente: Comune di Treia
Località: Villa Spada
Comune di Treia

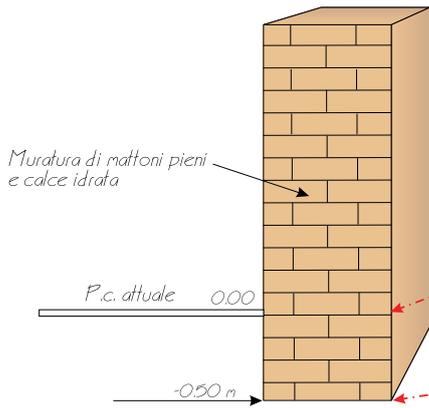
(Dr. S. Palpacelli, maggio 2016)



SCAVO N°1

Committente: Comune di Treia
Località: Villa Spada
Comune di Treia

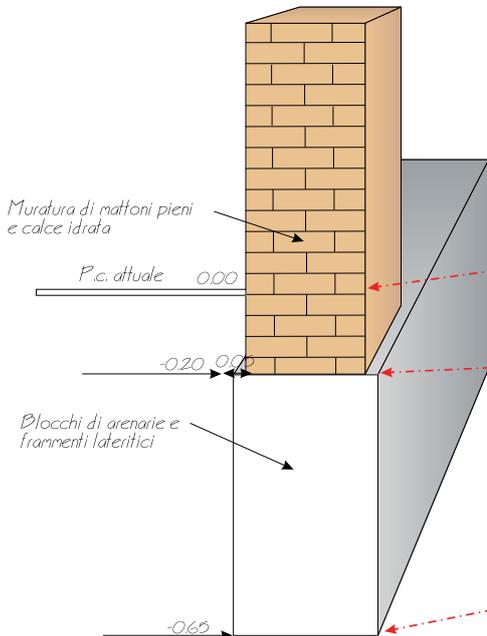
(Dr. S. Palpacelli, maggio 2016)



SCAVO N°2

Committente: Comune di Treia
Località: Villa Spada
Comune di Treia

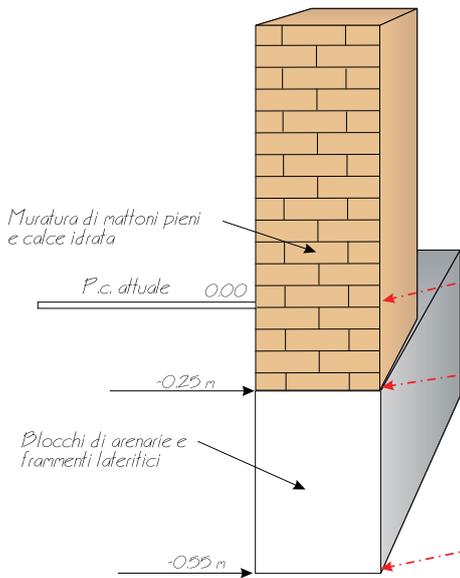
(Dr. S. Palpacelli, maggio 2016)



SCAVO N°3

Committente: Comune di Treia
Località: Villa Spada
Comune di Treia

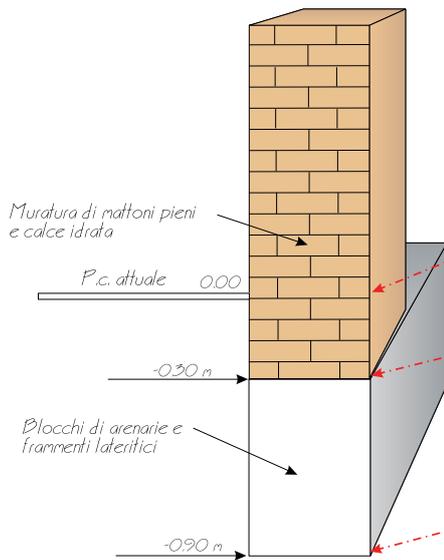
(Dr. S. Palpacelli, maggio 2016)



