

COMUNE DI

PROGETTO



ELABORATO

IDENTIFICAZIONE ELABORATO

LIV. PROG.	VERSIONE	TIPO DOC.	CODICE PROGETTO	CODICE ELABORATO	DATA	SCALA

REVISIONI

REV	DATA	AUTORE	DESCRIZIONE	VER.	APP.

PROGETTAZIONE



Maya Engineering S.r.l.

Via M. D'Azeglio 2, 70017, Putignano (BA)  
T: +39 080 8937976 | E: info@maya-eng.com  
CF e P.IVA 08365980724

GRUPPO DI LAVORO

SPAZIO RISERVATO AGLI ENTI

RICHIEDENTE

Documento:	Relazione Geotecnica						
Progetto:	PROGETTO DEFINITIVO PER LA COSTRUZIONE E L'ESERCIZIO DI UN IMPIANTO AGRIVOLTAICO, DENOMINATO TAVERNOLA, AVENTE POTENZA NOMINALE DI 49,66 MWp, INTEGRATO CON SISTEMA DI ACCUMULO DI 10 MW, POTENZA IN IMMISSIONE RICHIESTA 55 MW, E RELATIVE OPERE DI CONNESSIONE ALLA RETE ELETTRICA NAZIONALE						
Richiedente:	AMBRA SOLARE 7 S.R.L.	Data:	06/2023	Revisione:	1.0	Pag.:	1 / 21
Codice Progetto:	ITOPW004.071024			Cod. Documento:	ITOPW004.PD.01.REL.VIA2_2.RGT		

## SOMMARIO

<b>1. PREMESSA.....</b>	<b>2</b>
<b>2. INDAGINI GEOGNOSTICHE IN SITU.....</b>	<b>3</b>
<b>3. MODELLO GEOTECNICO DEL SOTTOSUOLO.....</b>	<b>4</b>
3.1 Caratterizzazione Elasto-Meccanica dei Terreni di Fondazione .....	4
<b>4. PERICOLOSITA' SISMICA DI BASE .....</b>	<b>6</b>
4.1 Pericolosità del Sito.....	6
4.2 Strategia di progettazione .....	6
4.3 Azioni di progetto.....	7
<b>5. CAPACITA' PORTANTE DEL TERRENO.....</b>	<b>8</b>
5.1 Sicurezza e Prestazioni Attese .....	8
5.2 Carico Limite di Fondazioni su Terreni .....	8
5.2.1 Metodo di Terzaghi (1955) .....	9
5.2.2 Formula di Meyerhof (1963).....	10
5.2.3 Formula di Hansen (1970).....	11
5.2.4 Formula di Vesic (1975) .....	13
5.3 Verifica allo Slittamento .....	13
5.4 Fattori Correttivi Sismici (Paolucci e Pecker) .....	13
5.5 Applicazione al Caso Oggetto di Studio.....	13



<b>Documento:</b>	Relazione Geotecnica					
<b>Progetto:</b>	PROGETTO DEFINITIVO PER LA COSTRUZIONE E L'ESERCIZIO DI UN IMPIANTO AGRIVOLTAICO, DENOMINATO TAVERNOLA, AVENTE POTENZA NOMINALE DI 49,66 MWp, INTEGRATO CON SISTEMA DI ACCUMULO DI 10 MW, POTENZA IN IMMISSIONE RICHIESTA 55 MW, E RELATIVE OPERE DI CONNESSIONE ALLA RETE ELETTRICA NAZIONALE					
<b>Richiedente:</b>	AMBRA SOLARE 7 S.R.L.	<b>Data:</b>	06/2023	<b>Revisione:</b>	1.0	<b>Pag.:</b> 2 / 21
<b>Codice Progetto:</b>	ITOPW004.071024			<b>Cod. Documento:</b>	ITOPW004.PD.01.REL.VIA2_2.RGT	

## 1. PREMESSA

Su incarico conferitomi dalla Società **MAYA Engineering S.r.l.**, con sede in Via Massimo D'Azeglio n° 2-70017 Putignano (BA), è stato redatto il seguente studio geotecnico riguardante le indagini geognostiche, la caratterizzazione e la modellazione geotecnica del "volume significativo" di terreno interessato dalle opere nell'ambito della realizzazione e dell'esercizio di un impianto agrivoltaico, denominato **TAVERNOLA**, avente potenza nominale di 49,66 MWp, integrato con sistema di accumulo di 10 MW, potenza in immissione richiesta 55 MW, e relative opere di connessione alla rete elettrica nazionale, ubicato nei comuni di Foggia e Manfredonia (FG).

Le aree destinatarie dello studio sono ubicate nella zona Nord-Est dell'ambito amministrativo del Comune di Foggia (FG) e prospicienti la SP n° 76, come riportato in allegato alla **Tavola A. 1 "Ubicazione Area di Intervento"**. In particolare sulle particelle interessate è prevista la posa in opera di pannelli fotovoltaici (montati ad un'altezza da terra sufficiente per consentire pratiche di coltivazione convenzionali sul terreno sottostante) per la produzione di energia elettrica, che verrà immessa successivamente nella rete di distribuzione nazionale, e delle relative opere di connessione ed infrastrutturali a supporto (cabine di trasformazioni, impianto di accumulo, elettrodotti, viabilità complementare).

Il presente studio è stato redatto, sulla base dei risultati delle prove effettuate in situ a seguito di indagini geognostiche dirette (sondaggio meccanico a rotazione a carotaggio continuo) sia indirette (prospezione geofisica). La normativa di riferimento considerata è la seguente:

- **DM 17 Gennaio 2018** (Aggiornamento delle "Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni");
- **Circolare 21 Gennaio 2019 n° 7** (Istruzioni per l'applicazione dell'Aggiornamento delle "Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni");
- **Eurocodice 8**-Indicazioni progettuali per la resistenza sismica delle strutture - Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici.

In seguito alla raccolta di tutti gli elementi necessari alla descrizione del sito da un punto di vista strettamente geotecnico, sono stati redatti i seguenti elaborati, analitici e cartografici, allegati alla presente relazione:

<b>Tavola A. 1</b>	Ubicazione Area di Intervento	(Scala 1: 25.000-1: 20.000)
<b>Tavola A. 2</b>	Ubicazione Indagini in Situ	(Scala 1: 10.000)
<b>Tavola A. 3</b>	Colonna Stratigrafica	(Scala 1: 100)
<b>Tavola A. 4</b>	Analisi Geotecniche di Laboratorio	(-)

<b>Documento:</b>	Relazione Geotecnica					
<b>Progetto:</b>	PROGETTO DEFINITIVO PER LA COSTRUZIONE E L'ESERCIZIO DI UN IMPIANTO AGRIVOLTAICO, DENOMINATO TAVERNOLA, AVENTE POTENZA NOMINALE DI 49,66 MWp, INTEGRATO CON SISTEMA DI ACCUMULO DI 10 MW, POTENZA IN IMMISSIONE RICHIESTA 55 MW, E RELATIVE OPERE DI CONNESSIONE ALLA RETE ELETTRICA NAZIONALE					
<b>Richiedente:</b>	AMBRA SOLARE 7 S.R.L.	<b>Data:</b>	06/2023	<b>Revisione:</b>	1.0	<b>Pag.:</b> 3 / 21
<b>Codice Progetto:</b>	ITOPW004.071024			<b>Cod. Documento:</b>	ITOPW004.PD.01.REL.VIA2_2.RGT	

## 2. INDAGINI GEOGNOSTICHE IN SITU

Al fine di definire la stratigrafia dei terreni di sedime su cui insisteranno le opere e per acquisire i parametri fisico-meccanici degli stessi, è stata condotta, sull'area interessata, una campagna geognostica (**Tavola A. 2 "Ubicazione Indagini in Situ"**) consistente in:

- rilevamento geologico e geomorfologico volto all'identificazione delle unità litologiche presenti ed agli eventuali fenomeni morfogenetici in atto o passati;
- studio idrologico di massima volto alla individuazione dei principali elementi del reticolo superficiale e livelli di falda sotterranei tramite misura freaticometrica nel foro d'indagine eseguito e denominato S1 dopo 24 ore dall'esecuzione della prova di perforazione;
- esecuzione di N 1 sondaggio a rotazione (**Tavola A. 3 "Colonna Stratigrafica"**) con carotiere da 101 mm per un totale di 10,00 mt;
- analisi geotecniche di laboratorio su N 2 campioni indisturbati di terreno (**Tavola A. 4 "Analisi Geotecniche di Laboratorio"**) per la definizione dei valori dei principali parametri geotecnici delle unità litologiche riscontrate durante le operazioni di perforazione;
- stendimento sismico tipo MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) in onde di Rayleigh per la caratterizzazione sismica e la definizione della categoria di sottosuolo come da normativa in materia antisismica vigente.

<b>Documento:</b>	Relazione Geotecnica						
<b>Progetto:</b>	PROGETTO DEFINITIVO PER LA COSTRUZIONE E L'ESERCIZIO DI UN IMPIANTO AGRIVOLTAICO, DENOMINATO TAVERNOLA, AVENTE POTENZA NOMINALE DI 49,66 MWp, INTEGRATO CON SISTEMA DI ACCUMULO DI 10 MW, POTENZA IN IMMISSIONE RICHIESTA 55 MW, E RELATIVE OPERE DI CONNESSIONE ALLA RETE ELETTRICA NAZIONALE						
<b>Richiedente:</b>	AMBRA SOLARE 7 S.R.L.	<b>Data:</b>	06/2023	<b>Revisione:</b>	1.0	<b>Pag.:</b>	4 / 21
<b>Codice Progetto:</b>	ITOPW004.071024			<b>Cod. Documento:</b>	ITOPW004.PD.01.REL.VIA2_2.RGT		

### 3. MODELLO GEOTECNICO DEL SOTTOSUOLO

#### 3.1 Caratterizzazione Elasto-Meccanica dei Terreni di Fondazione

Nell'ambito del volume significativo di terreno interessato dall'intervento è stato possibile riconoscere, sulla base delle indagini svolte, tre distinte unità litologiche (deposito superficiale, deposito sabbioso-limoso e deposito limoso-argilloso). Tale distinzione su base litostratigrafica assume rilevanza anche come distinzione in termini di omogeneità fisico-meccanica su base geotecnica e, al tal fine, sono stati determinati i valori dei principali parametri (medi), ottenuti dalle indagini in situ e dalle analisi di laboratorio, da utilizzare ai fini dei calcoli di portanza e deformabilità dei terreni interessati dalle opere. Per dette considerazioni sono state distinte le seguenti tre unità litotecniche:

- 1) Deposito superficiale di natura limo-sabbioso;
- 2) Deposito di natura sabbioso-limoso;
- 3) Deposito limoso-argilloso.

Di seguito viene fornita una descrizione parametrica dei tre orizzonti litotecnici sopraelencati e riassunti in **Tabella 1**.

##### 1) Deposito superficiale:

$\gamma = 1,59 \text{ gr/cm}^3$ (peso di volume);	$G_0 = 27 \text{ MPa}$ (modulo di taglio <sub>dinamico</sub> );
$C' = 0,07 \text{ kg/cm}^2$ (coesione efficace);	$\mu = 0,44$ (coefficiente di Poisson)
$\varphi = 20,2^\circ$ (angolo d'attrito interno);	$M_0 = 219 \text{ MPa}$ (modulo di Bulk <sub>dinamico</sub> );
$V_p = 400 \text{ m/s}$ (velocità media onde P);	$\lambda = 201 \text{ MPa}$ (costante di Lamè);
$V_s = 130 \text{ m/s}$ (velocità media onde S);	$R = 206 \text{ ton/m}^2\text{s}$ (Rigidità sismica).
$E_y = 77 \text{ MPa}$ (modulo di Young <sub>dinamico</sub> );	$E_d = 288 \text{ MPa}$ (Modulo edometrico <sub>dinamico</sub> ).

##### 2) Deposito sabbioso-limoso:

$\gamma = 1,99 \text{ gr/cm}^3$ (peso di volume);	$G_0 = 104 \text{ MPa}$ (modulo di taglio <sub>dinamico</sub> );
$C' = 0,18 \text{ kg/cm}^2$ (coesione efficace);	$\mu = 0,38$ (coefficiente di Poisson);
$\varphi = 23,7^\circ$ (angolo d'attrito);	$M_0 = 393 \text{ MPa}$ (modulo di Bulk <sub>dinamico</sub> );
$V_p = 559 \text{ m/s}$ (velocità media onde P);	$\lambda = 324 \text{ MPa}$ (costante di Lamè);
$V_s = 247 \text{ m/s}$ (velocità media onde S);	$R = 419 \text{ ton/m}^2\text{s}$ (Rigidità sismica).
$E_y = 286 \text{ MPa}$ (modulo di Young <sub>dinamico</sub> );	$E_d = 563 \text{ MPa}$ (Modulo edometrico <sub>dinamico</sub> ).

##### 3) Deposito limoso-argilloso:

$\gamma = 1,98 \text{ gr/cm}^3$ (peso di volume);	$G_0 = 275 \text{ MPa}$ (modulo di taglio <sub>dinamico</sub> );
$C' = 0,23 \text{ kg/cm}^2$ (coesione efficace);	$\mu = 0,46$ (coefficiente di Poisson);
$\varphi = 22,9^\circ$ (angolo d'attrito);	$M_0 = 3450 \text{ MPa}$ (modulo di Bulk <sub>dinamico</sub> );
$V_p = 1378 \text{ m/s}$ (velocità media onde P);	$\lambda = 3266 \text{ MPa}$ (costante di Lamè);
$V_s = 370 \text{ m/s}$ (velocità media onde S);	$R = 743 \text{ ton/m}^2\text{s}$ (Rigidità sismica).
$E_y = 804 \text{ MPa}$ (modulo di Young <sub>dinamico</sub> );	$E_d = 3419 \text{ MPa}$ (Modulo edometrico <sub>dinamico</sub> ).

Si rammenta che le principali caratteristiche elasto-meccaniche, ricavate dalle indagini in situ sia dirette che indirette nonché dalle analisi di laboratorio, delle unità litotecniche determinate devono essere intese come valori medi ed assunti come valori caratteristici delle stesse unità con lo scopo di poter correttamente eseguire le verifiche geotecniche. I valori delle  $V_s$ , sono stati ricavati in modo indiretto dalla prova sismica MASW. Le determinazioni dei moduli elastici (**dinamici**), eseguite tramite metodologie sismiche, sono riferibili a volumi significativi di terreno in condizioni relativamente indisturbate a differenza delle prove geotecniche di laboratorio che, pur raggiungendo un elevato grado di sofisticazione ed affidabilità, soffrono della limitazione di essere puntuali cioè relative ad un modesto volume di roccia e/o terreno. I moduli elastici sismici ottenuti, possono essere correlati ai normali moduli statici attraverso un fattore di riduzione (ad esempio *Rzhevsky et alii*, 1971,  $E_{din} = 8,3 * E_{stat} + 0,97$ ) semplicemente evidenziando che si riferiscono, in virtù delle energie movimentate dall'indagine e del conseguente basso livello di deformazione raggiunto, ad un modulo statico tangente iniziale.

