

**REGIONE
FRIULI - VENEZIA GIULIA**

COMUNE DI MARTIGNACCO (UD)

ATLAS SOLAR 2 s.r.l.
Via Cino Del Duca, 5
20122 MILANO (MI)
P.IVA 03045640301

**PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO
AGRIVOLTAICO CON FOTOVOLTAICO AD INSEGUITORI MONOASSIALI
PER LA PRODUZIONE DI ENERGIA ELETTRICA, COMPRESIVO DI
IMPIANTO AGRICOLO CON ANNESSO APIARIO, SITO NEL COMUNE DI
MARTIGNACCO (UD), FORMATO DA DUE SEZIONI CIASCUNO PER UNA
POTENZA NOMINALE MASSIMA DI 9006 KW E POTENZA IN A.C. DI 8250
KW, ALLA TENSIONE RETE DI 20 KV E DELLE RELATIVE OPERE DI RETE
RICADENTI NEI COMUNI DI MARTIGNACCO (UD) E FAGAGNA (UD)**

**PROGETTO DEFINITIVO DELL'IMPIANTO DI PRODUZIONE
COMPRESIVO DELLE OPERE DI RETE PER LA CONNESSIONE**

ELABORATO

RELAZIONE GEOTECNICA

DATA: 25/11/2021

SCALA : -

aggiornamento :

IL CONSULENTE

Geol. Davide SERAVALLI



Udine (UD) Via Andreuzzi n°12, CAP 33100
Partita IVA 02943070306
www.atlas-re.eu

revisione	descrizione	data	DOC RS4
A	RELAZIONE GEOTECNICA	25/11/2021	
B			
C			

Sommario

1. INTRODUZIONE	2
2. DEFINIZIONE DEL MODELLO STRATIGRAFICO DEL TERRENO	4
3. INDICAZIONI GEOLOGICO TECNICHE	5
4. PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE	6
5. CALCOLO DELLA CAPACITA' PORTANTE PER UNA FONDAZIONE SUPERFICIALE	10
NORMATIVE DI RIFERIMENTO	10
STATI LIMITE DI ESERCIZIO(SLE)	10
CARICO LIMITE DI FONDAZIONI SU TERRENI	12
FATTORI CORRETTIVI SISMICI: PAOLUCCI E PECKER	13
PLINTO NUMERO 1	14
PLINTO NUMERO 2	16
PLINTO NUMERO 3	19
PLINTO NUMERO 4	22

1. INTRODUZIONE

Su incarico della committenza si redige la presente relazione geologica relativa ai terreni interessati dal progetto definitivo per la realizzazione di un impianto fotovoltaico.

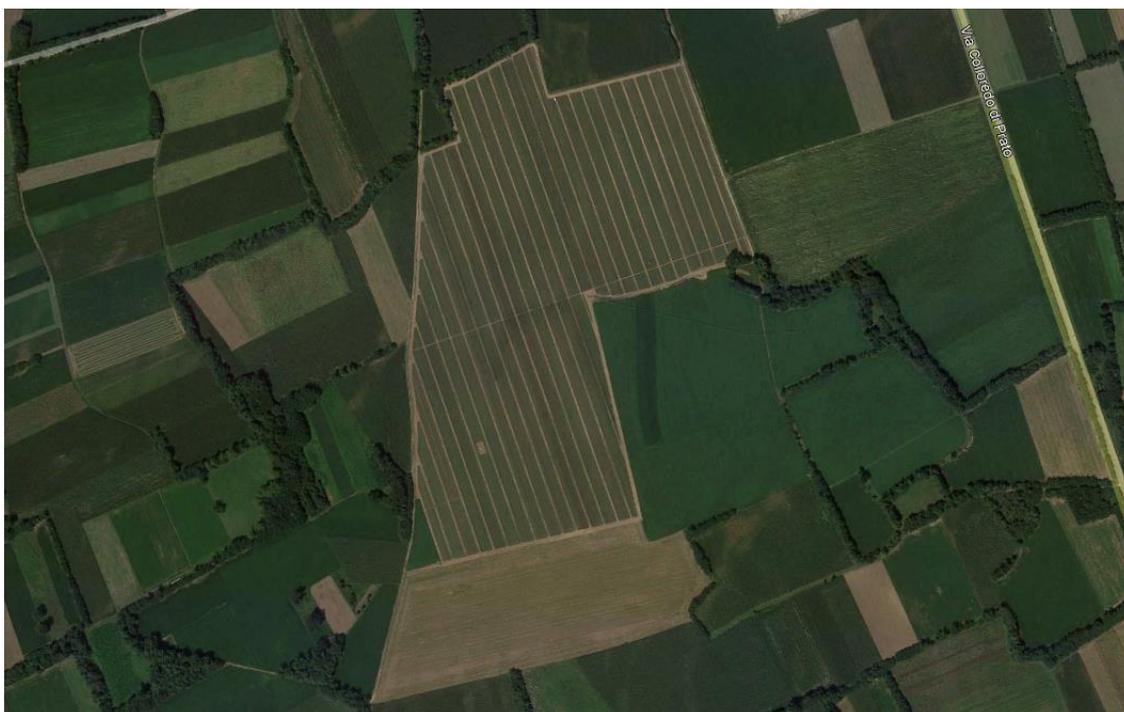
Il progetto prevede la realizzazione di un impianto fotovoltaico a terra, su un terreno agricolo situato in comune di Martignacco, a sudovest dell'abitato di Nogaredo di Prato e poco più a nord della SP60. Inoltre è prevista la realizzazione di un cavidotto interrato per il collegamento dell'impianto fotovoltaico alla rete di distribuzione.

Le situazioni tettonica e geologica della zona sono ben delineate; l'area di intervento si situa in un tratto di alta pianura friulana poco a sud delle colline moreniche che la orlano nel suo tratto settentrionale.

Per la redazione della presente relazione sono stati realizzati sopralluoghi e si è fatto riferimento ad informazioni bibliografiche. Inoltre tra ottobre e novembre 2021 lo scrivente ha effettuato una campagna di indagini geognostiche presso i terreni su cui sorgerà il campo fotovoltaico costituita da:

- Sette scavi di saggio
- Un'indagine sismica HVSR
- Due tomografie elettriche – indagine ERT