SCAVO N°4

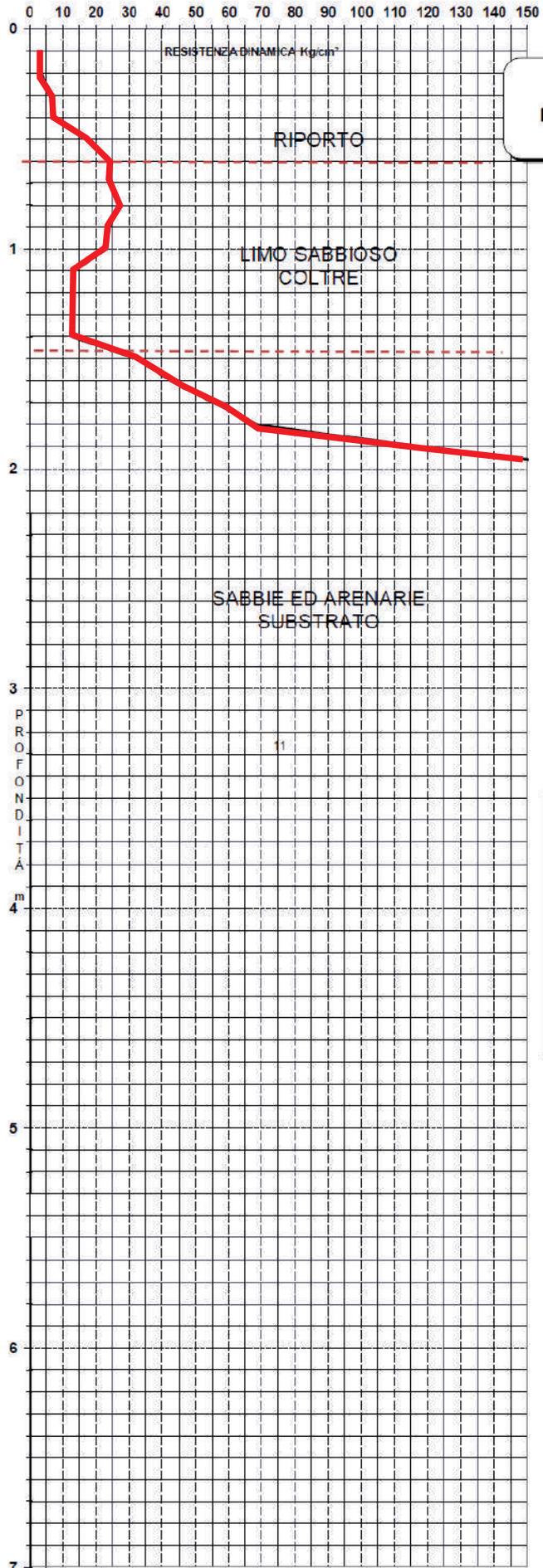
Committente: Comune di Treia
Località: Villa Spada
Comune di Treia

(Dr. S. Palpacelli, maggio 2016)