<b>Documento:</b>	Relazione Geotecnica						
<b>Progetto:</b>	PROGETTO DEFINITIVO PER LA COSTRUZIONE E L'ESERCIZIO DI UN IMPIANTO AGRIVOLTAICO, DENOMINATO TAVERNOLA, AVENTE POTENZA NOMINALE DI 49,66 MWp, INTEGRATO CON SISTEMA DI ACCUMULO DI 10 MW, POTENZA IN IMMISSIONE RICHIESTA 55 MW, E RELATIVE OPERE DI CONNESSIONE ALLA RETE ELETTRICA NAZIONALE						
<b>Richiedente:</b>	AMBRA SOLARE 7 S.R.L.	<b>Data:</b>	06/2023	<b>Revisione:</b>	1.0	<b>Pag.:</b>	5 / 21
<b>Codice Progetto:</b>	ITOPW004.071024			<b>Cod. Documento:</b>	ITOPW004.PD.01.REL.VIA2_2.RGT		

Unità litotecnica Profondità media (mt da pc)	$\bar{V}_p$ (m/sec)	$\bar{V}_s$ (m/sec)	$\gamma$ (gr/cm <sup>3</sup> )	$\mu$	$E_y$ (MPa)	$G_0$ (MPa)	$M_0$ (MPa)	$\lambda$ (MPa)
1) 0,00÷1,10	400	130	1,59	0,44	77	27	219	201
2) 1,10÷3,60	559	247	1,99	0,38	286	104	393	324
3) 3,60÷12,00	1378	370	1,98	0,46	804	275	3450	3266

Unità litotecnica Profondità media (mt da pc)	R (tonn/m <sup>2</sup> s)	$E_d$ (MPa)	$\varphi^\circ$	C' KPa (Kg/cm <sup>2</sup> )
1) 0,00÷1,10	206	288	20,2	7,2 (0,07)
2) 1,10÷3,60	419	563	23,7	18,0 (0,18)
3) 3,60÷12,00	743	3419	24,8	20,2 (0,21)

Tabella 1: Riepilogo delle caratteristiche elasto-meccaniche degli strati identificati dalle indagini geognostiche in situ

Con:

$\bar{V}_p$ = velocità media onde di compressione;

$\bar{V}_s$ = velocità media onde di taglio;

$\gamma$ = Peso unità di volume naturale;

$\mu$ = coefficiente di Poisson;

$E_y$ = modulo di Young;

$G_0$ = modulo di taglio;

$M_0$ = modulo di compressibilità volumetrica;

$\lambda$ = coefficiente di Lamé;

R= rigidità sismica;

$\varphi$ = angolo d'attrito;

C'= coesione efficace;

$E_d$ = modulo edometrico.

<b>Documento:</b>	Relazione Geotecnica						
<b>Progetto:</b>	PROGETTO DEFINITIVO PER LA COSTRUZIONE E L'ESERCIZIO DI UN IMPIANTO AGRIVOLTAICO, DENOMINATO TAVERNOLA, AVENTE POTENZA NOMINALE DI 49,66 MWp, INTEGRATO CON SISTEMA DI ACCUMULO DI 10 MW, POTENZA IN IMMISSIONE RICHIESTA 55 MW, E RELATIVE OPERE DI CONNESSIONE ALLA RETE ELETTRICA NAZIONALE						
<b>Richiedente:</b>	AMBRA SOLARE 7 S.R.L.	<b>Data:</b>	06/2023	<b>Revisione:</b>	1.0	<b>Pag.:</b>	6 / 21
<b>Codice Progetto:</b>	ITOPW004.071024			<b>Cod. Documento:</b>	ITOPW004.PD.01.REL.VIA2_2.RGT		

#### 4. PERICOLOSITA' SISMICA DI BASE

##### 4.1 Pericolosità del Sito

Dall'entrata in vigore dell'Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni, per ogni costruzione ci si deve riferire ad una accelerazione di riferimento "propria" individuata sulla base delle coordinate geografiche dell'area di progetto e in funzione della vita nominale dell'opera. Un valore di pericolosità di base, dunque, definito per ogni punto del territorio nazionale, su una maglia quadrata di 5 km di lato, indipendentemente dai confini amministrativi comunali. La pericolosità sismica, intesa in senso probabilistico, è lo scuotimento del suolo atteso in un dato sito con una certa probabilità di eccedenza in un dato intervallo di tempo, ovvero la probabilità che un certo valore di scuotimento si verifichi in un dato intervallo di tempo. Questo tipo di stima si basa sulla definizione di una serie di elementi di input (quali catalogo dei terremoti, zone sorgente, relazione di attenuazione del moto del suolo, ecc.) e dei parametri di riferimento (per esempio: scuotimento in accelerazione o spostamento, tipo di suolo, finestra temporale, ecc.).

Per ciascuno dei nodi vengono forniti, per i 9 valori del periodo di ritorno (da 30 anni a 2475 anni), la stima dei seguenti parametri:

- $a_g$  (espresso in g/10): Accelerazione orizzontale massima attesa al sito;
- $F_0$  (adimensionale): Valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- $T_c^*$  (espresso in secondi): Periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

Secondo quanto riportato nell'**Allegato A** (DM 14 Gennaio 2008), definite le coordinate del sito interessato dal progetto, è possibile il calcolo dei parametri spettrali (per uno dei tempi di ritorno forniti) tramite la media pesata con i 4 punti della griglia di accelerazione (tabella 1, **Allegato B**, DM 14 Gennaio 2008) in cui è compreso il sito in esame. Se il tempo di ritorno è diverso da uno dei 9 in tabella, sarà possibile ricavare tale parametro attraverso l'interpolazione dei valori dei due tempi di ritorno tra cui è compreso il tempo di ritorno cercato.

Le coordinate geografiche medie (Datum WGS 84) del sito in esame sono:

- Latitudine:** 41,493334° Nord;
- Longitudine:** 15,701966° Est.

Con identificativi ID dei nodi della griglia di riferimento: 30114, 30115, 30336, 30337.

Di seguito si propongono i valori di  $a_g$ ,  $F_0$  e  $T_c^*$  per i vari tempi di ritorno. Tali parametri sono stati calcolati mediante il foglio di calcolo pubblicato dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, attraverso una media ponderata dei valori posti ai vertici della maglia individuata nell'OPCM 3519 del 28 aprile 2006, Allegato B "Pericolosità sismica di riferimento per il territorio nazionale".

$T_R$ (anni)	$a_g$ (g)	$F_0$	$T_c^*$ (sec)
30	0,047	2,449	0,291
50	0,059	2,509	0,319
72	0,070	2,518	0,330
101	0,081	2,568	0,341
140	0,092	2,578	0,351
201	0,105	2,585	0,360
475	0,145	2,572	0,394
975	0,186	2,545	0,421
2475	0,254	2,523	0,449

##### 4.2 Strategia di progettazione

Una volta determinata la pericolosità di base del sito si passa alla scelta della strategia di progetto andando a considerare, per l'intervento in esame:

- **Classe d'Uso I** (Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli).
- **Una vita nominale** delle opere strutturali  $V_N$  pari a 50 anni (Tipi di Costruzioni 2: costruzioni con livelli di prestazione ordinari) definita come il numero di anni nel quale è previsto che l'opera, purché soggetta alla necessaria manutenzione, mantenga specifici livelli prestazionali.
- **Periodo di riferimento** per l'azione sismica  $V_R$  paria a 35 anni, che si ricava per ciascun tipo di costruzione, moltiplicando la vita nominale  $V_N$  per il coefficiente d'uso  $C_U$  ricavato dalla seguente tabella così come riportato nelle NTC18:

Classe d'uso	I	II	III	IV
Coefficiente $C_U$	0,7	1	1,5	2

Documento:	Relazione Geotecnica						
Progetto:	PROGETTO DEFINITIVO PER LA COSTRUZIONE E L'ESERCIZIO DI UN IMPIANTO AGRIVOLTAICO, DENOMINATO TAVERNOLA, AVENTE POTENZA NOMINALE DI 49,66 MWp, INTEGRATO CON SISTEMA DI ACCUMULO DI 10 MW, POTENZA IN IMMISSIONE RICHIESTA 55 MW, E RELATIVE OPERE DI CONNESSIONE ALLA RETE ELETTRICA NAZIONALE						
Richiedente:	AMBRA SOLARE 7 S.R.L.	Data:	06/2023	Revisione:	1.0	Pag.:	7 / 21
Codice Progetto:	ITOPW004.071024			Cod. Documento:	ITOPW004.PD.01.REL.VIA2_2.RGT		

Si ricavano i seguenti valori dei parametri  $a$ ,  $F_0$ ,  $T_c^*$  per il periodo di ritorno  $T_R$  associati a ciascun SL (Stato Limite):

STATO LIMITE	$T_R$ (anni)	$a_g$ (g)	$F_0$	$T_c^*$ (sec)
SLO	30	0,047	2,449	0,291
SLD	35	0,050	2,467	0,299
SLV	332	0,127	2,577	0,378
SLC	682	0,165	2,557	0,406

#### 4.3 Azioni di progetto

Ai fini della determinazione dell'azione sismica di progetto, i terreni presenti nell'area oggetto del presente studio, sono classificabili nella **Categoria C** (DM 17/01/2018) con  $V_{s, equ}$  pari a 326 m/sec, così come esposto nel paragrafo **4.4** "Classificazione del Sottosuolo di Fondazione". In base alla categoria di sottosuolo determinato ed alle informazioni precedentemente assunte si hanno i seguenti parametri di amplificazione stratigrafica e topografica:

Considerando una inclinazione media del sito inferiore ai 15° (categoria topografica **T1**), si assume il coefficiente  $S_t$  (coefficiente di amplificazione topografiche del sito) pari a **1,00**. Il valore di,  $S_s$  (coefficiente di amplificazione stratigrafica), risulta essere pari a **1,50** per gli stati limite SLO, SLD e SLV e **1,45** per SLC.

Nelle NTC18 al § 7.2.5. si afferma che "In assenza di analisi specifiche della risposta sismica locale l'accelerazione massima attesa al sito può essere valutata con la relazione:  $a_{max} = a_g \cdot S$  in cui  $S$  è il coefficiente che comprende l'effetto dell'amplificazione stratigrafica ( $S_s$ ) e dell'amplificazione topografica ( $S_t$ ), di cui al § 3.2.3.2, e  $a_g$  è l'accelerazione orizzontale massima per lo SLC su sito di riferimento rigido".

Definiti i parametri sismici relativi ai siti in oggetto si possono determinare i seguenti coefficienti sismici per ogni Stato Limite considerato:

	SLO		SLD		SLV		SLC	
Parametri sismici	$S_s$	1,50	$S_s$	1,50	$S_s$	1,50	$S_s$	1,45
	$C_c$	1,58	$C_c$	1,56	$C_c$	1,45	$C_c$	1,41
	$S_t$	1,00	$S_t$	1,00	$S_t$	1,00	$S_t$	1,00
Coefficienti sismici	$K_h$	0,014	$K_h$	0,015	$K_h$	0,046	$K_h$	0,057
	$K_v$	0,007	$K_v$	0,008	$K_v$	0,023	$K_v$	0,029
	$A_{max}$ (m/s <sup>2</sup> )	0,686	$A_{max}$ (m/s <sup>2</sup> )	0,738	$A_{max}$ (m/s <sup>2</sup> )	1,869	$A_{max}$ (m/s <sup>2</sup> )	2,341
	$\beta_s$	0,20	$\beta_s$	0,20	$\beta_s$	0,24	$\beta_s$	0,24

Con:

- $a_{max}(g) = a_g(g) \cdot S_s \cdot S_t$ ;
- $A_{max} = a_{max}(g) \cdot 9,81$  m/s<sup>2</sup>;
- $C_c$  = coefficiente funzione della categoria di sottosuolo;
- $K_h = \beta_s \cdot a_{max}/g$ ;
- $K_v = 0,5 K_h$ ;
- $\beta_s$  coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito i cui valori possono essere desunti, in relazione alla categoria di suolo di fondazione e dal valore di  $a_g$ , dalla seguente tabella:

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

Documento:	Relazione Geotecnica						
Progetto:	PROGETTO DEFINITIVO PER LA COSTRUZIONE E L'ESERCIZIO DI UN IMPIANTO AGRIVOLTAICO, DENOMINATO TAVERNOLA, AVENTE POTENZA NOMINALE DI 49,66 MWp, INTEGRATO CON SISTEMA DI ACCUMULO DI 10 MW, POTENZA IN IMMISSIONE RICHIESTA 55 MW, E RELATIVE OPERE DI CONNESSIONE ALLA RETE ELETTRICA NAZIONALE						
Richiedente:	AMBRA SOLARE 7 S.R.L.	Data:	06/2023	Revisione:	1.0	Pag.:	8 / 21
Codice Progetto:	ITOPW004.071024			Cod. Documento:	ITOPW004.PD.01.REL.VIA2_2.RGT		

## 5. CAPACITA' PORTANTE DEL TERRENO

### 5.1 Sicurezza e Prestazioni Attese

Le opere e le componenti strutturali di una qualsivoglia costruzione devono essere progettate, eseguite, collaudate e soggette a manutenzione in modo tale da consentirne la previa utilizzazione in forma economicamente sostenibile e con un livello di sicurezza previsto dalle normative vigenti in materia di costruzioni. Tale sicurezza viene valutata, alla luce dell' "Aggiornamento alle Norme tecniche per le costruzioni D M 17 gennaio 2018" tramite un approccio di tipo semiprobabilistico o di primo livello adottando i Coefficienti Parziali di Sicurezza (CP) ed il concetto di Stato Limite inteso come la condizione superata la quale l'opera non soddisfa più le esigenze per le quali è stata progettata.

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 2**, e la resistenza globale del sistema è ridotta tramite i coefficienti  $\gamma_R$  del gruppo R3 riportati in **Tabella 3**.

		Coefficienti $\gamma_F$	EQU	A1 (STR)	A2 (GEO)
Carichi permanenti (G1)	Favorevoli	$\gamma_{G1}$	0,90	1,00	1,00
	Sfavorevoli		1,10	1,30	1,00
Carichi permanenti non strutturali (G2)	Favorevoli	$\gamma_{G2}$	0,80	0,80	0,80
	Sfavorevoli		1,50	1,50	1,30
Carichi variabili (Qk)	Favorevoli	$\gamma_{Qi}$	0,00	0,00	0,00
	Sfavorevoli		1,50	1,50	1,30

Tabella 2: Coefficienti parziali definiti per le Azioni

VERIFICA	Coefficiente parziale (R3)
CARICO LIMITE	$\gamma_R = 2,3$
SCORRIMENTO	$\gamma_R = 1,1$

Tabella 3: Coefficienti parziali  $\gamma_R$  per le verifiche agli Stati Limiti Ultimi per fondazioni superficiali

La verifica della sicurezza nei confronti degli Stati Limite Ultimi (SLU) di resistenza si ottiene, come detto sopra, con il applicando il metodo semiprobabilistico dei coefficienti parziali di sicurezza tramite l'equazione:

$$E_d \leq R_d$$

Con:

- $E_d$  valore di progetto dell'effetto delle azioni, valutato in base ai valori di progetto nelle varie combinazioni di carico;
- $R_d$  resistenza di progetto, valutata in base ai valori di progetto della resistenza dei materiali e ai valori nominali delle grandezze geometriche interessate.

### 5.2 Carico Limite di Fondazioni su Terreni

Il carico limite di una fondazione superficiale può essere definito con riferimento a quel valore massimo del carico per il quale in nessun punto del sottosuolo si raggiunge la condizione di rottura (metodo di Frolich), oppure con riferimento a quel valore del carico, maggiore del precedente, per il quale il fenomeno di rottura si è esteso ad un ampio volume del suolo (metodo di Prandtl e successivi). Prandtl ha studiato il problema della rottura di un semispazio elastico per effetto di un carico applicato sulla sua superficie con riferimento all'acciaio, caratterizzando la resistenza a rottura con una legge del tipo:  $\tau = c + \sigma \cdot \tan\phi$  valida anche per i terreni.