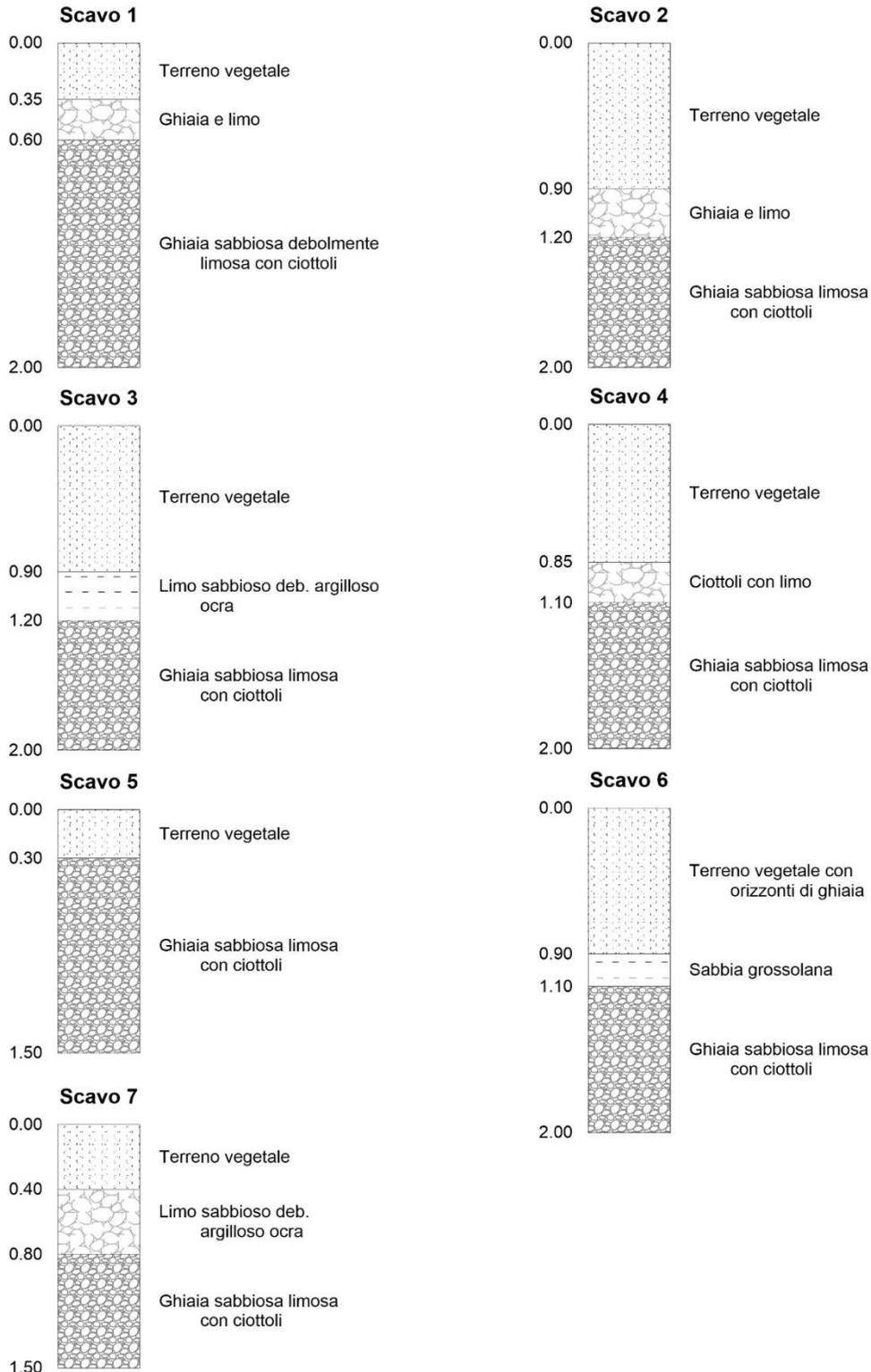
Vista aerea dell'area di intervento



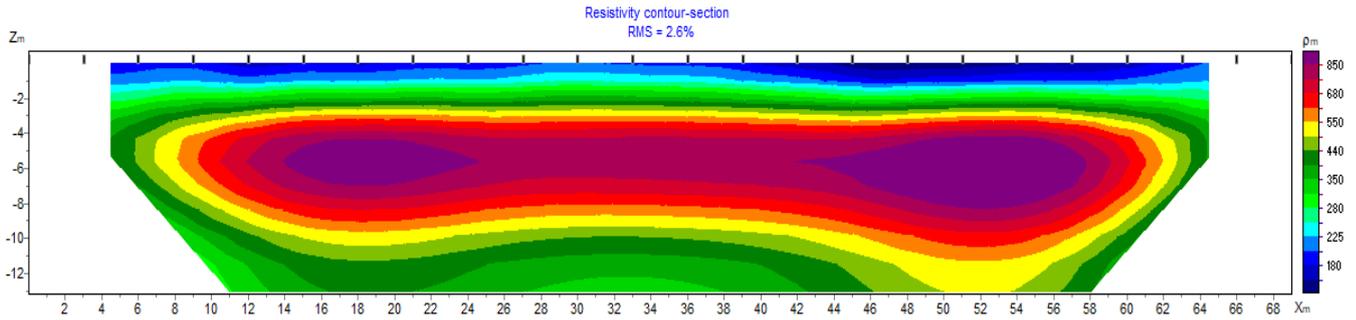
- D.M. 17/01/2018 Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni"
- D.M. 14/01/2008 recante "Nuove Norme tecniche per le costruzioni"
- Circolare 2 febbraio 2009, n° 617 recante "Istruzioni per l'applicazione delle "Nuove Norme tecniche per le costruzioni" di cui al decreto ministeriale 14 gennaio 2008
- Delibera del Consiglio Nazionale Geologi n. 111/2015 del 28 aprile 2015 - Raccomandazioni per la redazione della "relazione geologica ai sensi delle NTC" a cura del Centro Studi del Consiglio Nazionale dei Geologi.
- O.P.C.M. n° 3274 del 20/03/2003 e s.m.i., contenente "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e normative tecniche per la costruzione in zona sismica"
- Legge regionale FVG 16/2009 Norme per la costruzione in zona sismica e per la tutela fisica del territorio.
- Decreto Giunta Regionale del FVG n° 845/2010 del 06/05/2010 che definisce la classificazione sismica come richiesto dall'art 3, comma 2, lett a) della Legge Regionale 16/2009 "*classificazione delle zone sismiche e indicazione delle aree di alta e bassa sismicità*"

2. DEFINIZIONE DEL MODELLO STRATIGRAFICO DEL TERRENO

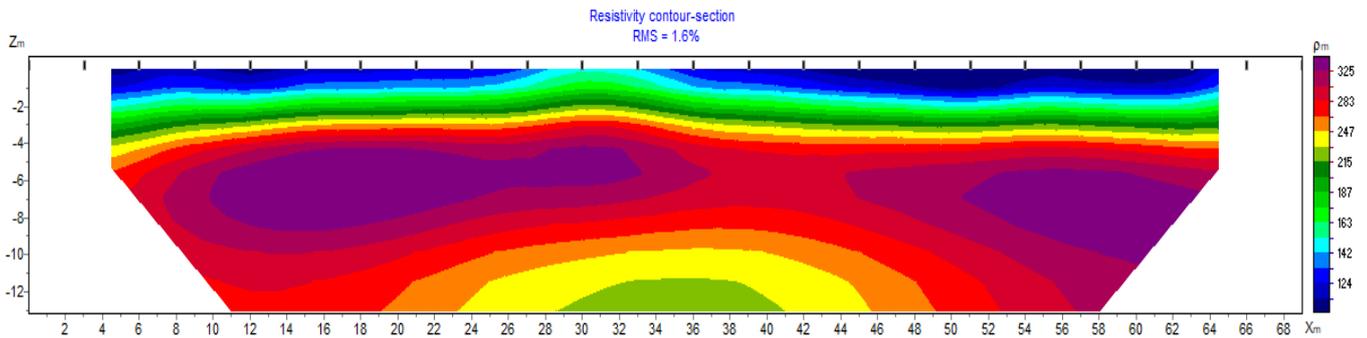
Di seguito si riportano le stratigrafie dei sette scavi di raggio ed i profili di resistività delle due tomografie elettriche, per mezzo dei quali è stato possibile definire la stratigrafia dei primi metri di sottosuolo:



Tomografia numero 1



Tomografia numero 2



3. INDICAZIONI GEOLOGICO TECNICHE

Dato il quadro geologico generale dell'area, visti i dati sul sottosuolo relativi alle indagini eseguite sui terreni e quanto emerso dal rilievo di superficie in campagna, si ritiene di poter schematizzare la struttura del sottosuolo, per i primi metri, nel seguente modo:

TERRENO VEGETALE spessore medio 60 centimetri
peso di volume (kN/mc) 16,50 – 17,00
angolo di attrito interno (gradi sess,) 25° - 26°
coesione (kN/mq) 0
permeabilità (m/s) 10^{-6} - 10^{-7}

GHIAIA E LIMO, SABBIA E LIMO fino alla profondità media di 0.9 e massima di 1.2 metri
peso di volume (kN/mc) 18,00 – 18,50
angolo di attrito interno (gradi sess,) 29° - 30°
coesione (kN/mq) 0
permeabilità (m/s) 10^{-7} - 10^{-8}

GHIAIA SABBIOSA DEBOLMENTE LIMOSA CON CIOTTOLI oltre la profondità media di 0.9 e massima di 1.2 metri
peso di volume (kN/mc) 18,50 – 19,00
angolo di attrito interno (gradi sess,) 33° - 34°
coesione (kN/mq) 0
permeabilità (cm/s) 10^{-4} - 10^{-5}

4. PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE

Vita nominale (Vn): 50 [anni]
 Classe d'uso: II
 Coefficiente d'uso (Cu): 1
 Periodo di riferimento (Vr): 50 [anni]

Periodo di ritorno (Tr) SLO: 30 [anni]
 Periodo di ritorno (Tr) SLD: 50 [anni]
 Periodo di ritorno (Tr) SLV: 475 [anni]
 Periodo di ritorno (Tr) SLC: 975 [anni]

Tipo di interpolazione: Media ponderata

Coordinate geografiche del punto

Latitudine (WGS84): 46,0645752 [°]
 Longitudine (WGS84): 13,1255550 [°]
 Latitudine (ED50): 46,0654602 [°]
 Longitudine (ED50): 13,1265335 [°]

Coordinate dei punti della maglia elementare del reticolo di riferimento che contiene il sito e valori della distanza rispetto al punto in esame

Punto	ID	Latitudine (ED50) [°]	Longitudine (ED50) [°]	Distanza [m]
1	9873	46,084160	13,057970	5682,94
2	9874	46,084390	13,129930	2121,28
3	10096	46,034400	13,130160	3464,92
4	10095	46,034160	13,058300	6311,94

Parametri di pericolosità sismica per TR diversi da quelli previsti nelle NTC, per i nodi della maglia elementare del reticolo di riferimento

Punto 1

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0,057	2,472	0,241
SLD	50	0,074	2,469	0,264
	72	0,089	2,465	0,274
	101	0,105	2,441	0,288
	140	0,122	2,425	0,306
	201	0,143	2,437	0,316
SLV	475	0,205	2,459	0,334
SLC	975	0,271	2,501	0,348
	2475	0,388	2,455	0,374

Punto 2

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0,057	2,472	0,241
SLD	50	0,074	2,475	0,263
	72	0,089	2,465	0,274
	101	0,105	2,441	0,288
	140	0,122	2,425	0,305
	201	0,143	2,436	0,316
SLV	475	0,206	2,459	0,333
SLC	975	0,272	2,501	0,348
	2475	0,390	2,454	0,374