SCAVO N°5

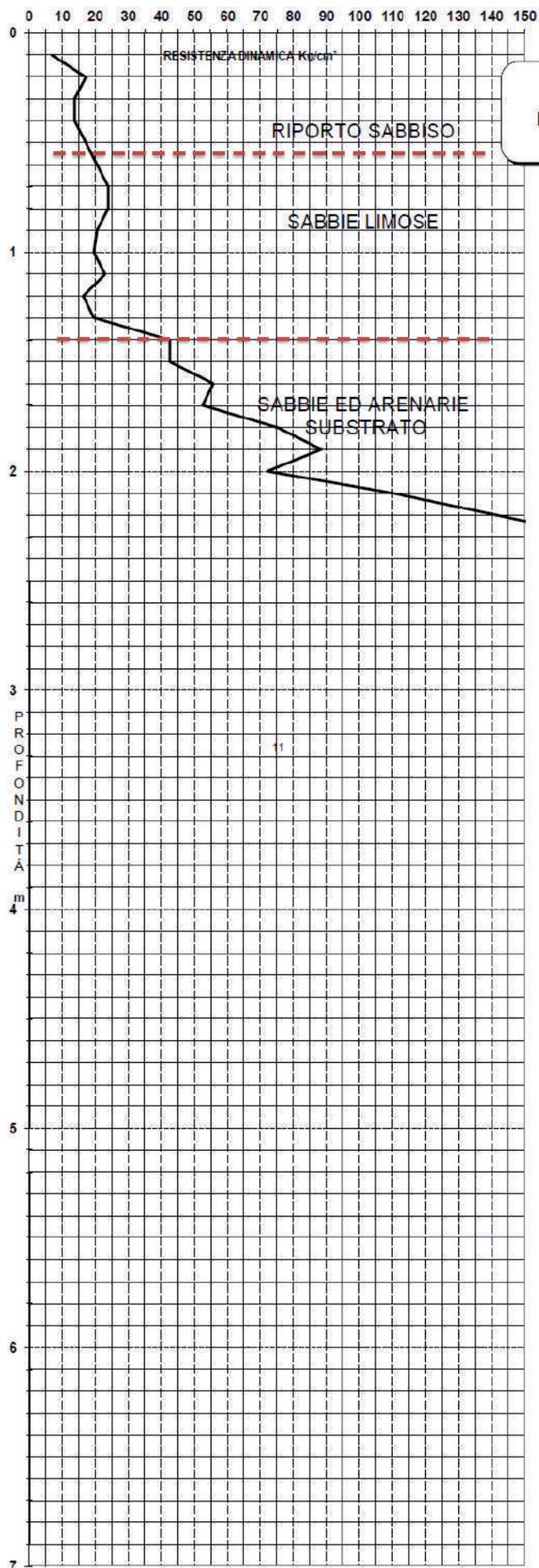
Profondità	N	RDP	ϕ'	Cu	E
0,1	1	3,4		0,2	7
0,2	1	3,4		0,2	7
0,3	2	6,9		0,3	14
0,4	2	6,9		0,3	14
0,5	5	17,2		0,8	34
0,6	7	24,0		1,1	48
0,7	7	24,0		1,1	48
0,8	8	27,5		1,3	55
0,9	7	24,0		1,1	48
1,0	7	23,0		1,1	46
1,1	4	13,1		0,6	26
1,2	4	13,1		0,6	26
1,3	4	13,1		0,6	26
1,4	4	13,1		0,6	26
1,5	10	32,8		1,6	66
1,6	13	42,6		2,0	85
1,7	17	55,7		2,7	111
1,8	21	68,9			138
1,9	36	118,0			236
2,0	55	172,6			345
2,1					
2,2					
2,3					
2,4					
2,5					
2,6					
2,7					
2,8					
2,9					
3,0					
3,1					
3,2					
3,3					
3,4					
3,5					
3,6					
3,7					
3,8					
3,9					
4,0					
4,1					
4,2					
4,3					
4,4					
4,5					
4,6					
4,7					
4,8					
4,9					
5,0					
5,1					
5,2					
5,3					
5,4					
5,5					
5,6					
5,7					
5,8					
5,9					
6,0					
6,1					
6,2					
6,3					
6,4					
6,5					
6,6					
6,7					
6,8					
6,9					
7,0					



valori di resistenza in Kg/cm²

parametri di correlazione: CU = 21; E = 2.

Profondità	N	RDP	ϕ'	Cu	E
0,1	2	6,9		0,3	14
0,2	5	17,2		0,8	34
0,3	4	13,7		0,7	27
0,4	4	13,7		0,7	27
0,5	5	17,2		0,8	34
0,6	6	20,6		1,0	41
0,7	7	24,0		1,1	48
0,8	7	24,0		1,1	48
0,9	6	20,6		1,0	41
1,0	6	19,7		0,9	39
1,1	7	23,0		1,1	46
1,2	5	16,4		0,8	33
1,3	6	19,7		0,9	39
1,4	13	42,6		2,0	85
1,5	13	42,6		2,0	85
1,6	17	55,7		2,7	111
1,7	16	52,5		2,5	105
1,8	23	75,4			151
1,9	27	88,5			177
2,0	23	72,2			144
2,1	35	109,9			220
2,2	45	141,2			282
2,3	55	172,6			345
2,4					
2,5					
2,6					
2,7					
2,8					
2,9					
3,0					
3,1					
3,2					
3,3					
3,4					
3,5					
3,6					
3,7					
3,8					
3,9					
4,0					
4,1					
4,2					
4,3					
4,4					
4,5					
4,6					
4,7					
4,8					
4,9					
5,0					
5,1					
5,2					
5,3					
5,4					
5,5					
5,6					
5,7					
5,8					
5,9					
6,0					
6,1					
6,2					
6,3					
6,4					
6,5					
6,6					
6,7					
6,8					
6,9					
7,0					



valori di resistenza in Kg/cm²

parametri di correlazione: Cu = 21; E = 2.