Documento:	Relazione Geotecnica						
Progetto:	PROGETTO DEFINITIVO PER LA COSTRUZIONE E L'ESERCIZIO DI UN IMPIANTO AGRIVOLTAICO, DENOMINATO TAVERNOLA, AVENTE POTENZA NOMINALE DI 49,66 MWp, INTEGRATO CON SISTEMA DI ACCUMULO DI 10 MW, POTENZA IN IMMISSIONE RICHIESTA 55 MW, E RELATIVE OPERE DI CONNESSIONE ALLA RETE ELETTRICA NAZIONALE						
Richiedente:	AMBRA SOLARE 7 S.R.L.	Data:	06/2023	Revisione:	1.0	Pag.:	9 / 21
Codice Progetto:	ITOPW004.071024			Cod. Documento:	ITOPW004.PD.01.REL.VIA2_2.RGT		

Le ipotesi e le condizioni introdotte dal Prandtl sono le seguenti:

- Materiale privo di peso ( $\gamma=0$ );
- Comportamento rigido-plastico;
- Resistenza a rottura del materiale esprimibile con la relazione  $\tau = c + \sigma \cdot \tan\varphi$ ;
- Carico uniforme, verticale ed applicato su una striscia di lunghezza infinita e di larghezza  $2b$  (stato di deformazione piana);
- Tensioni tangenziali nulle al contatto fra la striscia di carico e la superficie limite del semispazio.

All'atto della rottura si verifica la plasticizzazione del materiale racchiuso fra la superficie limite del semispazio e la superficie  $GFBCD$ . Nel triangolo  $AEB$  la rottura avviene secondo due famiglie di segmenti rettilinei ed inclinati di  $45^\circ + \varphi/2$  rispetto all'orizzontale. Nelle zone  $ABF$  e  $EBC$  la rottura si produce lungo due famiglie di linee, l'una costituita da segmenti rettilinei passanti rispettivamente per i punti  $A$  ed  $E$  e l'altra da archi di famiglie di spirali logaritmiche.

I poli di queste sono i punti  $A$  ed  $E$ . Nei triangoli  $AFG$  e  $ECD$  la rottura avviene su segmenti inclinati di  $\pm (45^\circ + \varphi/2)$  rispetto alla verticale.

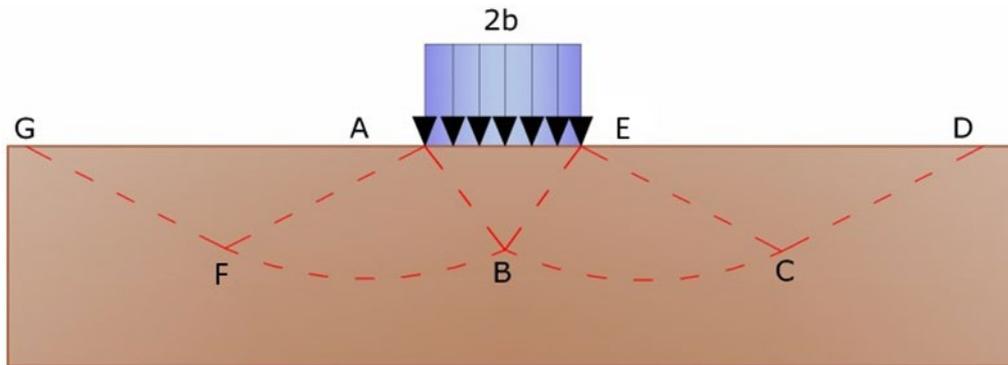


Figura 1: Meccanismo di rottura di Prandtl

Individuato così il volume di terreno portato a rottura dal carico limite, questo può essere calcolato scrivendo la condizione di equilibrio fra le forze agenti su qualsiasi volume di terreno delimitato in basso da una qualunque delle superfici di scorrimento.

Si arriva quindi ad una equazione  $q = B \cdot c$ , dove il coefficiente  $B$  dipende soltanto dall'angolo di attrito  $\varphi$  del terreno:

$$B = \cot\varphi \cdot [e^{(\pi \cdot \tan\varphi)} \cdot \tan^2(45^\circ + \varphi/2) - 1]$$

Per  $\varphi=0$  il coefficiente  $B$  risulta pari a 5,14, quindi  $q=5,14 \cdot c$ .

Nell'altro caso particolare di terreno privo di coesione ( $c = 0, \varphi \neq 0$ ) risulta  $q=0$ , secondo la teoria di Prandtl, non sarebbe dunque possibile applicare nessun carico sulla superficie limite di un terreno incoerente.

Questa teoria, anche se non applicabile praticamente, ha dato inizio a tutte le ricerche ed i metodi di calcolo successivi. Infatti, Caquot si pose nelle stesse condizioni di Prandtl ad eccezione del fatto che la striscia di carico non è più applicata sulla superficie limite del semispazio, ma a una profondità  $h$ , con  $h \leq 2b$ ; il terreno compreso tra la superficie e la profondità  $h$  ha le seguenti caratteristiche:  $\varphi \neq 0, j = 0, c = 0$ , rappresenta un mezzo dotato di peso ma privo di resistenza. Risolvendo le equazioni di equilibrio si arriva all'espressione:

$$q = A \cdot \gamma_1 + B \cdot c$$

che sicuramente è un passo avanti rispetto a Prandtl, ma che ancora non rispecchia la realtà.

### 5.2.1 Metodo di Terzaghi (1955)

Terzaghi, proseguendo lo studio di Caquot, ha apportato alcune modifiche per tenere conto delle effettive caratteristiche dell'insieme opera di fondazione-terreno. Sotto l'azione del carico trasmesso dalla fondazione il terreno che si trova a contatto con la fondazione stessa tende a sfuggire lateralmente, ma ne è impedito dalle resistenze tangenziali che si sviluppano fra la fondazione ed il terreno. Ciò comporta una modifica dello stato tensionale nel terreno posto direttamente al di sotto della fondazione; per tenerne conto Terzaghi assegna ai lati  $AB$  ed  $EB$  del cuneo di Prandtl una inclinazione  $\Psi$  rispetto all'orizzontale, scegliendo il valore di  $\Psi$  in funzione delle caratteristiche meccaniche del terreno al contatto terreno-opera di fondazione.

L'ipotesi  $\gamma_2 = 0$  per il terreno sotto la fondazione viene così superata ammettendo che le superfici di rottura restino inalterate, l'espressione del carico limite è quindi:

$$q = A \cdot \gamma \cdot h + b \cdot c + C \cdot \gamma \cdot b$$

in cui  $C$  è un coefficiente che risulta funzione dell'angolo di attrito  $\phi$  del terreno posto al di sotto del piano di posa e dell'angolo  $\phi$  prima definito;  $b$  è la semilarghezza della striscia. Inoltre, basandosi su dati sperimentali, Terzaghi passa dal problema piano al problema spaziale introducendo dei fattori di forma. Un ulteriore contributo è stato apportato da Terzaghi sull'effettivo comportamento del terreno. Nel metodo

<b>Documento:</b>	Relazione Geotecnica						
<b>Progetto:</b>	PROGETTO DEFINITIVO PER LA COSTRUZIONE E L'ESERCIZIO DI UN IMPIANTO AGRIVOLTAICO, DENOMINATO TAVERNOLA, AVENTE POTENZA NOMINALE DI 49,66 MWp, INTEGRATO CON SISTEMA DI ACCUMULO DI 10 MW, POTENZA IN IMMISSIONE RICHIESTA 55 MW, E RELATIVE OPERE DI CONNESSIONE ALLA RETE ELETTRICA NAZIONALE						
<b>Richiedente:</b>	AMBRA SOLARE 7 S.R.L.	<b>Data:</b>	06/2023	<b>Revisione:</b>	1.0	<b>Pag.:</b>	10 / 21
<b>Codice Progetto:</b>	ITOPW004.071024			<b>Cod. Documento:</b>	ITOPW004.PD.01.REL.VIA2_2.RGT		

di Prandtl si ipotizza un comportamento del terreno rigido-plastico, Terzaghi invece ammette questo comportamento nei terreni molto compatti. In essi, infatti, la curva carichi-cedimenti presenta un primo tratto rettilineo, seguito da un breve tratto curvilineo (comportamento elasto-plastico); la rottura è istantanea ed il valore del carico limite risulta chiaramente individuato (rottura generale). In un terreno molto sciolto invece la relazione carichi-cedimenti presenta un tratto curvilineo accentuato fin dai carichi più bassi per effetto di una rottura progressiva del terreno (rottura locale); di conseguenza l'individuazione del carico limite non è così chiara ed evidente come nel caso dei terreni compatti.

Per i terreni molto sciolti, Terzaghi consiglia di prendere in considerazione il carico limite il valore che si calcola con la formula precedente introducendo però dei valori ridotti delle caratteristiche meccaniche del terreno e precisamente:

$$tg\varphi_{rid} = \left(\frac{2}{3}\right) \cdot tg\varphi \qquad c_{rid} = \frac{2}{3} \cdot c$$

Esplicitando i coefficienti della formula precedente, la formula di Terzaghi può essere scritta:

$$q_{ult} = c \cdot N_c \cdot s_c + \gamma \cdot D \cdot N_q + 0.5 \cdot \gamma \cdot B \cdot N_\gamma \cdot s_\gamma$$

dove:

$$N_q = \frac{a^2}{2 \cdot \cos^2(45 + \varphi/2)}$$

$$a = e^{(0.75\pi - \varphi/2) \tan \varphi}$$

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

$$N_\gamma = \frac{\tan \varphi}{2} \left( \frac{K_{p\gamma}}{\cos^2 \varphi} - 1 \right)$$

### 5.2.2 Formula di Meyerhof (1963)

Meyerhof propose una formula per il calcolo del carico limite simile a quella di Terzaghi; le differenze consistono nell'introduzione di ulteriori coefficienti di forma. Egli introdusse un coefficiente  $s_q$  che moltiplica il fattore  $N_q$ , fattori di profondità  $d_i$  e di pendenza  $i_i$  per il caso in cui il carico trasmesso alla fondazione è inclinato sulla verticale. I valori dei coefficienti  $N$  furono ottenuti da Meyerhof ipotizzando vari archi di prova BD (v. meccanismo Prandtl), considerando valori approssimati del taglio che si sviluppa nel terreno al di sopra del piano di posa. I fattori di forma tratti da Meyerhof sono di seguito riportati, insieme all'espressione della formula:

Carico verticale

$$q_{ult} = c \cdot N_c \cdot s_c \cdot d_c + \gamma \cdot D \cdot N_q \cdot s_q \cdot d_q + 0.5 \cdot \gamma \cdot B \cdot N_\gamma \cdot s_\gamma \cdot d_\gamma$$

Carico inclinato

$$q_{ult} = c \cdot N_c \cdot s_c \cdot d_c \cdot i_c + \gamma \cdot D \cdot N_q \cdot s_q \cdot d_q \cdot i_q + 0.5 \cdot \gamma \cdot B \cdot N_\gamma \cdot s_\gamma \cdot d_\gamma \cdot i_\gamma$$

$$N_q = e^{(0.75\pi - \varphi/2)} \cdot \tan^2(45 + \varphi/2)$$

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

$$N_\gamma = (N_q - 1) \tan(1.4 \cdot \varphi)$$

Fattore di forma

$$s_c = 1 + 0.2 \cdot k_p \cdot \frac{B}{L} \quad \text{per } \varphi > 0$$

$$s_q = s_\gamma = 1 + 0.1 \cdot k_p \cdot \frac{B}{L} \quad \text{per } \varphi = 0$$

Fattore di profondità

$$d_c = 1 + 0.2 \sqrt{k_p} \cdot \frac{D}{B}$$

<b>Documento:</b>	Relazione Geotecnica						
<b>Progetto:</b>	PROGETTO DEFINITIVO PER LA COSTRUZIONE E L'ESERCIZIO DI UN IMPIANTO AGRIVOLTAICO, DENOMINATO TAVERNOLA, AVENTE POTENZA NOMINALE DI 49,66 MWp, INTEGRATO CON SISTEMA DI ACCUMULO DI 10 MW, POTENZA IN IMMISSIONE RICHIESTA 55 MW, E RELATIVE OPERE DI CONNESSIONE ALLA RETE ELETTRICA NAZIONALE						
<b>Richiedente:</b>	AMBRA SOLARE 7 S.R.L.	<b>Data:</b>	06/2023	<b>Revisione:</b>	1.0	<b>Pag.:</b>	11 / 21
<b>Codice Progetto:</b>	ITOPW004.071024			<b>Cod. Documento:</b>	ITOPW004.PD.01.REL.VIA2_2.RGT		

$$d_q = d_\gamma = 1 + 0.1 \sqrt{k_p} \cdot \frac{D}{B} \quad \text{per } \varphi > 10$$

$$d_q = d_\gamma = 1 \quad \text{per } \varphi > 10$$

Inclinazione

$$i_c = i_\gamma = \left(1 - \frac{\theta}{90}\right)^2$$

$$i_\gamma = \left(1 - \frac{\theta}{\varphi}\right)^2 \quad \text{per } \varphi > 0$$

$$i_\gamma = 0 \quad \text{per } \varphi = 0$$

Dove:

$$k_p = \tan^2(45 + \varphi / 2)$$

$\theta$  = Inclinazione della risultante sulla verticale

### 5.2.3 Formula di Hansen (1970)

È una ulteriore estensione della formula di Meyerhof; le estensioni consistono nell'introduzione di  $b_i$  che tiene conto della eventuale inclinazione sull'orizzontale del piano di posa e un fattore  $g_i$  per terreno in pendenza. La formula di Hansen vale per qualsiasi rapporto  $D/B$ , quindi sia per fondazioni superficiali che profonde, ma lo stesso autore introdusse dei coefficienti per meglio interpretare il comportamento reale della fondazione, senza di essi, infatti, si avrebbe un aumento troppo forte del carico limite con la profondità.

Per valori di  $D/B < 1$ :

$$d_c = 1 + 0.4 \cdot \frac{D}{B}$$

$$d_q = 1 + 2 \cdot \tan(1 - \sin \varphi)^2 \cdot \frac{D}{B}$$

Per valori  $D/B > 1$ :

$$d_c = 1 + 0.4 \cdot \tan^{-1} \frac{D}{B}$$

$$d_q = 1 + 2 \cdot \tan(1 - \sin \varphi)^2 \cdot \tan^{-1} \frac{D}{B}$$

Nel caso  $\varphi=0$

$D/B$	0	1	1.1	2	5	10	20	100
$d'_c$	0	0.40	0.33	0.44	0.55	0.59	0.61	0.62

Nei fattori seguenti le espressioni con apici (') valgono quando  $\varphi=0$ .