Punto 3

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0,052	2,478	0,239
SLD	50	0,067	2,458	0,267
	72	0,080	2,461	0,278
	101	0,094	2,455	0,289
	140	0,109	2,425	0,310
	201	0,128	2,442	0,318
SLV	475	0,183	2,475	0,337
SLC	975	0,237	2,559	0,350
	2475	0,338	2,515	0,374

Punto 4

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0,052	2,479	0,239
SLD	50	0,067	2,459	0,267
	72	0,080	2,453	0,280
	101	0,093	2,459	0,290
	140	0,109	2,425	0,311
	201	0,127	2,442	0,319
SLV	475	0,181	2,477	0,339
SLC	975	0,235	2,561	0,351
	2475	0,334	2,520	0,374

Punto d'indagine

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0,055	2,474	0,240
SLD	50	0,071	2,467	0,265
SLV	475	0,196	2,466	0,335
SLC	975	0,258	2,525	0,349

PERICOLOSITÀ SISMICA DI SITO

Coefficiente di smorzamento viscoso ξ : 5 %

Fattore di alterazione dello spettro elastico $\eta = [10/(5+\xi)]^{(1/2)}$: 1,000

Categoria sottosuolo: B

Categoria topografica:

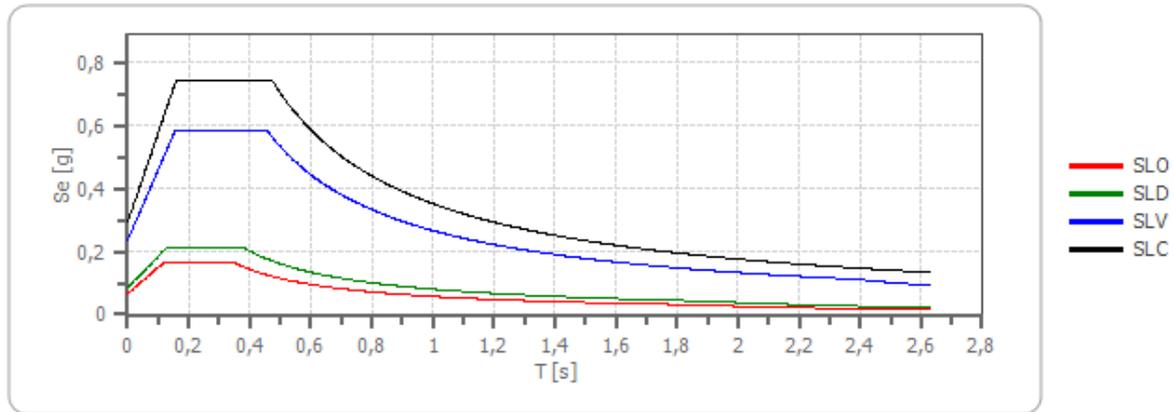
T1: Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media minore o uguale a 15°

Stabilità di pendii e fondazioni

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0,013	0,017	0,057	0,082
kv	0,007	0,009	0,028	0,041
amax [m/s ²]	0,648	0,840	2,310	2,880
Beta	0,200	0,200	0,240	0,280

Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti orizzontali

Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti orizzontali



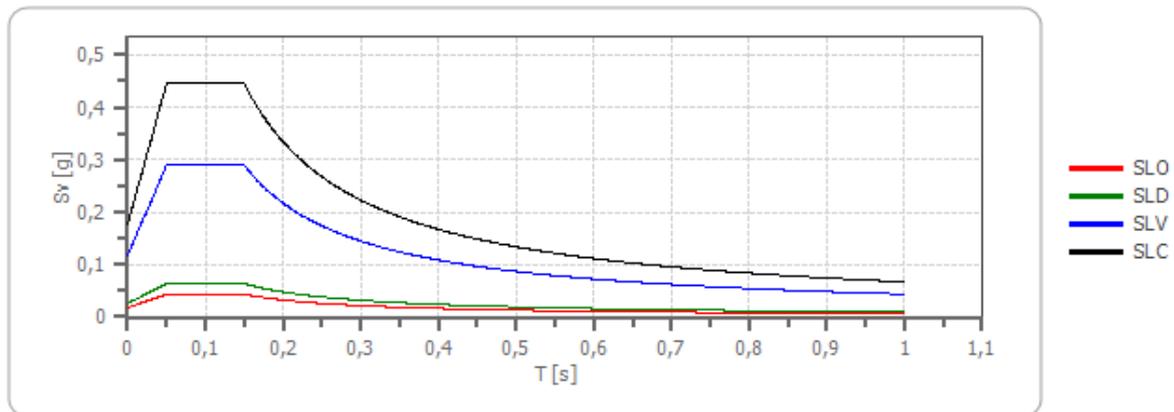
	cu	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	S [-]	η [-]	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [g]	Se(TB) [g]
SLO	1,0	0,055	2,474	0,240	1,200	1,460	1,000	1,200	1,000	0,117	0,351	1,820	0,066	0,164
SLD	1,0	0,071	2,467	0,265	1,200	1,440	1,000	1,200	1,000	0,127	0,381	1,885	0,086	0,211
SLV	1,0	0,196	2,466	0,335	1,200	1,370	1,000	1,200	1,000	0,153	0,459	2,385	0,236	0,581
SLC	1,0	0,258	2,525	0,349	1,140	1,360	1,000	1,140	1,000	0,158	0,474	2,630	0,294	0,741

Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti verticali

Coefficiente di smorzamento viscoso ξ : 5 %

Fattore di alterazione dello spettro elastico $\eta = [10/(5+\xi)]^{(1/2)}$: 1,000

Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti verticali



	cu	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	S [-]	η [-]	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [g]	Se(TB) [g]
SLO	1,0	0,055	2,474	0,240	1	1,460	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000	0,017	0,043
SLD	1,0	0,071	2,467	0,265	1	1,440	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000	0,026	0,064
SLV	1,0	0,196	2,466	0,335	1	1,370	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000	0,117	0,289
SLC	1,0	0,258	2,525	0,349	1	1,360	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000	0,177	0,446

Spettro di progetto

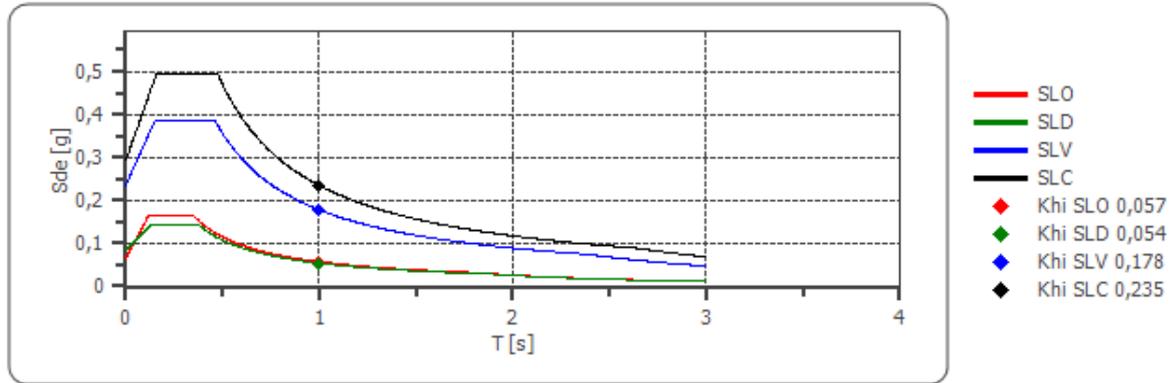
Fattore di struttura spettro orizzontale q: 1,50

Fattore di struttura spettro verticale q: 1,50

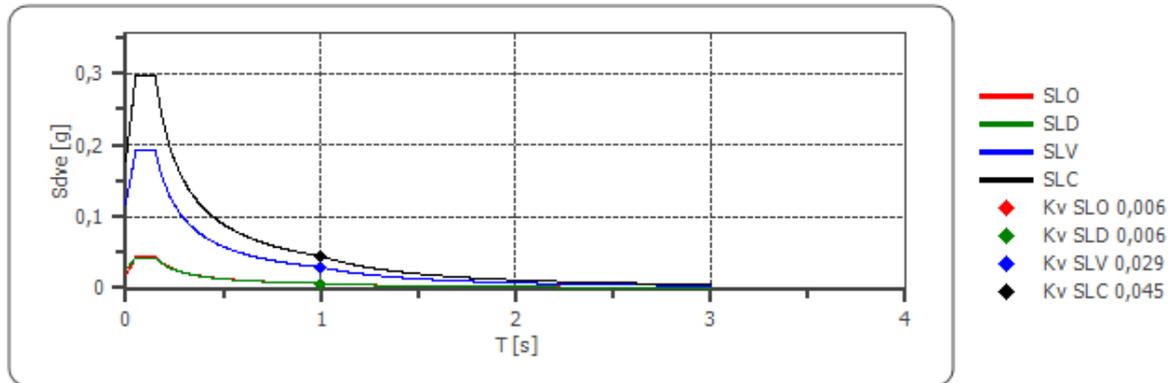
Periodo fondamentale T: 1,00 [s]

	SLO	SLD	SLV	SLC
khi = Sde(T) Orizzontale [g]	0,057	0,054	0,178	0,235
kv = Sdve(T) Verticale [g]	0,006	0,006	0,029	0,045