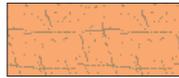
SEZIONE GEOLOGICA A-A'

LEGENDA

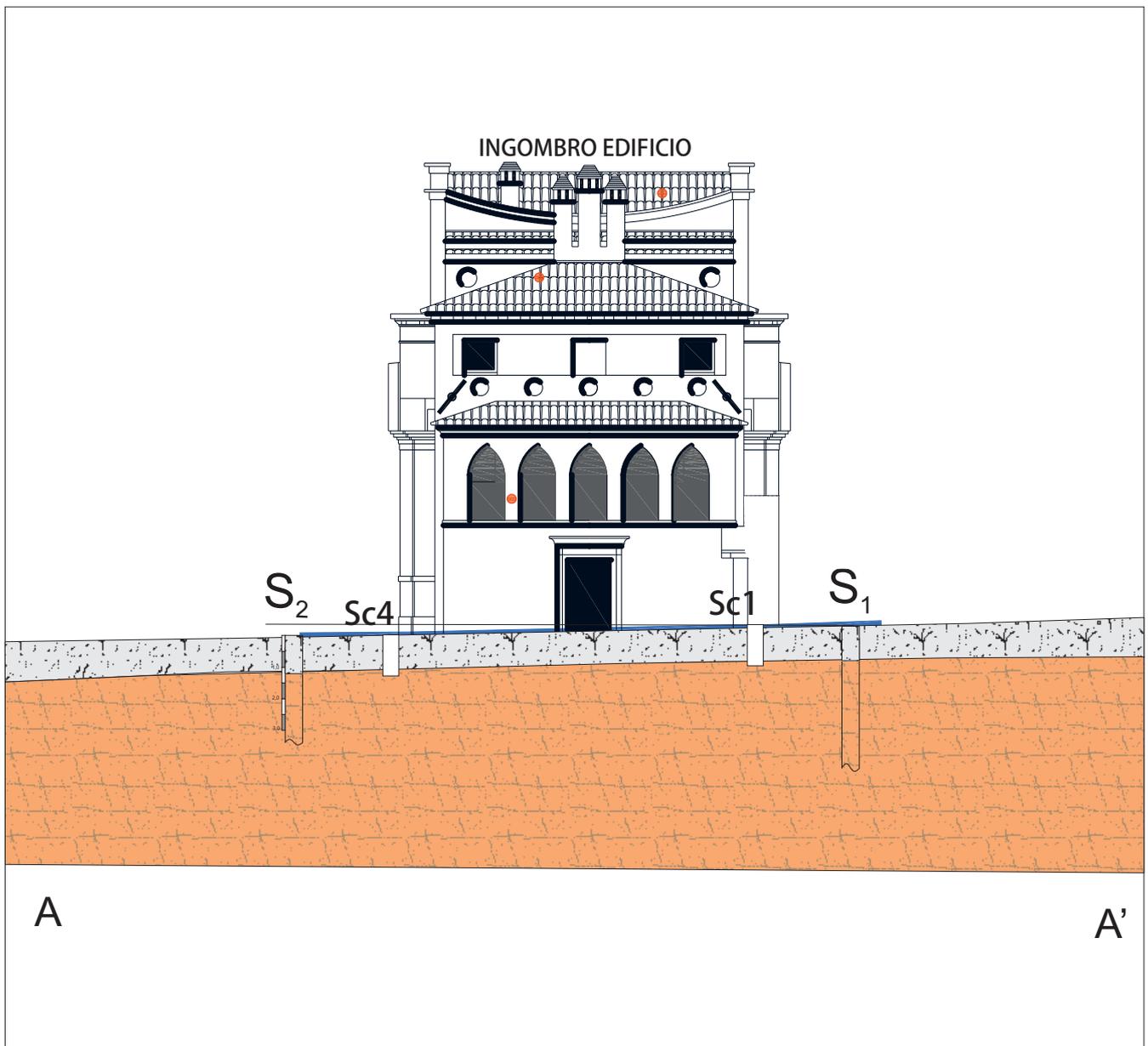
scala 1:200



Terreno di riporto eterogeneo



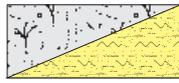
Sabbie stratificate con argille (Substrato)



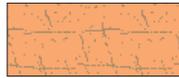
SEZIONE GEOLOGICA B-B'