<b>Documento:</b>	Relazione Geotecnica					
<b>Progetto:</b>	PROGETTO DEFINITIVO PER LA COSTRUZIONE E L'ESERCIZIO DI UN IMPIANTO AGRIVOLTAICO, DENOMINATO TAVERNOLA, AVENTE POTENZA NOMINALE DI 49,66 MWp, INTEGRATO CON SISTEMA DI ACCUMULO DI 10 MW, POTENZA IN IMMISSIONE RICHIESTA 55 MW, E RELATIVE OPERE DI CONNESSIONE ALLA RETE ELETTRICA NAZIONALE					
<b>Richiedente:</b>	AMBRA SOLARE 7 S.R.L.	<b>Data:</b>	06/2023	<b>Revisione:</b>	1.0	<b>Pag.:</b> 12 / 21
<b>Codice Progetto:</b>	ITOPW004.071024			<b>Cod. Documento:</b>	ITOPW004.PD.01.REL.VIA2_2.RGT	

Fattore di forma

$$s'_c = 0.2 \frac{B}{L}$$

$$s_c = 1 + \frac{N_q}{N_c} \frac{B}{L}$$

$s_c = 1$  per fondazioni nastriformi

$$s_q = 1 + \frac{B}{L} \tan \varphi$$

$$s_\gamma = 1 - 0.4 \frac{B}{L}$$

Fattori di inclinazione del carico

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

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

$$i_q = \left( 1 - \frac{0.5 \cdot H}{V + A_f \cdot c_a \cdot \cot \varphi} \right)^5$$

$$i_q = \left( 1 - \frac{0.7 \cdot H}{V + A_f \cdot c_a \cdot \cot \varphi} \right)^5 \quad (\eta = 0)$$

$$i_q = \left( 1 - \frac{(0.7 - \eta / 450) \cdot H}{V + A_f \cdot c_a \cdot \cot \varphi} \right)^5 \quad (\eta = 0)$$

Fattori di inclinazione del terreno (fondazione su pendio)

$$g'_c = \frac{\beta}{147}$$

$$g_c = 1 - \frac{\beta}{147}$$

$$g_q = g_\gamma = (1 - 0.5 \tan \beta)^5$$

Fattori di inclinazione del piano di fondazione (base inclinata)

$$b'_c = \frac{\eta^\circ}{147^\circ}$$

$$b_c = 1 - \frac{\eta^\circ}{147^\circ}$$

$$b_q \exp(-2\eta \cdot \tan \varphi)$$

<b>Documento:</b>	Relazione Geotecnica						
<b>Progetto:</b>	PROGETTO DEFINITIVO PER LA COSTRUZIONE E L'ESERCIZIO DI UN IMPIANTO AGRIVOLTAICO, DENOMINATO TAVERNOLA, AVENTE POTENZA NOMINALE DI 49,66 MWp, INTEGRATO CON SISTEMA DI ACCUMULO DI 10 MW, POTENZA IN IMMISSIONE RICHIESTA 55 MW, E RELATIVE OPERE DI CONNESSIONE ALLA RETE ELETTRICA NAZIONALE						
<b>Richiedente:</b>	AMBRA SOLARE 7 S.R.L.	<b>Data:</b>	06/2023	<b>Revisione:</b>	1.0	<b>Pag.:</b>	13 / 21
<b>Codice Progetto:</b>	ITOPW004.071024			<b>Cod. Documento:</b>	ITOPW004.PD.01.REL.VIA2_2.RGT		

### 5.2.4 Formula di Vesic (1975)

La formula di Vesic è analoga alla formula di Hansen, con  $N_q$  ed  $N_c$  come per la formula di Meyerhof ed  $N_\gamma$  come sotto riportato:

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

I fattori di forma e di profondità che compaiono nelle formule del calcolo della capacità portante sono uguali a quelli proposti da Hansen; alcune differenze sono invece riportate nei fattori di inclinazione del carico, del terreno (fondazione su pendio) e del piano di fondazione (base inclinata).

### 5.3 Verifica allo Slittamento

In conformità con i criteri di progetto allo SLU, la stabilità di un plinto di fondazione deve essere verificata rispetto al collasso per slittamento oltre a quello per rottura generale. Rispetto al collasso per slittamento la resistenza viene valutata come somma di componenti: una delle componenti è dovuta all'adesione, l'altra è dovuta all'attrito fondazione-terreno. La resistenza laterale derivante dalla spinta passiva del terreno può essere messa in conto secondo una percentuale indicata dall'utente. La resistenza di calcolo per attrito ed adesione è valutata secondo l'espressione:

$$F_{Rd} = N_{sd} \cdot \tan \delta + c_a \cdot A'$$

Nella quale  $N_{sd}$  è il valore di calcolo della forza verticale,  $\delta$  è l'angolo di resistenza a taglio alla base del plinto,  $c_a$  è l'adesione plinto-terreno e  $A'$  è l'area della fondazione efficace, intesa, in caso di carichi eccentrici, come area ridotta al centro della quale è applicata la risultante.

### 5.4 Fattori Correttivi Sismici (Paolucci e Pecker)

Quando si determina  $q_{lim}$  per tener conto degli effetti inerziali indotti dal sisma sulla determinazione del vengono introdotti i fattori correttivi  $z$ :

$$z_q = \left(1 - \frac{k_h}{\tan \varphi}\right)^{0,7}$$

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

$$z_\gamma = z_q$$

Dove  $k_h$  è il coefficiente sismico orizzontale.

### 5.5 Applicazione al Caso Oggetto di Studio

#### Dati Generali

=====

Normativa            NTC\_2018

Diametro della fondazione    0.2        m

Profondità piano di posa        2.0        m

Correzione parametri

=====

#### SISMA

=====

Accelerazione massima ( $a_{max}/g$ )            0.19

Effetto sismico secondo            NTC 2018

=====

#### Coefficienti sismici [NTC]



<b>Documento:</b>	Relazione Geotecnica						
<b>Progetto:</b>	PROGETTO DEFINITIVO PER LA COSTRUZIONE E L'ESERCIZIO DI UN IMPIANTO AGRIVOLTAICO, DENOMINATO TAVERNOLA, AVENTE POTENZA NOMINALE DI 49,66 MWp, INTEGRATO CON SISTEMA DI ACCUMULO DI 10 MW, POTENZA IN IMMISSIONE RICHIESTA 55 MW, E RELATIVE OPERE DI CONNESSIONE ALLA RETE ELETTRICA NAZIONALE						
<b>Richiedente:</b>	AMBRA SOLARE 7 S.R.L.	<b>Data:</b>	06/2023	<b>Revisione:</b>	1.0	<b>Pag.:</b>	14 / 21
<b>Codice Progetto:</b>	ITOPW004.071024			<b>Cod. Documento:</b>	ITOPW004.PD.01.REL.VIA2_2.RGT		

#### Dati generali

Tipo opera: 2 - Opere ordinarie  
 Classe d'uso: Classe I  
 Vita nominale: 50.0 [anni]  
 Vita di riferimento: 35.0 [anni]

#### Parametri sismici su sito di riferimento

Categoria sottosuolo: C  
 Categoria topografica: T1

S.L. Stato limite	TR Tempo ritorno [anni]	ag [m/s <sup>2</sup> ]	F0 [-]	TC* [s]
S.L.O.	30.0	0.461	2.449	0.291
S.L.D.	35.0	0.49	2.467	0.299
S.L.V.	332.0	1.245	2.577	0.378
S.L.C.	682.0	1.618	2.557	0.406

#### Coefficienti sismici orizzontali e verticali

Opera: Stabilità dei pendii e Fondazioni

S.L. Stato limite	amax [m/s <sup>2</sup> ]	beta [-]	kh [-]	kv [-]
S.L.O.	0.6915	0.2	0.0141	0.0071
S.L.D.	0.735	0.2	0.015	0.0075
S.L.V.	1.8675	0.24	0.0457	0.0229
S.L.C.	2.341	0.24	0.0573	0.0286

#### Stratigrafia Terreno

Spessore strato [m]	Peso unità di volume [kN/m <sup>3</sup> ]	Peso unità di volume saturo [kN/m <sup>3</sup> ]	Angolo di attrito [°]	Coesione [kN/m <sup>2</sup> ]	Coesione non drenata [kN/m <sup>2</sup> ]	Modulo Elastico [kN/m <sup>2</sup> ]	Modulo Edometrico [kN/m <sup>2</sup> ]	Poisson	Coeff. consolidaz. primaria [cmq/s]
1.1	15.0	16.1	20.2	7.2	0.0	77000.0	0.0	0.0	0.0
2.5	19.6	20.7	23.7	18.0	0.0	286000.0	0.0	0.0	0.0
8.4	19.5	20.4	24.8	20.2	0.0	804000.0	0.0	0.0	0.0



<b>Documento:</b>	Relazione Geotecnica						
<b>Progetto:</b>	PROGETTO DEFINITIVO PER LA COSTRUZIONE E L'ESERCIZIO DI UN IMPIANTO AGRIVOLTAICO, DENOMINATO TAVERNOLA, AVENTE POTENZA NOMINALE DI 49,66 MWp, INTEGRATO CON SISTEMA DI ACCUMULO DI 10 MW, POTENZA IN IMMISSIONE RICHIESTA 55 MW, E RELATIVE OPERE DI CONNESSIONE ALLA RETE ELETTRICA NAZIONALE						
<b>Richiedente:</b>	AMBRA SOLARE 7 S.R.L.	<b>Data:</b>	06/2023	<b>Revisione:</b>	1.0	<b>Pag.:</b>	15 / 21
<b>Codice Progetto:</b>	ITOPW004.071024			<b>Cod. Documento:</b>	ITOPW004.PD.01.REL.VIA2_2.RGT		

### Carichi di progetto agenti sulla fondazione

Nr.	Nome combinazione	Pressione normale di progetto [kN/m <sup>2</sup> ]	N [kN]	Mx [kN·m]	My [kN·m]	Hx [kN]	Hy [kN]	Tipo
1	Carico limite	0.15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Progetto

### 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	Si	1	1	1	1	1	1.8	3

### CONDIZIONI PIU' SFAVOREVOLI:

#### Carico Limite Fondazione Combinazione-Carico Limite

Autore: TERZAGHI (1955)

Carico limite [Q<sub>ult</sub>] 398.19 kN/m<sup>2</sup> (4.06 Kg/cm<sup>2</sup>)

Resistenza di progetto [Rd] 221.22 kN/m<sup>2</sup> (2.26 Kg/cm<sup>2</sup>)

Tensione [Ed] 0.15 kN/m<sup>2</sup>

Fattore sicurezza [F<sub>s</sub>=Q<sub>ult</sub>/Ed] 2654.58

Condizione di verifica [Ed<=Rd] Verificata

#### Coefficiente Di Sottofondazione Bowles (1982)

Costante di Winkler 15927.48 kN/m<sup>3</sup>

#### Carico limite

Autore: HANSEN (1970) (Condizione drenata)

=====

#### PARAMETRI GEOTECNICI DI CALCOLO

=====

Peso unità di volume 19.6 kN/m<sup>3</sup>

Peso unità di volume saturo 20.7 kN/m<sup>3</sup>

Angolo di attrito 23.7 °

Coesione 18.0 kN/m<sup>2</sup>

=====

Fattore [N<sub>q</sub>] 4.5

Fattore [N<sub>c</sub>] 11.9

Fattore [N<sub>g</sub>] 1.54

Fattore forma [S<sub>c</sub>] 1.41

<b>Documento:</b>	Relazione Geotecnica						
<b>Progetto:</b>	PROGETTO DEFINITIVO PER LA COSTRUZIONE E L'ESERCIZIO DI UN IMPIANTO AGRIVOLTAICO, DENOMINATO TAVERNOLA, AVENTE POTENZA NOMINALE DI 49,66 MWp, INTEGRATO CON SISTEMA DI ACCUMULO DI 10 MW, POTENZA IN IMMISSIONE RICHIESTA 55 MW, E RELATIVE OPERE DI CONNESSIONE ALLA RETE ELETTRICA NAZIONALE						
<b>Richiedente:</b>	AMBRA SOLARE 7 S.R.L.	<b>Data:</b>	06/2023	<b>Revisione:</b>	1.0	<b>Pag.:</b>	16 / 21
<b>Codice Progetto:</b>	ITOPW004.071024			<b>Cod. Documento:</b>	ITOPW004.PD.01.REL.VIA2_2.RGT		

Fattore profondità [Dc]	1.59
Fattore inclinazione carichi [Ic]	1.0
Fattore inclinazione pendio [Gc]	1.0
Fattore inclinazione base [Bc]	1.0
Fattore forma [Sq]	1.32
Fattore profondità [Dq]	1.45
Fattore inclinazione carichi [Iq]	1.0
Fattore inclinazione pendio [Gq]	1.0
Fattore inclinazione base [Bq]	1.0
Fattore forma [Sg]	0.57
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	616.43 kN/m <sup>2</sup>
Resistenza di progetto	342.46 kN/m <sup>2</sup>
Condizione di verifica [Ed<=Rd]	Verificata

=====

Autore: TERZAGHI (1955) (Condizione drenata)

=====

PARAMETRI GEOTECNICI DI CALCOLO

=====

Peso unità di volume	19.6	kN/m <sup>3</sup>
Peso unità di volume saturo	20.7	kN/m <sup>3</sup>
Angolo di attrito	23.7	°
Coesione	18.0	kN/m <sup>2</sup>
=====		
Fattore [Nq]	5.12	
Fattore [Nc]	14.01	
Fattore [Ng]	3.11	
Fattore forma [Sc]	1.3	
Fattore forma [Sg]	0.6	
Fattore correzione sismico inerziale [zq]	1.0	

<b>Documento:</b>	Relazione Geotecnica					
<b>Progetto:</b>	PROGETTO DEFINITIVO PER LA COSTRUZIONE E L'ESERCIZIO DI UN IMPIANTO AGRIVOLTAICO, DENOMINATO TAVERNOLA, AVENTE POTENZA NOMINALE DI 49,66 MWp, INTEGRATO CON SISTEMA DI ACCUMULO DI 10 MW, POTENZA IN IMMISSIONE RICHIESTA 55 MW, E RELATIVE OPERE DI CONNESSIONE ALLA RETE ELETTRICA NAZIONALE					
<b>Richiedente:</b>	AMBRA SOLARE 7 S.R.L.	<b>Data:</b>	06/2023	<b>Revisione:</b>	1.0	<b>Pag.:</b> 17 / 21
<b>Codice Progetto:</b>	ITOPW004.071024			<b>Cod. Documento:</b>	ITOPW004.PD.01.REL.VIA2_2.RGT	

Fattore correzione sismico inerziale [zg] 1.0

Fattore correzione sismico inerziale [zc] 1.0

=====

Carico limite 398.19 kN/m<sup>2</sup>

Resistenza di progetto 221.22 kN/m<sup>2</sup>

Condizione di verifica [Ed<=Rd] Verificata

=====

Autore: MEYERHOF (1963) (Condizione drenata)

=====

PARAMETRI GEOTECNICI DI CALCOLO

=====

Peso unità di volume 19.6 kN/m<sup>3</sup>

Peso unità di volume saturo 20.7 kN/m<sup>3</sup>

Angolo di attrito 23.7 °

Coesione 18.0 kN/m<sup>2</sup>

=====

Fattore [Nq] 4.5

Fattore [Nc] 11.9

Fattore [Ng] 1.48

Fattore forma [Sc] 1.39

Fattore profondità [Dc] 3.67

Fattore inclinazione carichi [Ic] 1.0

Fattore forma [Sq] 1.19

Fattore profondità [Dq] 2.34

Fattore inclinazione carichi [Iq] 1.0

Fattore forma [Sg] 1.19

Fattore profondità [Dg] 2.34

Fattore inclinazione carichi [Ig] 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 1167.99 kN/m<sup>2</sup>

Resistenza di progetto 648.88 kN/m<sup>2</sup>

Condizione di verifica [Ed<=Rd] Verificata

=====

<b>Documento:</b>	Relazione Geotecnica							
<b>Progetto:</b>	PROGETTO DEFINITIVO PER LA COSTRUZIONE E L'ESERCIZIO DI UN IMPIANTO AGRIVOLTAICO, DENOMINATO TAVERNOLA, AVENTE POTENZA NOMINALE DI 49,66 MWp, INTEGRATO CON SISTEMA DI ACCUMULO DI 10 MW, POTENZA IN IMMISSIONE RICHIESTA 55 MW, E RELATIVE OPERE DI CONNESSIONE ALLA RETE ELETTRICA NAZIONALE							
<b>Richiedente:</b>	AMBRA SOLARE 7 S.R.L.	<b>Data:</b>	06/2023	<b>Revisione:</b>	1.0	<b>Pag.:</b>	18 / 21	
<b>Codice Progetto:</b>	ITOPW004.071024			<b>Cod. Documento:</b>	ITOPW004.PD.01.REL.VIA2_2.RGT			