Spettro di progetto delle componenti orizzontali



Spettro di progetto delle componenti verticali



	cu	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	S [-]	q [-]	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Sd(0) [g]	Sd(TB) [g]
SLO orizzontale	1,0	0,055	2,474	0,240	1,200	1,460	1,000	1,200	1,000	0,117	0,351	1,820	0,066	0,164
SLO verticale	1,0	0,055	2,474	0,240	1,200	1,460	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000	0,017	0,043
SLD orizzontale	1,0	0,071	2,467	0,265	1,200	1,440	1,000	1,200	1,500	0,127	0,381	1,885	0,086	0,141
SLD verticale	1,0	0,071	2,467	0,265	1,200	1,440	1,000	1,000	1,500	0,050	0,150	1,000	0,026	0,042
SLV orizzontale	1,0	0,196	2,466	0,335	1,200	1,370	1,000	1,200	1,500	0,153	0,459	2,385	0,236	0,387
SLV verticale	1,0	0,196	2,466	0,335	1,200	1,370	1,000	1,000	1,500	0,050	0,150	1,000	0,117	0,193
SLC orizzontale	1,0	0,258	2,525	0,349	1,140	1,360	1,000	1,140	1,500	0,158	0,474	2,630	0,294	0,494
SLC verticale	1,0	0,258	2,525	0,349	1,140	1,360	1,000	1,000	1,500	0,050	0,150	1,000	0,177	0,297

5. CALCOLO DELLA CAPACITA' PORTANTE PER UNA FONDAZIONE SUPERFICIALE

NORMATIVE DI RIFERIMENTO

Norme tecniche per le Costruzioni 2018

Aggiornamento alle Norme tecniche per le costruzioni D.M. 17 gennaio 2018.

Gli stati limite ultimi per sviluppo di meccanismi di collasso determinati dal raggiungimento della resistenza del terreno interagente con le fondazioni (GEO) riguardano:

- collasso per carico limite nei terreni di fondazione;

- scorrimento sul piano di posa.

In tali verifiche, tutte le azioni su un elemento di fondazione possono essere ricondotte a una forza risultante applicata al piano di posa.

Per le verifiche agli stati limite ultimi di tipo geotecnico (GEO) per carico limite e per scorrimento si deve fare riferimento all'approccio 2.

L'analisi deve essere condotta con la Combinazione (A1+M1+R3), nella quale i coefficienti parziali sui parametri di resistenza del terreno (M1) sono unitari, i coefficienti parziali sulle azioni (A1) sono indicati dalla tabella 6.2.I e la resistenza globale del sistema è ridotta tramite i coefficienti g_R del gruppo R3 riportati in tab. 6.4.I.

Tab. 6.2.I – Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni

	Effetto	Coefficiente Parziale g_F (o g_E)	EQU	(A1)	(A2)
Carichi permanenti G_1	Favorevole	g_{G1}	0.9	1.0	1.0
	Sfavorevole		1.1	1.3	1.0
Carichi permanenti G_2 (1)	Favorevole	g_{G2}	0.8	0.8	0.8
	Sfavorevole		1.5	1.5	1.3
Azioni variabili Q	Favorevole	g_{Qi}	0.0	0.0	0.0
	Sfavorevole		1.5	1.5	1.3

(1) Per i carichi permanenti G_2 si applica quanto indicato alla Tabella 2.6.I. Per la spinta delle terre si fa riferimento ai coefficienti g_{G1}

Tab. 6.4.I – Coefficienti parziali g_R per le verifiche agli stati limite ultimi di fondazioni superficiali

Verifica	Coefficiente parziale
	(R3)
Carico limite	$g_R = 2.3$
Scorrimento	$g_R = 1.1$

STATI LIMITE DI ESERCIZIO (SLE)

La capacità di garantire le prestazioni previste per le condizioni di esercizio (SLE) deve essere verificata confrontando il valore limite di progetto associato a ciascun aspetto di funzionalità esaminato (Cd), con il corrispondente valore di progetto dell'effetto delle azioni (Ed), attraverso la seguente espressione formale:

$$Ed < Cd$$

Ed = valore di progetto dell'azione o degli effetti dell'azione

Cd = valore limite dell'effetto delle azioni (spostamenti e deformazioni che possano compromettere la funzionalità di una struttura).

I valori degli spostamenti e delle distorsioni andranno calcolati considerando le combinazioni di carico per gli SLE specificate al §2.5.3:

- Combinazione frequente
- Combinazione quasi permanente s.l.t.

Le verifiche relative alle deformazioni (cedimenti) e agli spostamenti si effettuano adoperando i valori caratteristici dei parametri (fk).

Nelle analisi, devono essere impiegati i valori caratteristici delle proprietà meccaniche e pertanto i relativi coefficienti parziali di sicurezza devono sempre essere assunti unitari (fk = fd): si adottano i valori caratteristici dei moduli di deformazione dei terreni (E'k, Eedk).

Sotto l'effetto dell'azione sismica di progetto le opere e i sistemi geotecnici devono rispettare gli stati limite ultimi e di esercizio già definiti in precedenza (§ 3.2.1 NTC), con i requisiti di sicurezza indicati nel § 7.1.

Le verifiche degli stati limite ultimi in presenza di azioni sismiche devono essere eseguite ponendo pari a 1 i coefficienti parziali sulle azioni e sui parametri geotecnici e impiegando le resistenze di progetto, con i coefficienti parziali gR indicati nel presente Capitolo 7 oppure con i gR indicati nel Capitolo 6 laddove non espressamente specificato

Stato Limite Ultimo (SLV) per carico limite (§ 7.11.5.3.1)

Le azioni derivano dall'analisi della struttura in elevazione come specificato al § 7.2.5. Le resistenze sono i corrispondenti valori limite che producono il collasso del complesso fondazione-terreno; esse sono valutabili mediante l'estensione di procedure classiche al caso di azione sismica, tenendo conto dell'effetto dell'inclinazione e dell'eccentricità delle azioni in fondazione. Il corrispondente valore di progetto si ottiene applicando il coefficiente gR di Tabella 7.11.II. Se, nel calcolo del carico limite, si considera esplicitamente l'effetto delle azioni inerziali sul volume di terreno significativo (e.g. Richards et al., Paolucci e Pecker), il coefficiente gR può essere ridotto a 1.8.

Stato Limite Ultimo (SLV) per scorrimento sul piano di posa (§ 7.11.5.3.1)

Per azione si intende il valore della forza agente parallelamente al piano di scorrimento, per resistenza si intende la risultante delle tensioni tangenziali limite sullo stesso piano, sommata, in casi particolari, alla risultante delle tensioni limite agenti sulle superfici laterali della fondazione.

Specificamente, si può tener conto della resistenza lungo le superfici laterali nel caso di contatto diretto fondazione-terreno in scavi a sezione obbligata o di contatto diretto fondazione-calcestruzzo o fondazione-acciaio in scavi sostenuti da paratie o palancole.

In tali casi, il progettista deve indicare l'aliquota della resistenza lungo le superfici laterali che intende portare in conto, da giustificare con considerazioni relative alle caratteristiche meccaniche dei terreni e ai criteri costruttivi dell'opera.

Ai fini della verifica allo scorrimento, si può considerare la resistenza passiva solo nel caso di effettiva permanenza di tale contributo, portando in conto un'aliquota non superiore al 50%.

Stato limite di esercizio (SLE)

A meno dell'impiego di specifiche analisi dinamiche, in grado di fornire la risposta deformativa del sistema fondazione-terreno, la verifica nei confronti dello stato limite di danno può essere ritenuta soddisfatta impiegando le azioni corrispondenti allo SLD e determinando il carico limite di progetto con il coefficiente gR riportato nella Tabella 7.11.II.

Tab. 7.11.II - Coefficienti parziali gR per le verifiche degli stati limite (SLV) delle fondazioni superficiali con azioni sismiche

Verifica	Coefficiente parziale
Carico limite	2.3
Scorrimento	1.1
Resistenza sulle superfici laterali	1.3

CARICO LIMITE DI FONDAZIONI SU TERRENI

Formula Brich-Hansen (EC 7 – EC 8)

Affinché una fondazione possa resistere il carico di progetto con sicurezza nei riguardi della rottura generale, per tutte le combinazioni di carico relative allo SLU (stato limite ultimo), deve essere soddisfatta la seguente disuguaglianza:

$$V_d \leq R_d$$

Dove V_d è il carico di progetto allo SLU, normale alla base della fondazione, comprendente anche il peso della fondazione stessa; mentre R_d è il carico limite di progetto della fondazione nei confronti di carichi normali, tenendo conto anche dell'effetto di carichi inclinati o eccentrici.

Nella valutazione analitica del carico limite di progetto R_d si devono considerare le situazioni a breve e a lungo termine nei terreni a grana fine.