LEGENDA

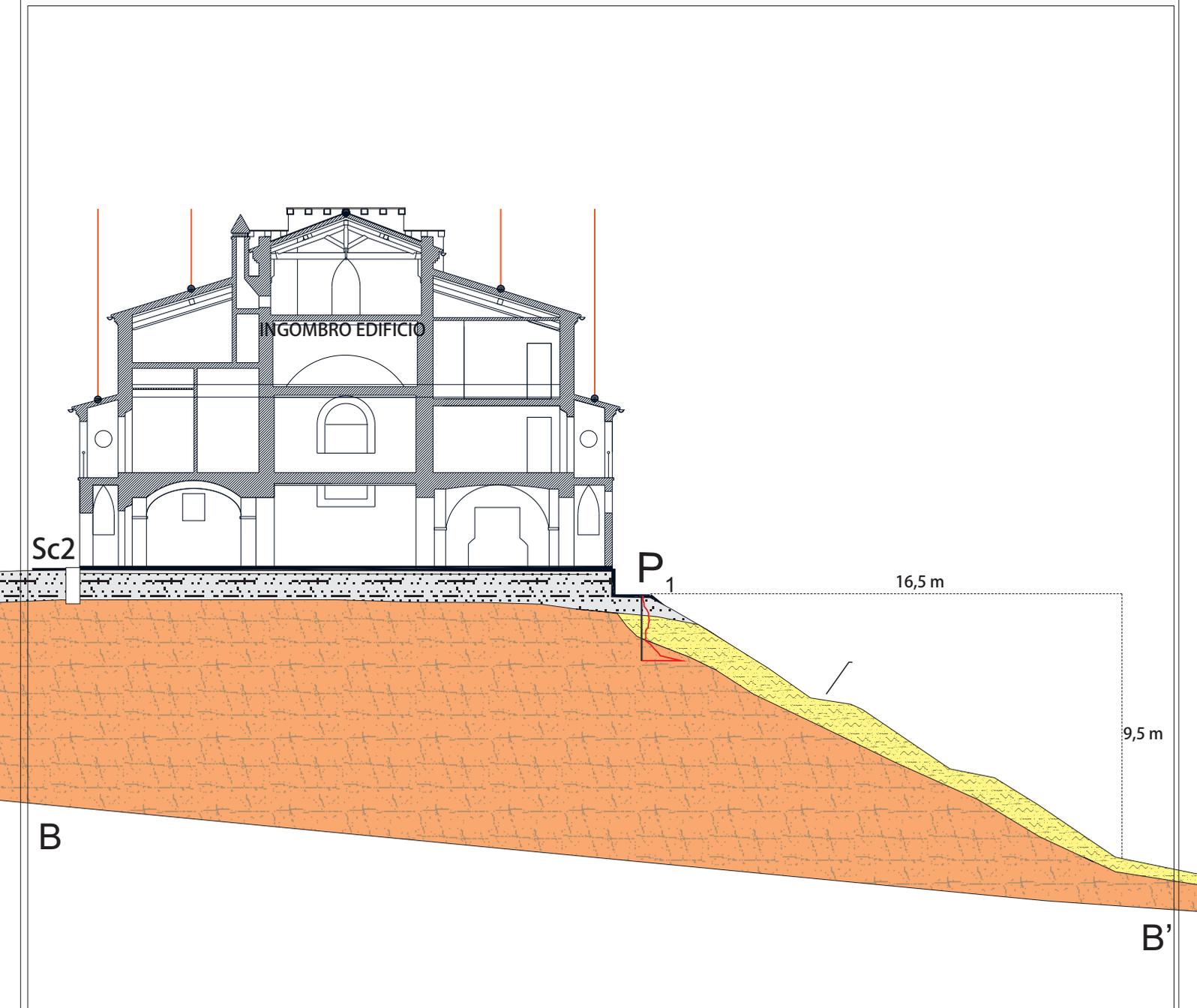
scala 1:200



Terreno di riporto eterogeneo e coltre limoso sabbiosa



Sabbie stratificate con argille (Substrato)



Tav.6a



Esecuzione prova Sismica H/V n.1



Esecuzione prova Sismica H/V n.2



Esecuzione prova penetrometrica n.1



Esecuzione prova penetrometrica n.2