Autore: VESIC (1975) (Condizione drenata)

=====

#### PARAMETRI GEOTECNICI DI CALCOLO

=====

Peso unità di volume	19.6	kN/m <sup>3</sup>
Peso unità di volume saturo	20.7	kN/m <sup>3</sup>
Angolo di attrito	23.7	°
Coesione	18.0	kN/m <sup>2</sup>

=====

Fattore [Nq]	4.5
Fattore [Nc]	11.9
Fattore [Ng]	3.24
Fattore forma [Sc]	1.41
Fattore profondità [Dc]	1.57
Fattore inclinazione carichi [Ic]	1.0
Fattore inclinazione pendio [Gc]	1.0
Fattore inclinazione base [Bc]	1.0
Fattore forma [Sq]	1.32
Fattore profondità [Dq]	1.45
Fattore inclinazione carichi [Iq]	1.0
Fattore inclinazione pendio [Gq]	1.0
Fattore inclinazione base [Bq]	1.0
Fattore forma [Sg]	0.57
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	615.1	kN/m <sup>2</sup>
Resistenza di progetto	341.72	kN/m <sup>2</sup>

Condizione di verifica [Ed<=Rd] Verificata

=====

<b>Documento:</b>	Relazione Geotecnica						
<b>Progetto:</b>	PROGETTO DEFINITIVO PER LA COSTRUZIONE E L'ESERCIZIO DI UN IMPIANTO AGRIVOLTAICO, DENOMINATO TAVERNOLA, AVENTE POTENZA NOMINALE DI 49,66 MWp, INTEGRATO CON SISTEMA DI ACCUMULO DI 10 MW, POTENZA IN IMMISSIONE RICHIESTA 55 MW, E RELATIVE OPERE DI CONNESSIONE ALLA RETE ELETTRICA NAZIONALE						
<b>Richiedente:</b>	AMBRA SOLARE 7 S.R.L.	<b>Data:</b>	06/2023	<b>Revisione:</b>	1.0	<b>Pag.:</b>	19 / 21
<b>Codice Progetto:</b>	ITOPW004.071024			<b>Cod. Documento:</b>	ITOPW004.PD.01.REL.VIA2_2.RGT		

Noci (BA), Giugno 2023

Il Geologo

(Dr. Fedele Massimiliano COLUCCI)




<b>Documento:</b>	Relazione Geotecnica						
<b>Progetto:</b>	PROGETTO DEFINITIVO PER LA COSTRUZIONE E L'ESERCIZIO DI UN IMPIANTO AGRIVOLTAICO, DENOMINATO TAVERNOLA, AVENTE POTENZA NOMINALE DI 49,66 MWp, INTEGRATO CON SISTEMA DI ACCUMULO DI 10 MW, POTENZA IN IMMISSIONE RICHIESTA 55 MW, E RELATIVE OPERE DI CONNESSIONE ALLA RETE ELETTRICA NAZIONALE						
<b>Richiedente:</b>	AMBRA SOLARE 7 S.R.L.	<b>Data:</b>	06/2023	<b>Revisione:</b>	1.0	<b>Pag.:</b>	20 / 21
<b>Codice Progetto:</b>	ITOPW004.071024			<b>Cod. Documento:</b>	ITOPW004.PD.01.REL.VIA2_2.RGT		

## INDICE DELLE FIGURE

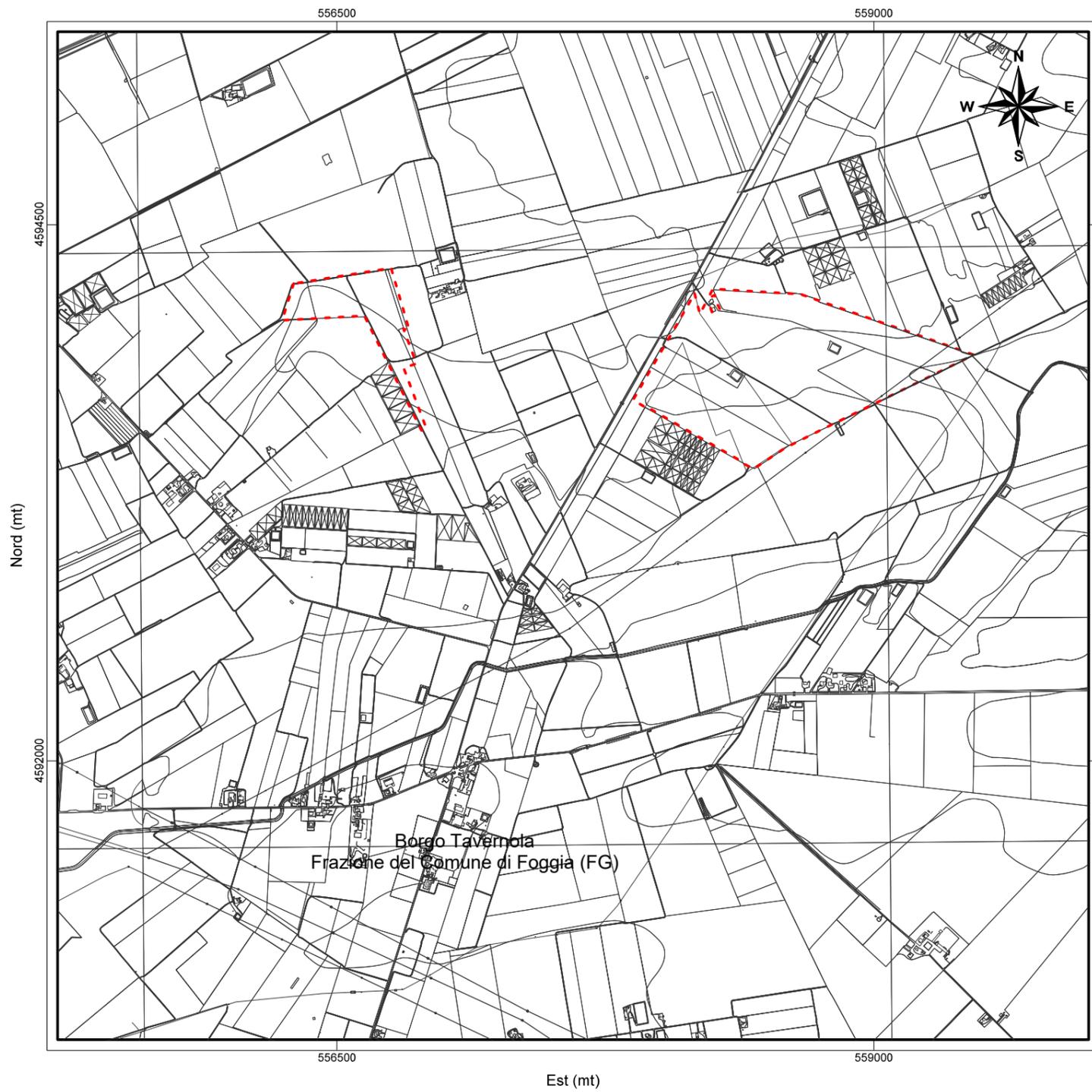
Figura 1: Meccanismo di rottura di Prandtl..... 9

<b>Documento:</b>	Relazione Geotecnica					
<b>Progetto:</b>	PROGETTO DEFINITIVO PER LA COSTRUZIONE E L'ESERCIZIO DI UN IMPIANTO AGRIVOLTAICO, DENOMINATO TAVERNOLA, AVENTE POTENZA NOMINALE DI 49,66 MWp, INTEGRATO CON SISTEMA DI ACCUMULO DI 10 MW, POTENZA IN IMMISSIONE RICHIESTA 55 MW, E RELATIVE OPERE DI CONNESSIONE ALLA RETE ELETTRICA NAZIONALE					
<b>Richiedente:</b>	AMBRA SOLARE 7 S.R.L.	<b>Data:</b>	06/2023	<b>Revisione:</b>	1.0	<b>Pag.:</b> 21 / 21
<b>Codice Progetto:</b>	ITOPW004.071024		<b>Cod. Documento:</b>	ITOPW004.PD.01.REL.VIA2_2.RGT		

## INDICE DELLE TABELLE

Tabella 1: Riepilogo delle caratteristiche elasto-meccaniche degli strati identificati dalle indagini geognostiche in situ.....	5
Tabella 2: Coefficienti parziali definiti per le Azioni .....	8
Tabella 3: Coefficienti parziali $\gamma_R$ per le verifiche agli Stati Limiti Ultimi per fondazioni superficiali .....	8

Tavola A. 1 "Ubicazione Area di Intervento"



Borgo Tavernola  
Frazione del Comune di Foggia (FG)

Corografia

Scala 1: 25.000 0 mt 500 mt 1000 mt 1500 mt

Legenda



Sistema di riferimento: UTM WGS84 33T

Base cartografica: Carta Tecnica Regionale (SIT-Regione Puglia)



Borgo Tavernola  
Frazione del Comune di Foggia (FG)

Stralcio aerofotogrammetrico

Scala 1: 20.000 0 mt 500 mt 1000 mt 1500 mt

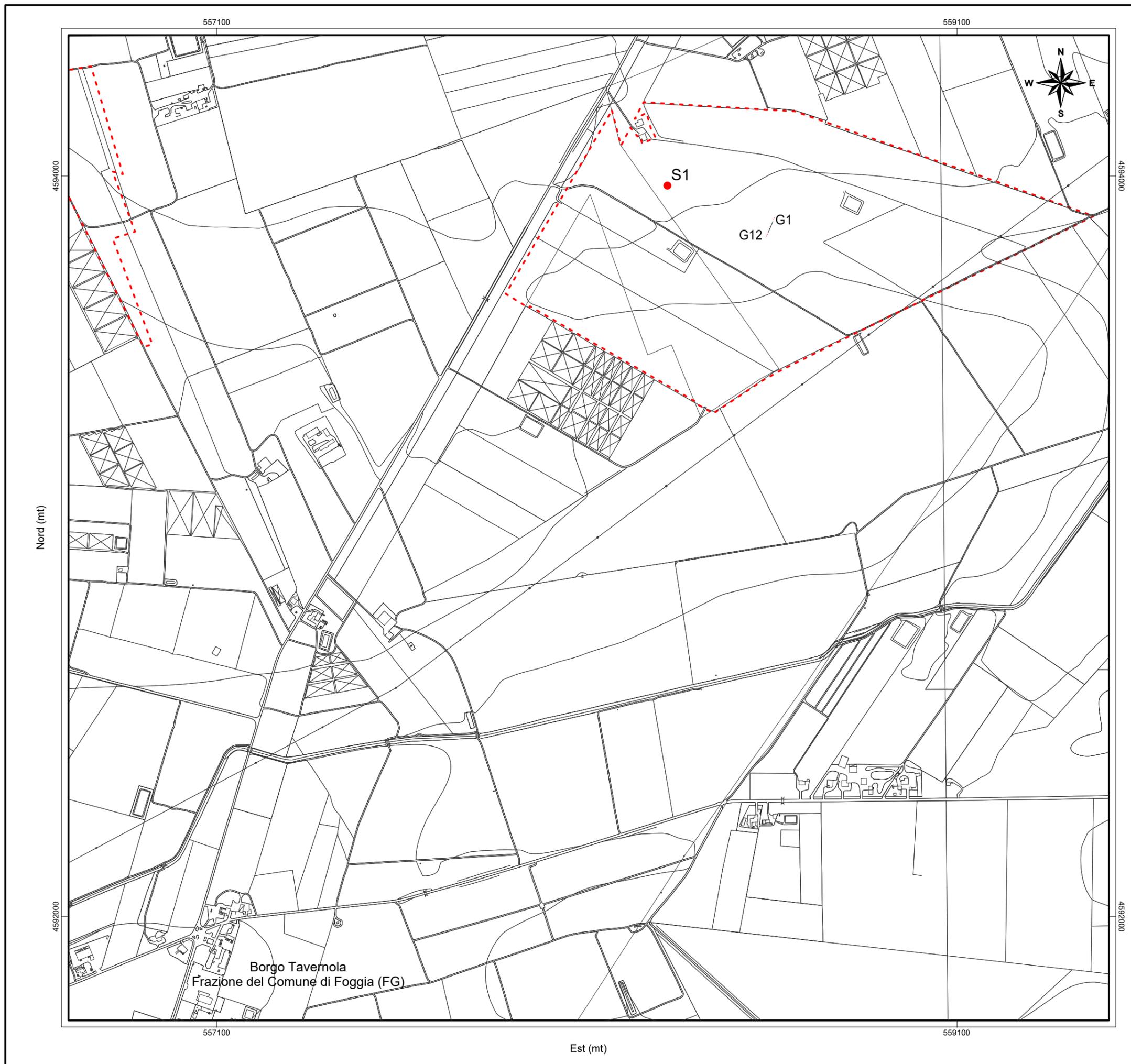


Tavola A. 2 "Ubicazione Indagini in Situ"

Legenda

-  Area impianto fotovoltaico
-  Sondaggio geognostico (-10,00 mt da pc)
-  Stendimento sismico (ST01= 33,00 ml)
-  Geofono
-  Battuta per indagine MASW

Sistema di riferimento: UTM WGS84 33T  
 Base cartografica: Carta Tecnica Regionale (SIT-Regione Puglia)

Scala 1: 10.000





# SONDAGGIO SI

PERFORAZIONE A CAROTAGGIO CONTINUO

INDAGINI GEONOSTICHE-REALIZZAZIONE  
PARCO FOTOVOLTAICO PRESSO IL BORGO  
TAVERNOLA NEL COMUNE DI FOGGIA (FG)

Geol. F. M. COLUCCI

S.O.: Via De Giosa, 4 - 70015 NOCI (BA)  
Tel/Fax (+39)080/2473484 - Cell. 338/4274387  
P. IVA 07627640720 - www.geomodelling.it  
e-mail: massimo.colucci76@gmail.com

COMMITTENTE: MAYA ENGINEERING SRLS

COORDINATE PIANE UTM WGS 84 33T

N = 4.593.974,87 E = 558.317,62

CAROTIERE CORONA	PROFONDITÀ M	POTENZA M	LITOLOGIA	DESCRIZIONE LITOLOGICA	PROFONDITÀ FALDA	CAMPIONI INDISTURBATI RIMANEGGIATI	S.P.T.	CAROTAGGIO RQD PRELIEVO 20 30 40 50 60 70 80 90 100	POCKET PENETROMETER TORE VANE	PROVE IN FORO	STRUMENTAZIONE IN FORO	CASSETTE	
SEMPLICE WIDIA	1	1,10		Limo debolmente sabbioso di colore marroncino di media consistenza e media plasticità. La frazione sabbiosa si presenta con granulometria da fine a finissima									
	2	2,50		Sabbia debolmente limosa di colore nocciola-verdastro con buona consistenza e scarsa plasticità. La frazione sabbiosa si presenta con granulometria da media a fine. Si osservano venature calcigne di colore biancastro	A	-2,50	A			A	A	1	
	3				S	-3,00	S			S	S		
	4				S		S			S	S		
	5	6,40		Limo con argilla di colore beige-verdastro con ottima consistenza e ottima plasticità. Si osservano venature e croste calcigne di colore biancastro	E		E			E	E	2	
	6					N		N			N		N
	7					T	-7,50	T			T		T
	8					E	-8,00	E			E		E
	9												
	10												