Il carico limite di progetto in condizioni non drenate si calcola come:

$$\frac{R}{A'} = (2 + \pi) \cdot c_u \cdot s_c \cdot i_c + q$$

Dove:

$A' = B' L'$ area della fondazione efficace di progetto, intesa, in caso di carico eccentrico, come l'area ridotta al cui centro viene applicata la risultante del carico.

c_u Coesione non drenata.

q pressione litostatica totale sul piano di posa.

s_c Fattore di forma

$$s_c = 1 + 0.2 \cdot \left(\frac{B'}{L'} \right) \quad \text{per fondazioni rettangolari}$$

$$s_c = 1.2 \quad \text{per fondazioni quadrate o circolari}$$

i_c Fattore correttivo per l'inclinazione del carico dovuta ad un carico H.

$$i_c = 0.5 + 0.5 \sqrt{1 - \frac{H}{A'_f \cdot c_a}}$$

Per le condizioni drenate il carico limite di progetto è calcolato come segue.

$$\frac{R}{A'} = c' \cdot N_c \cdot s_c \cdot i_c + q' \cdot N_q \cdot s_q \cdot i_q + 0.5 \cdot \gamma' \cdot B' \cdot N_\gamma \cdot s_\gamma \cdot i_\gamma$$

Dove:

$$N_q = e^{\pi \cdot \tan \varphi'} \cdot \tan^2(45 + \varphi' / 2)$$

$$N_c = (N_q - 1) \cot \varphi'$$

$$N_\gamma = 2 \cdot (N_q - 1) \tan \varphi'$$

Fattori di forma

$$s_q = 1 + \frac{B'}{L'} \cdot \sin \varphi' \quad \text{per forma rettangolare}$$

$$s_q = 1 + \sin \varphi' \quad \text{per forma quadrata o circolare}$$

$$s_\gamma = 1 - 0.3 \frac{B'}{L'} \quad \text{per forma rettangolare}$$

$$s_\gamma = 0.7 \quad \text{per forma quadrata o circolare}$$

$$s_c = \frac{s_q \cdot N_q - 1}{N_q - 1} \quad \text{per forma rettangolare, quadrata o circolare}$$

Fattori inclinazione risultante dovuta ad un carico orizzontale H

$$i'_c = 0.5 - 0.5 \sqrt{1 - \frac{H}{A'_f \cdot c_a}}$$

$$i_c = i_q - \frac{1 - i_q}{N_q - 1}$$

$$i_q = \left(1 - \frac{H}{V + A' \cdot c' \cdot \cot \varphi'}\right)^m$$

$$i_\gamma = \left(1 - \frac{H}{V + A' \cdot c' \cdot \cot \varphi'}\right)^{m+1}$$

$$i_c = \frac{i_q \cdot N_q - 1}{N_q - 1}$$

Dove:

$$m = m_B = \frac{\left[2 + \left(\frac{B'}{L'}\right)\right]}{\left[1 + \left(\frac{B'}{L'}\right)\right]} \quad \text{con } H // B'$$

$$m = m_L = \frac{\left[2 + \left(\frac{L'}{B'}\right)\right]}{\left[1 + \left(\frac{L'}{B'}\right)\right]} \quad \text{con } H // L'$$

Se H forma un angolo θ con la direzione di L' , l'esponente "m" viene calcolato con la seguente espressione:

$$m = m_\theta = m_L \cdot \cos^2 \theta + m_B \cdot \sin^2 \theta$$

Oltre ai fattori correttivi di cui sopra sono considerati quelli complementari della profondità del piano di posa e dell'inclinazione del piano di posa e del piano campagna (Hansen).

FATTORI CORRETTIVI SISMICI: PAOLUCCI E PECKER

Per tener conto degli effetti inerziali indotti dal sisma sulla determinazione del qlim vengono introdotti i fattori correttivi z:

$$z_q = \left(1 - \frac{k_h}{\text{tg} \varphi}\right)^{0,35}$$

$$z_c = 1 - 0,32 \cdot k_h$$

$$z_\gamma = z_q$$

Dove k_h è il coefficiente sismico orizzontale.

Si forniscono di seguito i risultati delle analisi di capacità portante per una fondazione superficiale, dimensionando quattro differenti tipi di plinto, utilizzando i seguenti dati di input:

PLINTO NUMERO 1

SISMA

```
=====
Accelerazione massima (amax/g)          0.235
Effetto sismico secondo                   Paolucci, Pecker (1997)
Coefficiente sismico orizzontale         0.0564
=====
```

Coefficienti sismici [N.T.C.]

Dati generali

```
=====
Tipo opera:                             2 - Opere ordinarie
Classe d'uso:                            Classe II
Vita nominale:                           50.0      [anni]
Vita di riferimento:                     50.0      [anni]
=====
```

STRATIGRAFIA TERRENO

Spessore strato [m]	Peso unità di volume [kN/m ³]	Peso unità di volume saturo [kN/m ³]	Angolo di attrito [°]	Coesione [kN/m ²]	Descrizione
0.6	16.5	17.5	25.0	0.0	terreno vegetale
0.6	18.0	19.0	29.0	0.0	ghiaia e limo
4.0	18.5	19.5	33.0	0.0	ghiaia sabbiosa debolmente limosa

Carichi di progetto agenti sulla fondazione

Nr.	Nome combinazione	Pressione normale di progetto [kN/m ²]	N [kN]	Mx [kN·m]	My [kN·m]	Hx [kN]	Hy [kN]	Tipo
1	A1+M1+R3	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Progetto
2	SISMA	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Progetto
3	S.L.E.	70.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Servizio

Sisma + Coeff. parziali parametri geotecnici terreno + Resistenze

Nr	Correzione Sismica	Tangente angolo di resistenza al taglio	Coesione efficace	Coesione non drenata	Peso Unità volume in fondazione	Peso unità volume copertura	Coef. Rid. Capacità portante verticale	Coef. Rid. Capacità portante orizzontale
1	No	1	1	1	1	1	2.3	1.1
2	Si	1	1	1	1	1	2.3	1.1
3	No	1	1	1	1	1	1	1

DATI GENERALI

```
=====
Normativa                             NTC 2018
Larghezza fondazione                   0.5   m
Lunghezza fondazione                   0.5   m
Profondità piano di posa                2.0   m
=====
```

A1+M1+R3

```
=====
Autore: Brinch - Hansen 1970 (Condizione drenata)
=====
```

PARAMETRI GEOTECNICI DI CALCOLO

Peso unità di volume	18.5	kN/m ³
Peso unità di volume saturo	19.5	kN/m ³
Angolo di attrito	33.0	°
Coesione	0.0	kN/m ²
Fattore [Nq]	26.09	
Fattore [Nc]	38.64	
Fattore [Ng]	32.59	
Fattore forma [Sc]	1.57	
Fattore profondità [Dc]	1.37	
Fattore inclinazione carichi [Ic]	1.0	
Fattore inclinazione pendio [Gc]	1.0	
Fattore inclinazione base [Bc]	1.0	
Fattore forma [Sq]	1.54	
Fattore profondità [Dq]	1.36	
Fattore inclinazione carichi [Iq]	1.0	
Fattore inclinazione pendio [Gq]	1.0	
Fattore inclinazione base [Bq]	1.0	
Fattore forma [Sg]	0.7	
Fattore profondità [Dg]	1.0	
Fattore inclinazione carichi [Ig]	1.0	
Fattore inclinazione pendio [Gg]	1.0	
Fattore inclinazione base [Bg]	1.0	
Fattore correzione sismico inerziale [zq]	1.0	
Fattore correzione sismico inerziale [zg]	1.0	
Fattore correzione sismico inerziale [zc]	1.0	
Carico limite	2047.12	kN/m ²
Resistenza di progetto	890.05	kN/m ²
Condizione di verifica [Ed<=Rd]	Verificata	

SISMA

Autore: Brinch - Hansen 1970 (Condizione drenata)