NB: IL FORO È STATO RIVESTITO CON TUBAZIONE PROVVISORIA DEL DIAMETRO DI 127 MM  
PER UNA PROFONDITÀ DI -4,50 MT DA PC

FONDO FORO



Geol. F. M. COLUCCI

S.O.: Via De Giosa, 4 - 70015 NOCI (BA)  
Tel/Fax (+39)080/2473484 - Cell. 338/4274387  
P. IVA 07627640720 - www.geomodelling.it  
e-mail: massimo.colucci76@gmail.com

# SONDAGGIO S1

PERFORAZIONE A CAROTAGGIO CONTINUO

INDAGINI GEONOSTICHE-REALIZZAZIONE  
PARCO FOTOVOLTAICO PRESSO IL BORGO  
TAVERNOLA NEL COMUNE DI FOGGIA (FG)

COMMITTENTE: MAYA ENGINEERING SRLS



Postazione Sondaggio S1



Cassetta Catalogatrice n° 1 - da mt 0,00 a mt -5,00



Cassetta Catalogatrice n° 2 - da mt -5,00 a mt -10,00

**QUADRO RIASSUNTIVO E INTERPRETATIVO DELLE ANALISI GEOTECNICHE**

Realizzazione di impianto agrivoltaico con accumulo e relative opere di connessione alla Rete Elettrica Nazionale - Tavernola (FG)

Sond.	Camp.	Profondità m	W %	$\gamma_v$ KN/m <sup>3</sup>	$\gamma_d$ KN/m <sup>3</sup>	$\gamma_{sat}$ KN/m <sup>3</sup>	$\gamma_s$ KN/m <sup>3</sup>	e	n %	Sr %	Ghiaia %	Sabbia %	Limo %	Argilla %	LL %	LP %	IP %	TG-CD c KN/m <sup>2</sup> $\phi^\circ$	CNR-UNI 10006
1	1	2.50 - 3.00	14.50	19.60	17.20	20.70	26.80	0.563	36.00	70.40	0.00	2.60	61.30	36.10	62.2	38.1	24.1	18.00 - 23.7°	A7-5
1	2	7.50 - 8.00	16.30	19.50	16.80	20.40	26.50	0.581	36.80	75.90	0.70	14.80	55.10	29.40	55.6	35.0	20.6	20.20 - 24.8°	A7-5

Legenda:

W= Umidità naturale -  $\gamma_v$ = Peso di volume naturale -  $\gamma_d$ = Peso di volume secco -  $\gamma_s$ = Peso specifico - e= Indice dei vuoti - n= Porosità - Sr=Grado di saturazione -  $\gamma_{sat}$ =peso di volume saturo - L.L.= Limite liquido

L.P.= Limite plastico - L.R.= Limite di ritiro - IP= Indice plastico - c=Coesione -  $c_u$ =Coesione non drenata -  $\phi^\circ$ = Angolo di attrito interno P=Pressione sul provino - Ed= Modulo edometrico



COMMITTENTE: DR. GEOL. MASSIMILIANO COLUCCI

RIFERIMENTO: Realizzazione di impianto agrivoltaico con accumulo e relative opere di connessione presso Tavernola (FG)

SONDAGGIO: 1

CAMPIONE: 1

PROFONDITA': m 2.50 - 3.00

## CLASSIFICA BASATA SULLA GRANULOMETRIA

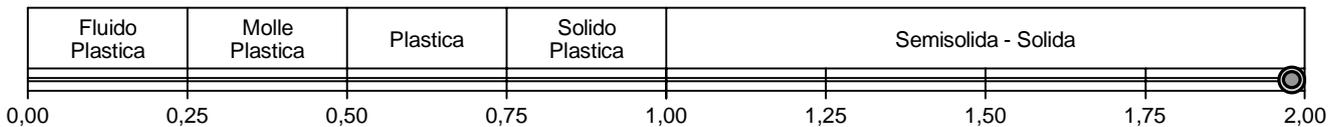
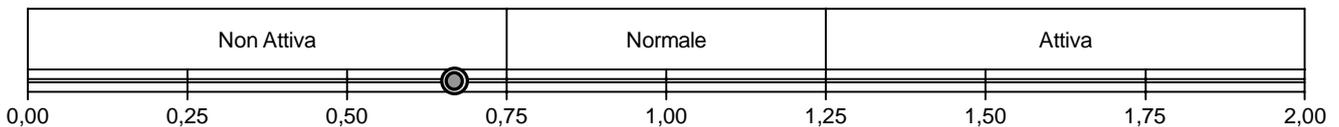
Classifica A.G.I.

Limo con argilla

## CLASSIFICHE BASATE SUI LIMITI DI CONSISTENZA

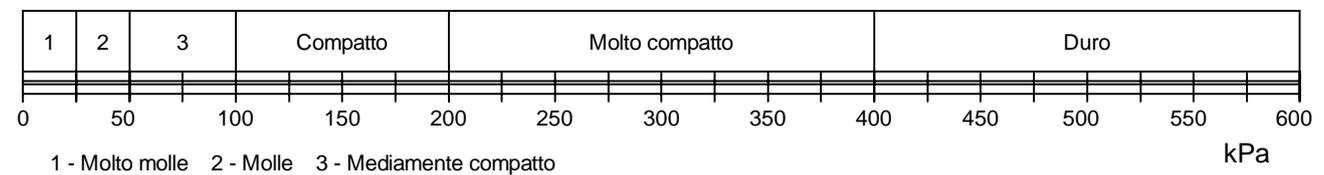
Abaco di plasticità di Casagrande

MH o OH - Limi inorganici o argille e limi organici ad alta compressibilità

 $I.C. = \text{Indice di consistenza} = (LL - W_n) / IP = 1,98$ 

 $A = \text{Attività (Skempton)} = IP / CF \text{ (clay fraction)} = 0,67$ 


## CLASSIFICA BASATA SULLA COESIONE NON DRENATA

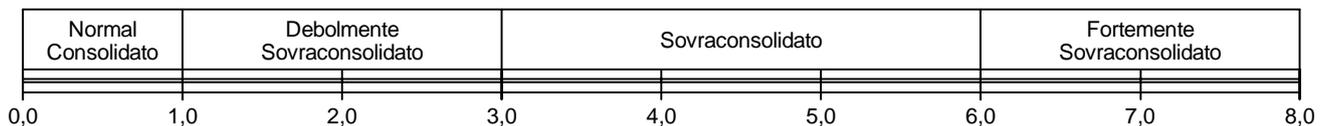
Coesione non drenata = 0 kPa



## CLASSIFICA BASATA SULLA PRECONSOLIDAZIONE

Pressione del campione in sito = 0,0kPa

Pressione di preconsolidazione [da Prova Edometrica] = 0,0kPa

 $O.C.R. \text{ (Over Consolidation Ratio)} = 0,00$ 


Limo con argilla di colore marrone - verdastro

<b>CERTIFICATO DI PROVA N°: 02568</b>	Pagina 1/1	DATA DI EMISSIONE: 13/07/22	Inizio analisi: 12/07/22
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: VA146T-22 del 08.07.22		Apertura campione: 08.07.22	Fine analisi: 13/07/22

COMMITTENTE: DR. GEOL. MASSIMILIANO COLUCCI			
RIFERIMENTO: Realizzazione di impianto agrivoltaico con accumulo e relative opere di connessione presso Tavernola (FG)			
SONDAGGIO: 1	CAMPIONE: 1	PROFONDITA': m	2.50 - 3.00

## CONTENUTO D'ACQUA ALLO STATO NATURALE

Modalità di prova: Norma ASTM D 2216

**W<sub>n</sub> = contenuto d'acqua allo stato naturale = 14,5 %**

Struttura del materiale:

Omogeneo  
 Stratificato  
 Caotico

Temperatura di essiccazione: 110 °C

Limo con argilla di colore marrone - verdastro

<b>CERTIFICATO DI PROVA N°: 02569</b>	Pagina 1/1	DATA DI EMISSIONE: 13/07/22	Inizio analisi: 12/07/22
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: VA146T-22 del 08.07.22		Apertura campione: 08.07.22	Fine analisi: 12/07/22

COMMITTENTE: DR. GEOL. MASSIMILIANO COLUCCI			
RIFERIMENTO: Realizzazione di impianto agrivoltaico con accumulo e relative opere di connessione presso Tavernola (FG)			
SONDAGGIO: 1	CAMPIONE: 1	PROFONDITA': m	2.50 - 3.00

## PESO DI VOLUME ALLO STATO NATURALE

Modalità di prova: Norma BS 1377 T 15/E

Determinazione eseguita mediante fustella tarata

**Peso di volume allo stato naturale = 19,6 kN/m<sup>3</sup>**

Limo con argilla di colore marrone - verdastro

<b>CERTIFICATO DI PROVA N°: 02570</b>	Pagina 1/1	DATA DI EMISSIONE: 13/07/22	Inizio analisi: 12/07/22
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: VA146T-22 del 08.07.22		Apertura campione: 08.07.22	Fine analisi: 13/07/22

COMMITTENTE: DR. GEOL. MASSIMILIANO COLUCCI			
RIFERIMENTO: Realizzazione di impianto agrivoltaico con accumulo e relative opere di connessione presso Tavernola (FG)			
SONDAGGIO: 1	CAMPIONE: 1	PROFONDITA': m	2.50 - 3.00

## PESO SPECIFICO DEI GRANULI

Modalità di prova: Norma ASTM D 854

$G_s$  = Peso specifico dei granuli (media delle due misure) (kN/m<sup>3</sup>) = **26,8 kN/m<sup>3</sup>**

$G_{sc}$  = Peso specifico dei granuli corretto a 20° (kN/m<sup>3</sup>) = **26,8 kN/m<sup>3</sup>**

Metodo:  A  B

Capacità del picnometro: 100 ml

Temperatura di prova: 23,0 °C

Limo con argilla di colore marrone - verdastro

<b>CERTIFICATO DI PROVA N°: 02571</b>	Pagina 1/1	DATA DI EMISSIONE: 13/07/22	Inizio analisi: 12/07/22
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: VA146T-22 del 08.07.22		Apertura campione: 08.07.22	Fine analisi: 13/07/22

COMMITTENTE: DR. GEOL. MASSIMILIANO COLUCCI			
RIFERIMENTO: Realizzazione di impianto agrivoltaico con accumulo e relative opere di connessione presso Tavernola (FG)			
SONDAGGIO: 1	CAMPIONE: 1	PROFONDITA': m 2.50 - 3.00	

## LIMITI DI CONSISTENZA LIQUIDO E PLASTICO

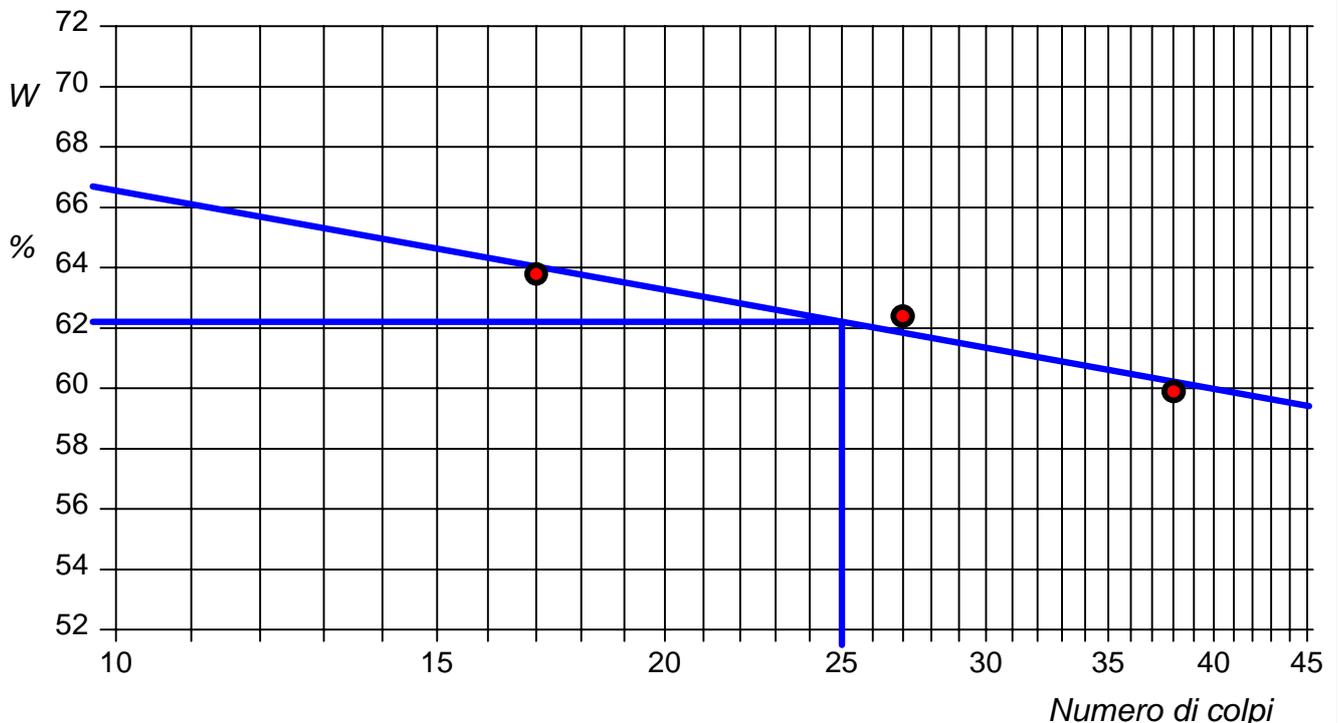
Modalità di prova: Norma ASTM D 4318

Limite di liquidità	62,2 %
Limite di plasticità	38,1 %
Indice di plasticità	24,1 %

La prova è stata eseguita sulla frazione granulometrica passante al setaccio n° 40 (0.42 mm)

LIMITE DI LIQUIDITA'					LIMITE DI PLASTICITA'		
Numero di colpi	17	27	38		Umidità (%)	38,3	37,9
Umidità (%)	63,8	62,4	59,9		Umidità media	38,1	

### Determinazione del Limite di liquidità



Limo con argilla di colore marrone - verdastro

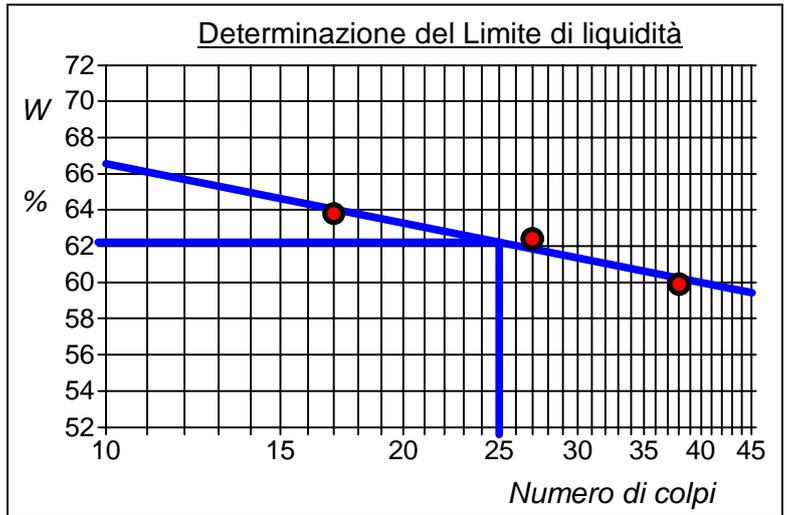
<b>CERTIFICATO DI PROVA N°: 02571</b>	Allegato 1	DATA DI EMISSIONE: 13/07/22	Inizio analisi: 12/07/22
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: VA146T-22 del 08.07.22		Apertura campione: 08.07.22	Fine analisi: 13/07/22

COMMITTENTE: DR. GEOL. MASSIMILIANO COLUCCI			
RIFERIMENTO: Realizzazione di impianto agrivoltaico con accumulo e relative opere di connessione presso Tavernola (FG)			
SONDAGGIO: 1	CAMPIONE: 1	PROFONDITA': m 2.50 - 3.00	

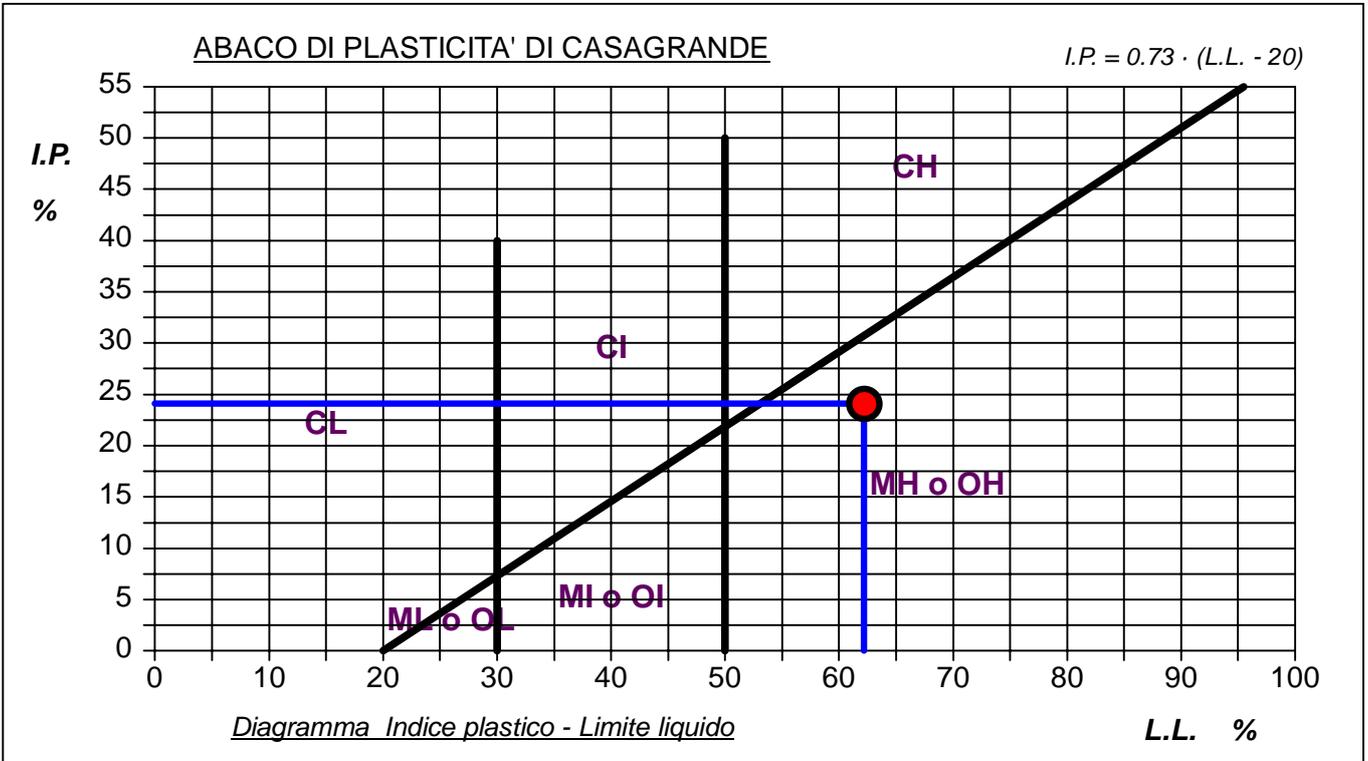
## ABACO DI CASAGRANDE

Modalità di prova: Norma ASTM D 4318

Limite di liquidità	62,2	%
Limite di plasticità	38,1	%
Indice di plasticità	24,1	%
Indice di consistenza	1,98	
Passante al set. n° 40	SI	



C - Argille inorganiche	L - Bassa compressibilità
<b>M - Limi inorganici</b>	I - Media compressibilità
<b>O - Argille e limi organici</b>	<b>H - Alta compressibilità</b>



Limo con argilla di colore marrone - verdastro



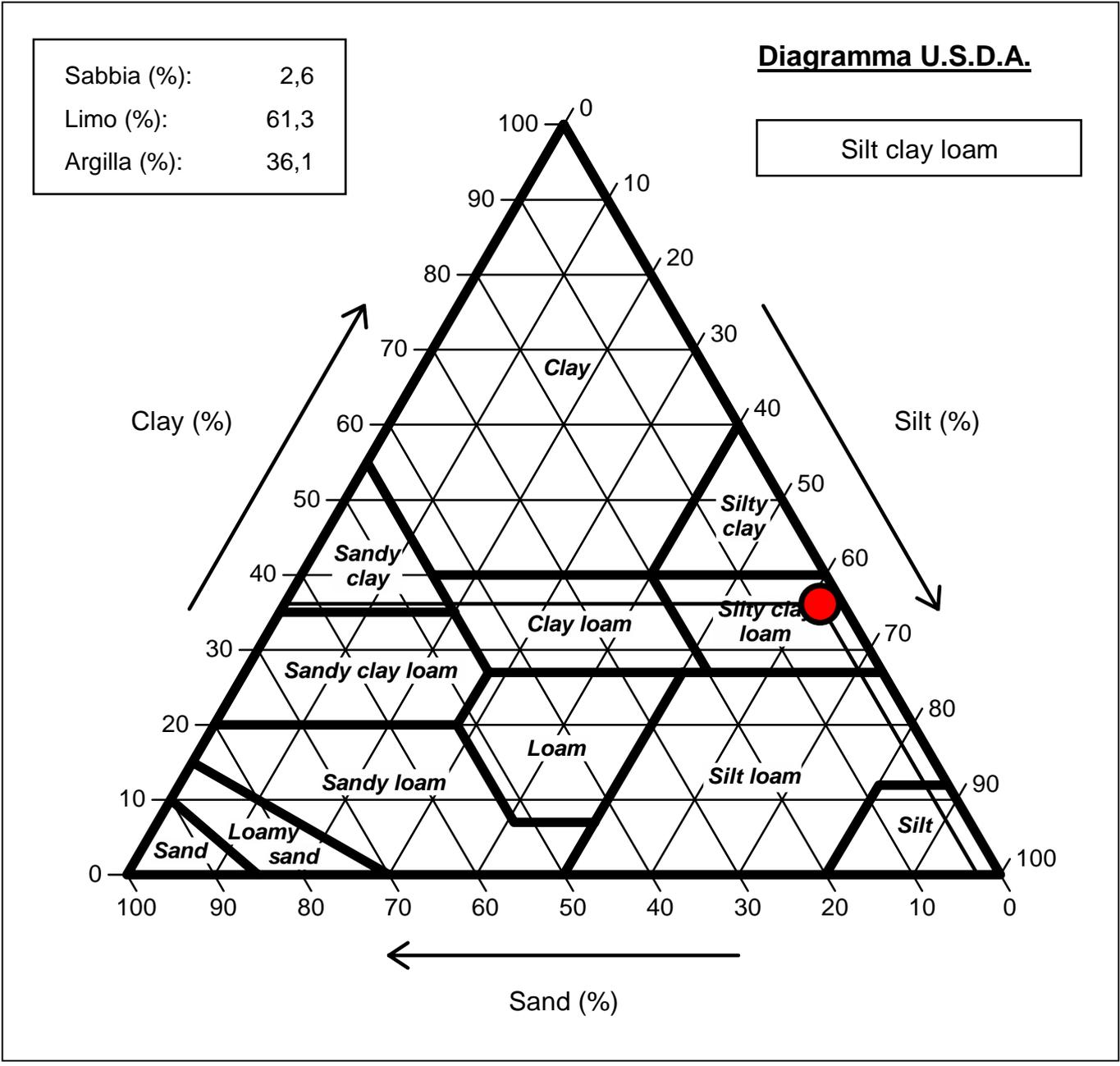


<b>CERTIFICATO DI PROVA N°: 02572</b>	Allegato 1	DATA DI EMISSIONE: 13/07/22	Inizio analisi: 12/07/22
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: VA146T-22 del 08.07.22		Apertura campione: 08.07.22	Fine analisi: 13/07/22

COMMITTENTE: DR. GEOL. MASSIMILIANO COLUCCI			
RIFERIMENTO: Realizzazione di impianto agrivoltaico con accumulo e relative opere di connessione presso Tavernola (FG)			
SONDAGGIO: 1	CAMPIONE: 1	PROFONDITA': m	2.50 - 3.00

**ANALISI GRANULOMETRICA - GRAFICO TRIANGOLARE**

Modalità di prova: Norma ASTM D422



Limo con argilla di colore marrone - verdastro





**CERTIFICATO DI PROVA N°: 02573**

Pagina 3/4

DATA DI EMISSIONE: 13/07/22

Inizio analisi: 11/07/22

VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: VA146T-22 del 08.07.22

Apertura campione: 08.07.22

Fine analisi: 13/07/22

COMMITTENTE: DR. GEOL. MASSIMILIANO COLUCCI

RIFERIMENTO: Realizzazione di impianto agrivoltaico con accumulo e relative opere di connessione presso Tavernola (FG)

SONDAGGIO: 1

CAMPIONE: 1

PROFONDITA': m 2.50 - 3.00

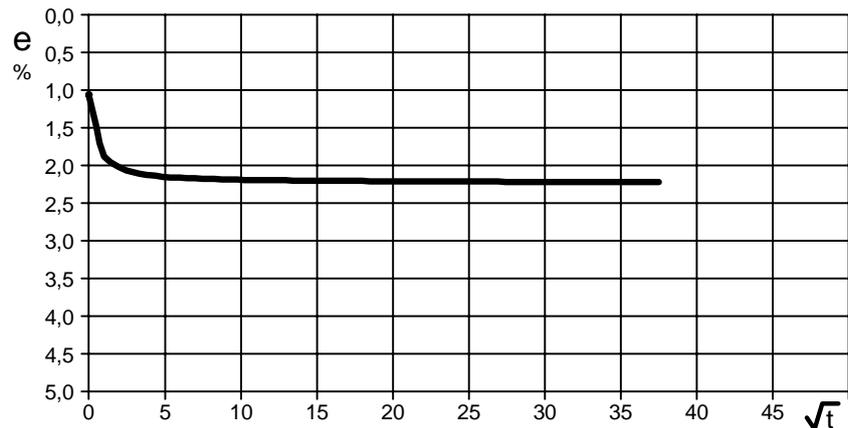
## PROVA DI TAGLIO DIRETTO - FASE DI CONSOLIDAZIONE

Modalità di prova: Norma ASTM D 3080

### Diagramma TEMPO - CEDIMENTO

#### PROVINO 1

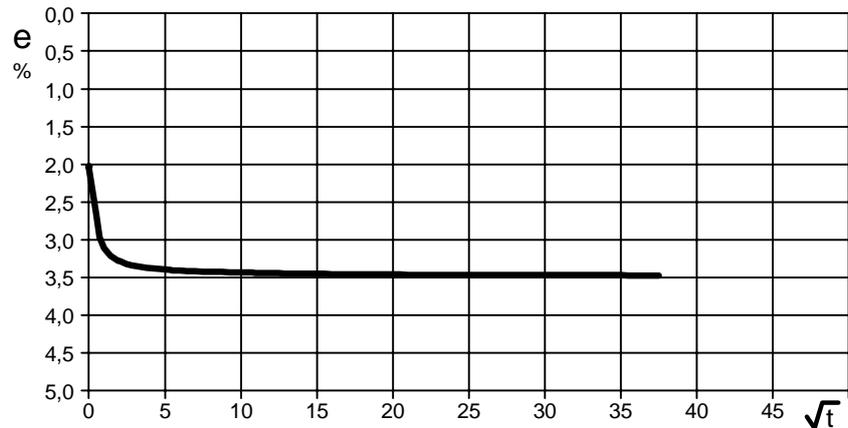
Pressione (kPa)	100
Altezza iniziale (cm)	2,000
Altezza finale (cm)	1,956
Sezione (cm <sup>2</sup> ):	36,00
T <sub>100</sub> (min)	35,5
Df (mm)	7
Vs (mm/min)	0,020



### Diagramma TEMPO - CEDIMENTO

#### PROVINO 2

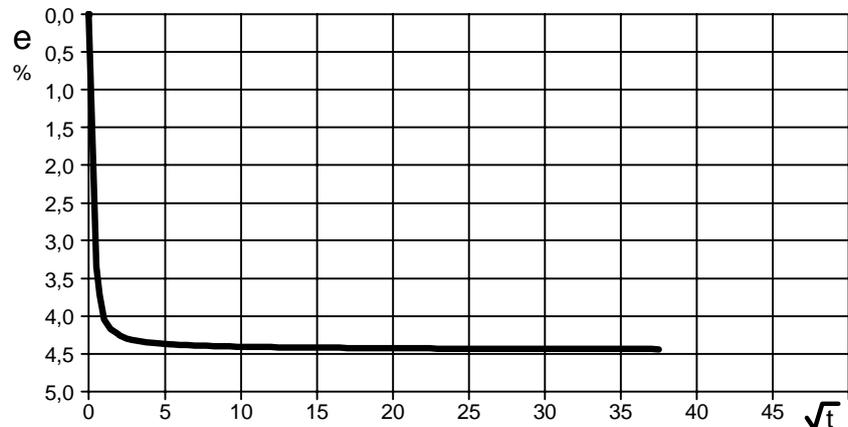
Pressione (kPa)	200
Altezza iniziale (cm)	2,000
Altezza finale (cm)	1,931
Sezione (cm <sup>2</sup> ):	36,00
T <sub>100</sub> (min)	35,4
Df (mm)	7
Vs (mm/min)	0,020



### Diagramma TEMPO - CEDIMENTO

#### PROVINO 3

Pressione (kPa)	300
Altezza iniziale (cm)	2,000
Altezza finale (cm)	1,911
Sezione (cm <sup>2</sup> ):	36,00
T <sub>100</sub> (min)	33,5
Df (mm)	7
Vs (mm/min)	0,021



Vs = Velocità stimata di prova    Df = Deformazione a rottura stimata

 $tf = 10 \times T_{100}$ 
 $Vs = Df / tf$



COMMITTENTE: DR. GEOL. MASSIMILIANO COLUCCI		
RIFERIMENTO: Realizzazione di impianto agrivoltaico con accumulo e relative opere di connessione presso Tavernola (FG)		
SONDAGGIO: 1	CAMPIONE: 2	PROFONDITA': m 7.50 - 8.00

**CARATTERISTICHE FISICHE**

Umidità naturale	16,3	%
Peso di volume	19,5	kN/m <sup>3</sup>
Peso di volume secco	16,8	kN/m <sup>3</sup>
Peso di volume saturo	20,4	kN/m <sup>3</sup>
Peso specifico	26,5	kN/m <sup>3</sup>
Indice dei vuoti	0,581	
Porosità	36,8	%
Grado di saturazione	75,9	%
Limite di liquidità	55,6	%
Limite di plasticità	35,0	%
Indice di plasticità	20,6	%
Indice di consistenza	1,91	
Passante al set. n° 40	SI	
Limite di ritiro		%
CNR-UNI 10006/00	A7-5	I.G. = 15