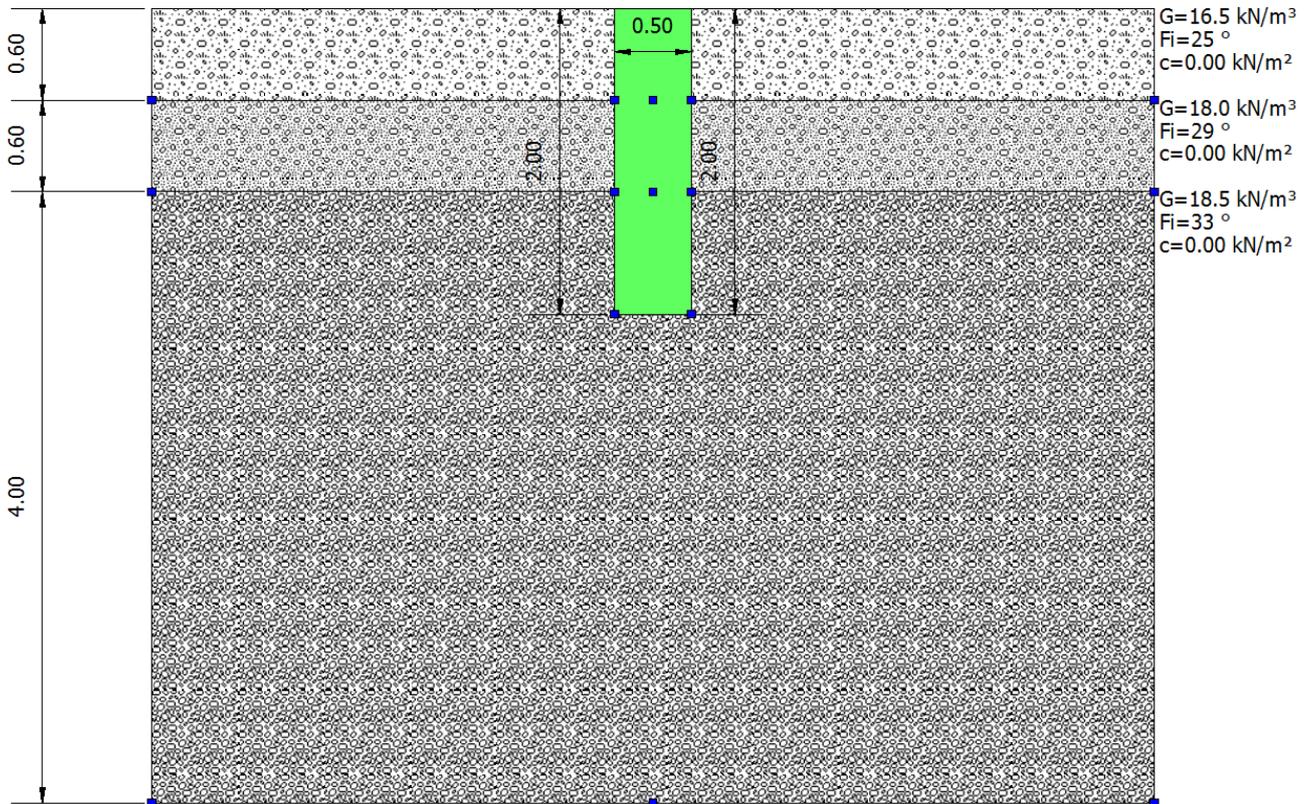
PARAMETRI GEOTECNICI DI CALCOLO

Peso unità di volume	18.5	kN/m ³
Peso unità di volume saturo	19.5	kN/m ³
Angolo di attrito	33.0	°
Coesione	0.0	kN/m ²
Fattore [Nq]	26.09	
Fattore [Nc]	38.64	
Fattore [Ng]	32.59	
Fattore forma [Sc]	1.57	
Fattore profondità [Dc]	1.37	
Fattore inclinazione carichi [Ic]	1.0	
Fattore inclinazione pendio [Gc]	1.0	
Fattore inclinazione base [Bc]	1.0	
Fattore forma [Sq]	1.54	
Fattore profondità [Dq]	1.36	
Fattore inclinazione carichi [Iq]	1.0	
Fattore inclinazione pendio [Gq]	1.0	

Fattore inclinazione base [Bq]	1.0
Fattore forma [Sg]	0.7
Fattore profondità [Dg]	1.0
Fattore inclinazione carichi [Ig]	1.0
Fattore inclinazione pendio [Gg]	1.0
Fattore inclinazione base [Bg]	1.0
Fattore correzione sismico inerziale [zq]	0.88
Fattore correzione sismico inerziale [zg]	0.85
Fattore correzione sismico inerziale [zc]	0.94

Carico limite	1805.26	kN/m ²
Resistenza di progetto	784.89	kN/m ²

Condizione di verifica [Ed<=Rd] Verificata



PLINTO NUMERO 2

SISMA

Accelerazione massima (amax/g)	0.235
Effetto sismico secondo	Paolucci, Pecker (1997)
Coefficiente sismico orizzontale	0.0564

Coefficienti sismici [N.T.C.]

Dati generali

Tipo opera:	2 - Opere ordinarie
Classe d'uso:	Classe II
Vita nominale:	50.0 [anni]

Vita di riferimento: 50.0 [anni]

STRATIGRAFIA TERRENO

Spessore strato [m]	Peso unità di volume [kN/m ³]	Peso unità di volume saturo [kN/m ³]	Angolo di attrito [°]	Coesione [kN/m ²]	Descrizione
0.6	16.5	17.5	25.0	0.0	terreno vegetale
0.6	18.0	19.0	29.0	0.0	ghiaia e limo
4.0	18.5	19.5	33.0	0.0	ghiaia sabbiosa debolmente limosa

Carichi di progetto agenti sulla fondazione

Nr.	Nome combinazione	Pressione normale di progetto [kN/m ²]	N [kN]	Mx [kN·m]	My [kN·m]	Hx [kN]	Hy [kN]	Tipo
1	A1+M1+R3	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Progetto
2	SISMA	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Progetto
3	S.L.E.	70.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Servizio

Sisma + Coeff. parziali parametri geotecnici terreno + Resistenze

Nr	Correzione Sismica	Tangente angolo di resistenza al taglio	Coesione efficace	Coesione non drenata	Peso Unità volume in fondazione	Peso unità volume copertura	Coef. Rid. Capacità portante verticale	Coef. Rid. Capacità portante orizzontale
1	No	1	1	1	1	1	2.3	1.1
2	Si	1	1	1	1	1	2.3	1.1
3	No	1	1	1	1	1	1	1

DATI GENERALI

=====
 Normativa NTC 2018
 Larghezza fondazione 0.3 m
 Lunghezza fondazione 0.3 m
 Profondità piano di posa 2.0 m
 =====

A1+M1+R3

Autore: Brinch - Hansen 1970 (Condizione drenata)
 =====

PARAMETRI GEOTECNICI DI CALCOLO

=====
 Peso unità di volume 18.5 kN/m³
 Peso unità di volume saturo 19.5 kN/m³
 Angolo di attrito 33.0 °
 Coesione 0.0kN/m²
 =====
 Fattore [Nq] 26.09
 Fattore [Nc] 38.64
 Fattore [Ng] 32.59
 Fattore forma [Sc] 1.57
 Fattore profondità [Dc] 1.4
 Fattore inclinazione carichi [Ic] 1.0
 Fattore inclinazione pendio [Gc] 1.0
 Fattore inclinazione base [Bc] 1.0
 Fattore forma [Sq] 1.54
 Fattore profondità [Dq] 1.38
 Fattore inclinazione carichi [Iq] 1.0

Fattore inclinazione pendio [Gq]	1.0
Fattore inclinazione base [Bq]	1.0
Fattore forma [Sg]	0.7
Fattore profondità [Dg]	1.0
Fattore inclinazione carichi [Ig]	1.0
Fattore inclinazione pendio [Gg]	1.0
Fattore inclinazione base [Bg]	1.0
Fattore correzione sismico inerziale [zq]	1.0
Fattore correzione sismico inerziale [zg]	1.0
Fattore correzione sismico inerziale [zc]	1.0

Carico limite	2041.94	kN/m ²
Resistenza di progetto	887.8	kN/m ²

Condizione di verifica [Ed<=Rd] Verificata

SISMA

Autore: Brinch - Hansen 1970 (Condizione drenata)

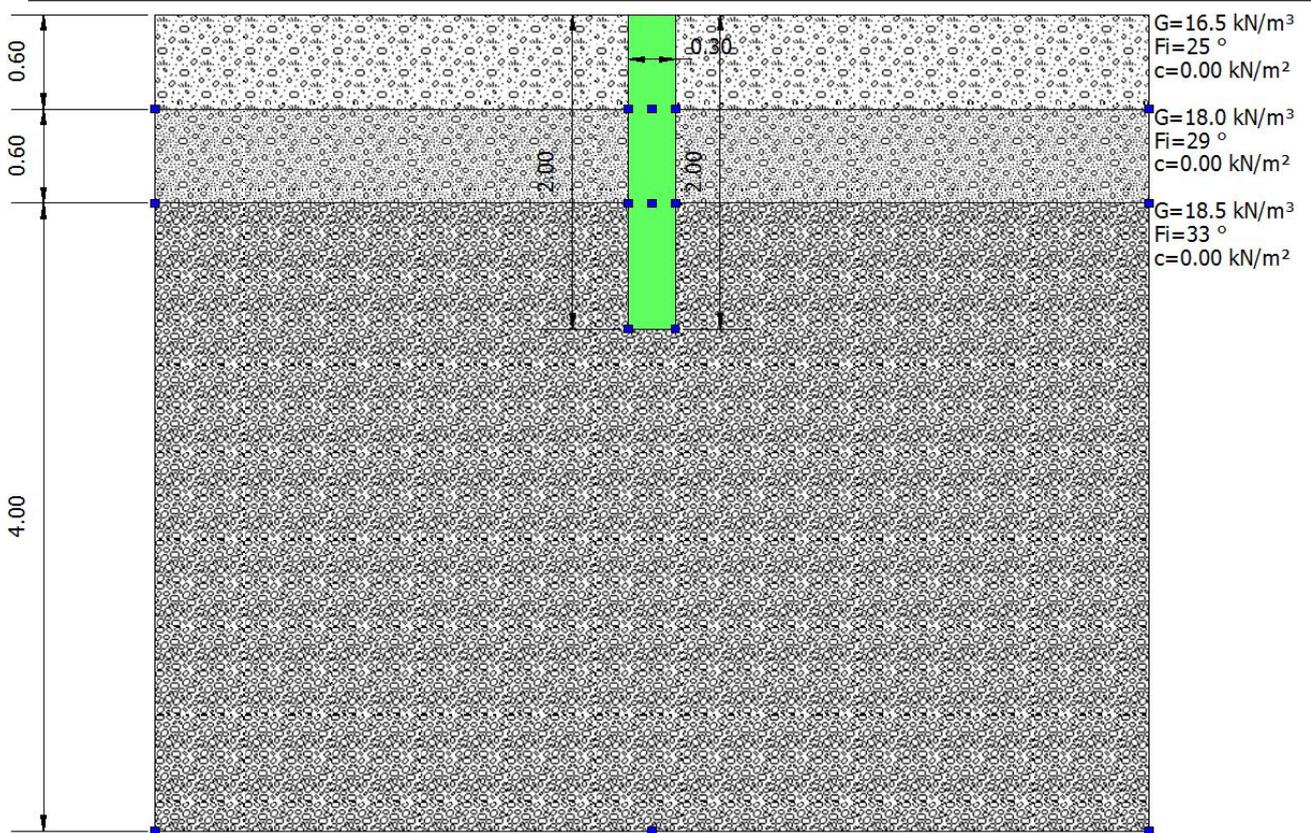
PARAMETRI GEOTECNICI DI CALCOLO

Peso unità di volume	18.5	kN/m ³
Peso unità di volume saturo	19.5	kN/m ³
Angolo di attrito	33.0	°
Coesione	0.0	kN/m ²

Fattore [Nq]	26.09
Fattore [Nc]	38.64
Fattore [Ng]	32.59
Fattore forma [Sc]	1.57
Fattore profondità [Dc]	1.4
Fattore inclinazione carichi [Ic]	1.0
Fattore inclinazione pendio [Gc]	1.0
Fattore inclinazione base [Bc]	1.0
Fattore forma [Sq]	1.54
Fattore profondità [Dq]	1.38
Fattore inclinazione carichi [Iq]	1.0
Fattore inclinazione pendio [Gq]	1.0
Fattore inclinazione base [Bq]	1.0
Fattore forma [Sg]	0.7
Fattore profondità [Dg]	1.0
Fattore inclinazione carichi [Ig]	1.0
Fattore inclinazione pendio [Gg]	1.0
Fattore inclinazione base [Bg]	1.0
Fattore correzione sismico inerziale [zq]	0.88
Fattore correzione sismico inerziale [zg]	0.85
Fattore correzione sismico inerziale [zc]	0.94

Carico limite	1802.17	kN/m ²
Resistenza di progetto	783.55	kN/m ²

Condizione di verifica [Ed<=Rd] Verificata



PLINTO NUMERO 3

SISMA

Accelerazione massima (amax/g)	0.235
Effetto sismico secondo	Paolucci, Pecker (1997)
Coefficiente sismico orizzontale	0.0564

Coefficienti sismici [N.T.C.]

Dati generali

Tipo opera:	2 - Opere ordinarie	
Classe d'uso:	Classe II	
Vita nominale:	50.0	[anni]
Vita di riferimento:	50.0	[anni]

STRATIGRAFIA TERRENO

Spessore strato [m]	Peso unità di volume [kN/m³]	Peso unità di volume saturo [kN/m³]	Angolo di attrito [°]	Coesione [kN/m²]	Descrizione
0.6	16.5	17.5	25.0	0.0	terreno vegetale
0.6	18.0	19.0	29.0	0.0	ghiaia e limo
4.0	18.5	19.5	33.0	0.0	ghiaia sabbiosa debolmente limosa

Carichi di progetto agenti sulla fondazione

Nr.	Nome combinazioni	Pressione normale di progetto [kN/m²]	N [kN]	Mx [kN·m]	My [kN·m]	Hx [kN]	Hy [kN]	Tipo

1	A1+M1+R3	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Progetto
2	SISMA	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Progetto
3	S.L.E.	70.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Servizio

Sisma + Coeff. parziali parametri geotecnici terreno + Resistenze

Nr	Correzione Sismica	Tangente angolo di resistenza al taglio	Coesione efficace	Coesione non drenata	Peso Unità volume in fondazione	Peso unità volume copertura	Coef. Rid. Capacità portante verticale	Coef. Rid. Capacità portante orizzontale
1	No	1	1	1	1	1	2.3	1.1
2	Si	1	1	1	1	1	2.3	1.1
3	No	1	1	1	1	1	1	1

DATI GENERALI

=====
 Normativa NTC 2018
 Larghezza fondazione 0.5 m
 Lunghezza fondazione 0.5 m
 Profondità piano di posa 2.5 m
 =====

A1+M1+R3

Autore: Brinch - Hansen 1970 (Condizione drenata)
 =====

PARAMETRI GEOTECNICI DI CALCOLO

=====
 Peso unità di volume 18.5 kN/m³
 Peso unità di volume saturo 19.5 kN/m³
 Angolo di attrito 33.0 °
 Coesione 0.0 kN/m²
 =====

Fattore [Nq] 26.09
 Fattore [Nc] 38.64
 Fattore [Ng] 32.59
 Fattore forma [Sc] 1.57
 Fattore profondità [Dc] 1.38
 Fattore inclinazione carichi [Ic] 1.0
 Fattore inclinazione pendio [Gc] 1.0
 Fattore inclinazione base [Bc] 1.0
 Fattore forma [Sq] 1.54
 Fattore profondità [Dq] 1.37
 Fattore inclinazione carichi [Iq] 1.0
 Fattore inclinazione pendio [Gq] 1.0
 Fattore inclinazione base [Bq] 1.0
 Fattore forma [Sg] 0.7
 Fattore profondità [Dg] 1.0
 Fattore inclinazione carichi [Ig] 1.0
 Fattore inclinazione pendio [Gg] 1.0
 Fattore inclinazione base [Bg] 1.0
 Fattore correzione sismico inerziale [zq] 1.0
 Fattore correzione sismico inerziale [zg] 1.0
 Fattore correzione sismico inerziale [zc] 1.0
 =====

Carico limite 2609.27kN/m²
 Resistenza di progetto 1134.47kN/m²

Condizione di verifica [Ed<=Rd] Verificata
 =====

SISMA

Autore: Brinch - Hansen 1970 (Condizione drenata)

PARAMETRI GEOTECNICI DI CALCOLO

=====

Peso unità di volume	18.5	kN/m ³
Peso unità di volume saturo	19.5	kN/m ³
Angolo di attrito	33.0	°
Coesione	0.0	kN/m ²

=====

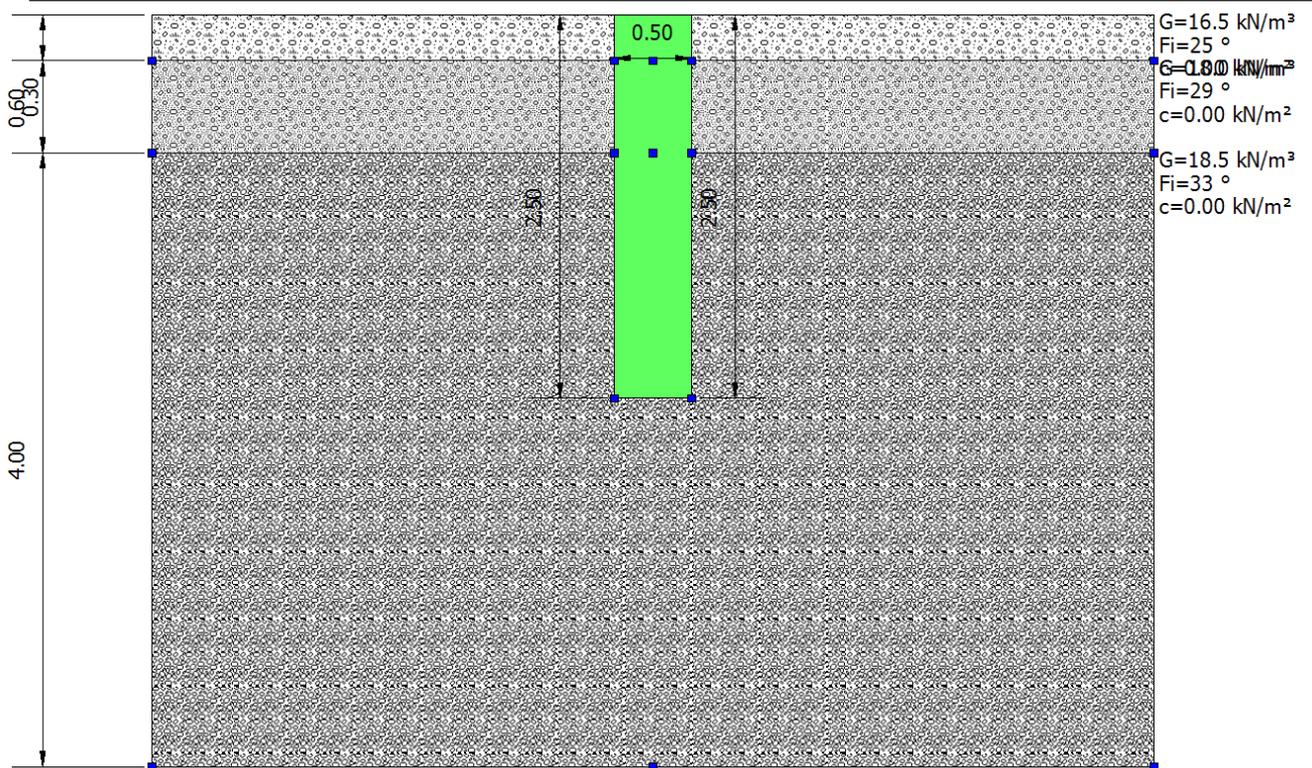
Fattore [Nq]	26.09	
Fattore [Nc]	38.64	
Fattore [Ng]	32.59	
Fattore forma [Sc]	1.57	
Fattore profondità [Dc]	1.38	
Fattore inclinazione carichi [Ic]	1.0	
Fattore inclinazione pendio [Gc]	1.0	
Fattore inclinazione base [Bc]	1.0	
Fattore forma [Sq]	1.54	
Fattore profondità [Dq]	1.37	
Fattore inclinazione carichi [Iq]	1.0	
Fattore inclinazione pendio [Gq]	1.0	
Fattore inclinazione base [Bq]	1.0	
Fattore forma [Sg]	0.7	
Fattore profondità [Dg]	1.0	
Fattore inclinazione carichi [Ig]	1.0	
Fattore inclinazione pendio [Gg]	1.0	
Fattore inclinazione base [Bg]	1.0	
Fattore correzione sismico inerziale [zq]	0.88	
Fattore correzione sismico inerziale [zg]	0.85	
Fattore correzione sismico inerziale [zc]	0.94	

=====

Carico limite	2302.01kN/m ²
Resistenza di progetto	1000.88kN/m ²

Condizione di verifica [Ed<=Rd] Verificata

=====



PLINTO NUMERO 4

SISMA

Accelerazione massima (amax/g)	0.235
Effetto sismico secondo	Paolucci, Pecker (1997)
Coefficiente sismico orizzontale	0.0564

Coefficienti sismici [N.T.C.]

Dati generali

Tipo opera:	2 - Opere ordinarie
Classe d'uso:	Classe II
Vita nominale:	50.0 [anni]
Vita di riferimento:	50.0 [anni]

STRATIGRAFIA TERRENO

Spessore strato [m]	Peso unità di volume [kN/m³]	Peso unità di volume saturo [kN/m³]	Angolo di attrito [°]	Coesione [kN/m²]	Descrizione
0.6	16.5	17.5	25.0	0.0	terreno vegetale
0.6	18.0	19.0	29.0	0.0	ghiaia e limo
4.0	18.5	19.5	33.0	0.0	ghiaia sabbiosa debolmente limosa

Carichi di progetto agenti sulla fondazione

Nr.	Nome combinazione	Pressione normale di progetto [kN/m²]	N [kN]	Mx [kN·m]	My [kN·m]	Hx [kN]	Hy [kN]	Tipo
1	A1+M1+R3	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Progetto

2	SISMA	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Progetto
3	S.L.E.	70.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Servizio

Sisma + Coeff. parziali parametri geotecnici terreno + Resistenze

Nr	Correzione Sismica	Tangente angolo di resistenza al taglio	Coesione efficace	Coesione non drenata	Peso Unità volume in fondazione	Peso unità volume copertura	Coef. Rid. Capacità portante verticale	Coef.Rid.Ca pacità portante orizzontale
1	No	1	1	1	1	1	2.3	1.1
2	Si	1	1	1	1	1	2.3	1.1
3	No	1	1	1	1	1	1	1

DATI GENERALI

=====
 Normativa NTC 2018
 Larghezza fondazione 0.3 m
 Lunghezza fondazione 0.3 m
 Profondità piano di posa 2.5 m
 =====

A1+M1+R3

Autore: Brinch - Hansen 1970 (Condizione drenata)
 =====

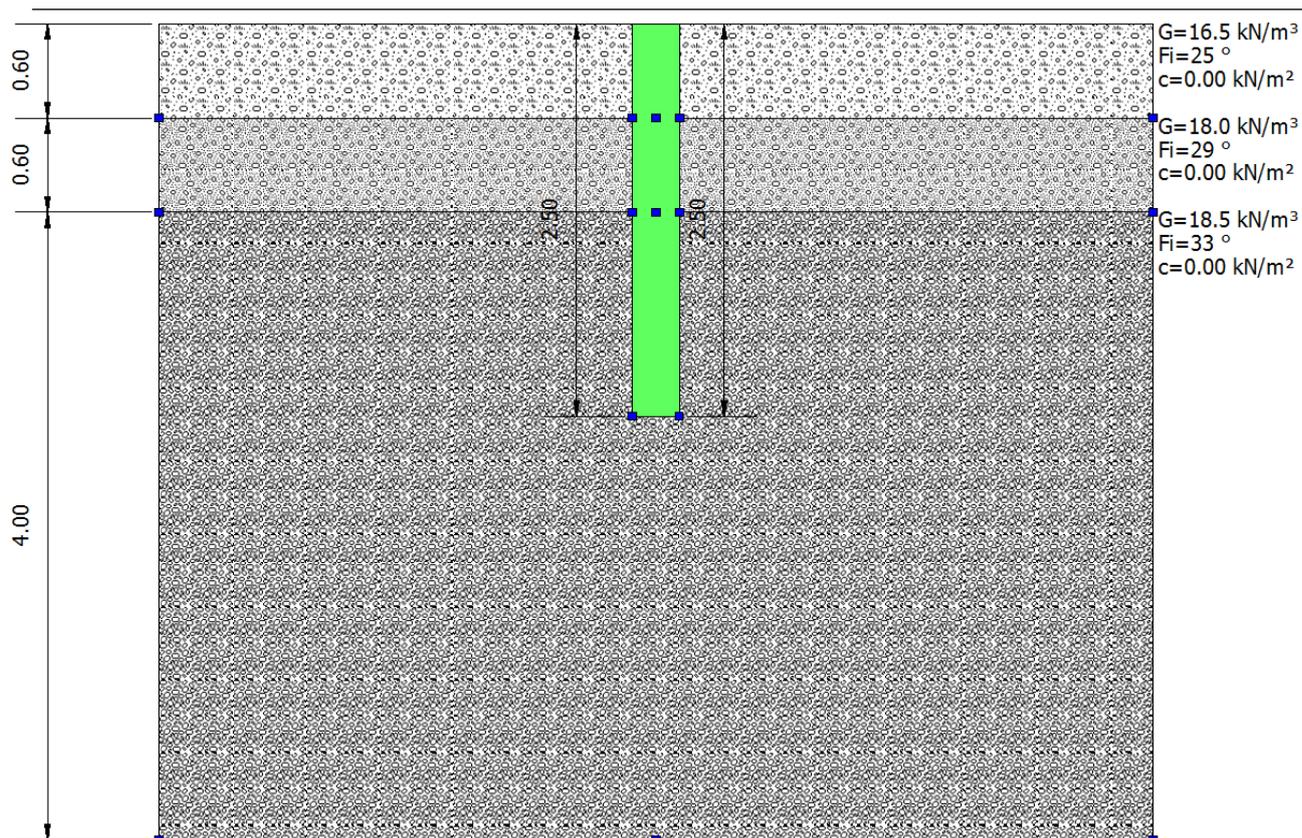
PARAMETRI GEOTECNICI DI CALCOLO

=====
 Peso unità di volume 18.5 kN/m³
 Peso unità di volume saturo 19.5 kN/m³
 Angolo di attrito 33.0 °
 Coesione 0.0 kN/m²
 =====

Fattore [Nq] 26.09
 Fattore [Nc] 38.64
 Fattore [Ng] 32.59
 Fattore forma [Sc] 1.57
 Fattore profondità [Dc] 1.41
 Fattore inclinazione carichi [Ic] 1.0
 Fattore inclinazione pendio [Gc] 1.0
 Fattore inclinazione base [Bc] 1.0
 Fattore forma [Sq] 1.54
 Fattore profondità [Dq] 1.39
 Fattore inclinazione carichi [Iq] 1.0
 Fattore inclinazione pendio [Gq] 1.0
 Fattore inclinazione base [Bq] 1.0
 Fattore forma [Sg] 0.7
 Fattore profondità [Dg] 1.0
 Fattore inclinazione carichi [Ig] 1.0
 Fattore inclinazione pendio [Gg] 1.0
 Fattore inclinazione base [Bg] 1.0
 Fattore correzione sismico inerziale [zq] 1.0
 Fattore correzione sismico inerziale [zg] 1.0
 Fattore correzione sismico inerziale [zc] 1.0
 =====

Carico limite 2571.81 kN/m²
 Resistenza di progetto 1118.18 kN/m²
 =====

Condizione di verifica [Ed<=Rd] Verificata
 =====



Gemona del Friuli, 19 novembre 2021

Dott. Geol. Davide Seravalli