**ANALISI GRANULOMETRICA**

Ghiaia	0,7	%
Sabbia	14,8	%
Limo	55,1	%
Argilla	29,4	%
D 10		mm
D 50	0,009019	mm
D 60	0,014218	mm
D 90	0,106952	mm
Passante set. 10	99,3	%
Passante set. 42	98,3	%
Passante set. 200	86,7	%

**COMPRESSIONE**

<b>S</b>	kPa
<b>C<sub>u</sub></b>	kPa
<b>S<sub>Rim</sub></b>	kPa
<b>C<sub>u Rim</sub></b>	kPa

**TAGLIO DIRETTO**

Prova consolidata-lenta		
<b>c'</b>	20,2	kPa
<b>f'</b>	24,8	°
<b>c'<sub>Res</sub></b>		kPa
<b>f'<sub>Res</sub></b>		°

**PERMEABILITA'**

Coefficiente k	cm/sec
----------------	--------

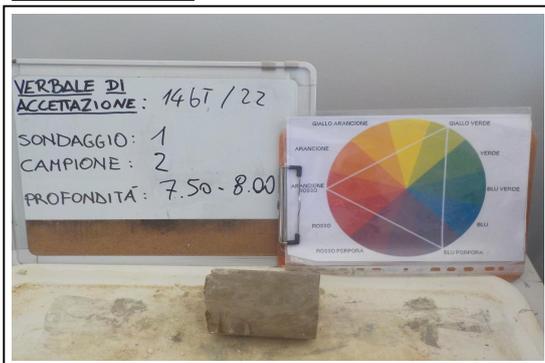
**COMPRESSIONE TRIASSIALE**

C.D.	C <sub>d</sub>	kPa	f <sub>d</sub>	°
C.U.	C' <sub>cu</sub>	kPa	f' <sub>cu</sub>	°
	C <sub>cu</sub>	kPa	f <sub>cu</sub>	°
U.U.	C <sub>u</sub>	kPa	f <sub>u</sub>	°

**PROVA EDOMETRICA**

<b>S</b> kPa	<b>E</b> kPa	<b>C<sub>v</sub></b> cm <sup>2</sup> /sec	<b>k</b> cm/sec

**FOTOGRAFIA**



**OSSERVAZIONI**

Limo sabbioso con argilla di colore marrone
Tipo di campione: Cilindrico      Qualità del campione: Q 5

Posizione delle prove CF GR TD	cm	R <sub>p</sub> kPa	VT kPa	cm	DESCRIZIONE DEL CAMPIONE
	0				
	10				
	20				
	30				
	40				
	50			50	Limo sabbioso con argilla di colore marrone

COMMITTENTE: DR. GEOL. MASSIMILIANO COLUCCI

RIFERIMENTO: Realizzazione di impianto agrivoltaico con accumulo e relative opere di connessione presso Tavernola (FG)

SONDAGGIO: 1

CAMPIONE: 2

PROFONDITA': m 7.50 - 8.00

## CLASSIFICA BASATA SULLA GRANULOMETRIA

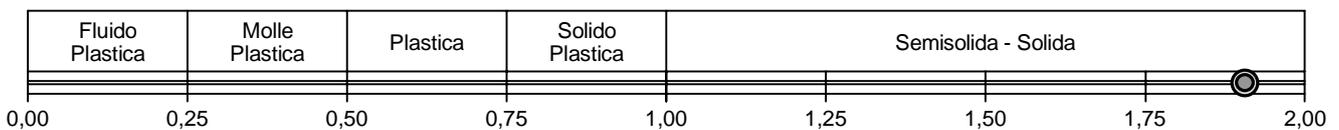
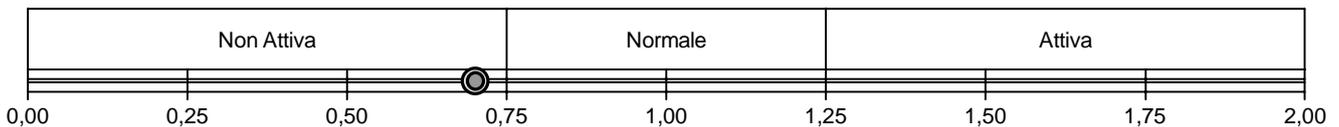
Classifica A.G.I.

Limo con argilla sabbioso

## CLASSIFICHE BASATE SUI LIMITI DI CONSISTENZA

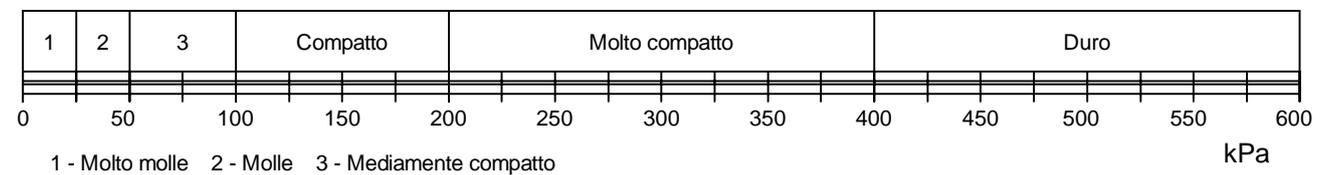
Abaco di plasticità di Casagrande

MH o OH - Limi inorganici o argille e limi organici ad alta compressibilità

 $I.C. = \text{Indice di consistenza} = (LL - W_n) / IP = 1,91$ 

 $A = \text{Attività (Skempton)} = IP / CF \text{ (clay fraction)} = 0,70$ 


## CLASSIFICA BASATA SULLA COESIONE NON DRENATA

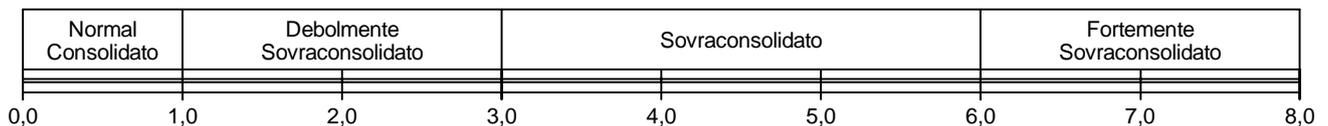
Coesione non drenata = 0 kPa



## CLASSIFICA BASATA SULLA PRECONSOLIDAZIONE

Pressione del campione in sito = 0,0kPa

Pressione di preconsolidazione [da Prova Edometrica] = 0,0kPa

 $O.C.R. \text{ (Over Consolidation Ratio)} = 0,00$ 


Limo sabbioso con argilla di colore marrone

<b>CERTIFICATO DI PROVA N°: 02574</b>	Pagina 1/1	DATA DI EMISSIONE: 13/07/22	Inizio analisi: 08/07/22
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: VA146T-22 del 08.07.22		Apertura campione: 08.07.22	Fine analisi: 09/07/22

COMMITTENTE: DR. GEOL. MASSIMILIANO COLUCCI			
RIFERIMENTO: Realizzazione di impianto agrivoltaico con accumulo e relative opere di connessione presso Tavernola (FG)			
SONDAGGIO: 1	CAMPIONE: 2	PROFONDITA': m	7.50 - 8.00

## CONTENUTO D'ACQUA ALLO STATO NATURALE

Modalità di prova: Norma ASTM D 2216

**W<sub>n</sub> = contenuto d'acqua allo stato naturale = 16,3 %**

Struttura del materiale:

Omogeneo  
 Stratificato  
 Caotico

Temperatura di essiccazione: 110 °C

Limo sabbioso con argilla di colore marrone

<b>CERTIFICATO DI PROVA N°: 02575</b>	Pagina 1/1	DATA DI EMISSIONE: 13/07/22	Inizio analisi: 08/07/22
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: VA146T-22 del 08.07.22		Apertura campione: 08.07.22	Fine analisi: 08/07/22

COMMITTENTE: DR. GEOL. MASSIMILIANO COLUCCI			
RIFERIMENTO: Realizzazione di impianto agrivoltaico con accumulo e relative opere di connessione presso Tavernola (FG)			
SONDAGGIO: 1	CAMPIONE: 2	PROFONDITA': m	7.50 - 8.00

## PESO DI VOLUME ALLO STATO NATURALE

Modalità di prova: Norma BS 1377 T 15/E

Determinazione eseguita mediante fustella tarata

**Peso di volume allo stato naturale = 19,5 kN/m<sup>3</sup>**

Limo sabbioso con argilla di colore marrone

<b>CERTIFICATO DI PROVA N°: 02576</b>	Pagina 1/1	DATA DI EMISSIONE: 13/07/22	Inizio analisi: 11/07/22
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: VA146T-22 del 08.07.22		Apertura campione: 08.07.22	Fine analisi: 12/07/22

COMMITTENTE: DR. GEOL. MASSIMILIANO COLUCCI			
RIFERIMENTO: Realizzazione di impianto agrivoltaico con accumulo e relative opere di connessione presso Tavernola (FG)			
SONDAGGIO: 1	CAMPIONE: 2	PROFONDITA': m	7.50 - 8.00

## PESO SPECIFICO DEI GRANULI

Modalità di prova: Norma ASTM D 854

$G_s$  = Peso specifico dei granuli (media delle due misure) (kN/m<sup>3</sup>) = 26,5 kN/m<sup>3</sup>

$G_{sc}$  = Peso specifico dei granuli corretto a 20° (kN/m<sup>3</sup>) = 26,5 kN/m<sup>3</sup>

Metodo:  A  B

Capacità del picnometro: 100 ml

Temperatura di prova: 23,0 °C

Limo sabbioso con argilla di colore marrone

<b>CERTIFICATO DI PROVA N°: 02577</b>	Pagina 1/1	DATA DI EMISSIONE: 13/07/22	Inizio analisi: 12/07/22
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: VA146T-22 del 08.07.22		Apertura campione: 08.07.22	Fine analisi: 13/07/22

COMMITTENTE: DR. GEOL. MASSIMILIANO COLUCCI			
RIFERIMENTO: Realizzazione di impianto agrivoltaico con accumulo e relative opere di connessione presso Tavernola (FG)			
SONDAGGIO: 1	CAMPIONE: 2	PROFONDITA': m 7.50 - 8.00	

## LIMITI DI CONSISTENZA LIQUIDO E PLASTICO

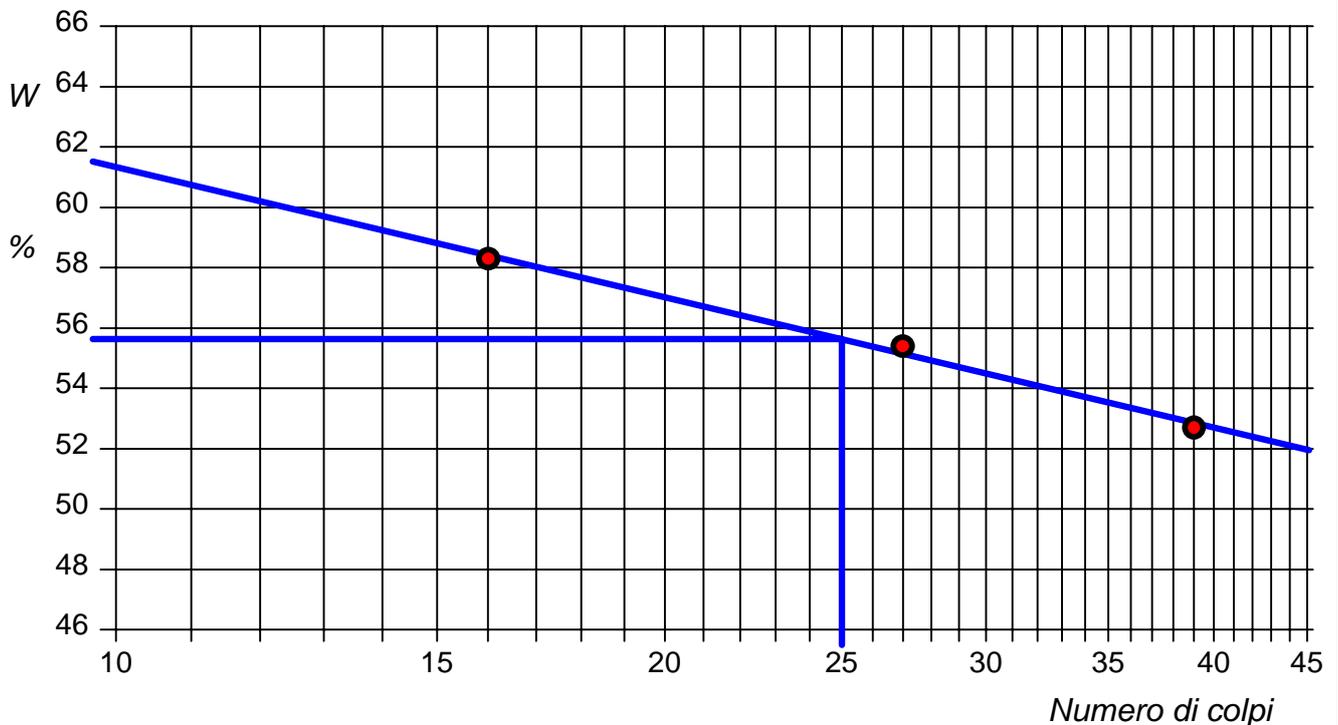
Modalità di prova: Norma ASTM D 4318

Limite di liquidità	55,6 %
Limite di plasticità	35,0 %
Indice di plasticità	20,6 %

La prova è stata eseguita sulla frazione granulometrica passante al setaccio n° 40 (0.42 mm)

LIMITE DI LIQUIDITA'					LIMITE DI PLASTICITA'		
Numero di colpi	16	27	39		Umidità (%)	35,4	34,6
Umidità (%)	58,3	55,4	52,7		Umidità media	35,0	

### Determinazione del Limite di liquidità



Limo sabbioso con argilla di colore marrone

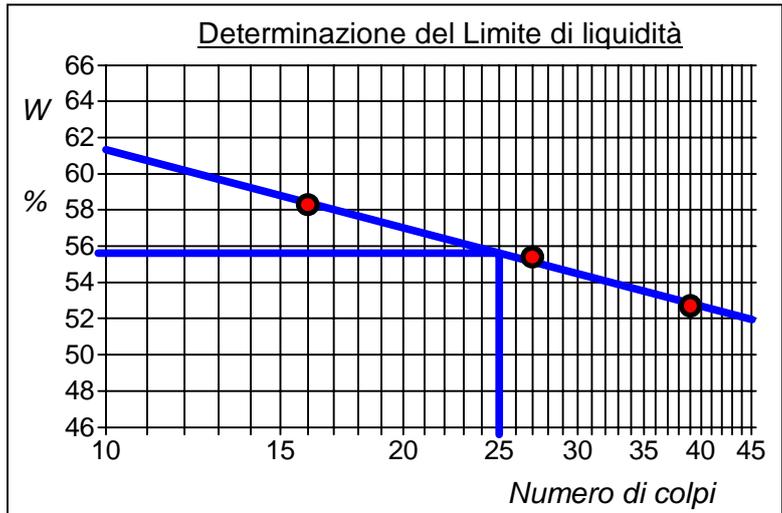
<b>CERTIFICATO DI PROVA N°: 02577</b>	Allegato 1	DATA DI EMISSIONE: 13/07/22	Inizio analisi: 12/07/22
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: VA146T-22 del 08.07.22		Apertura campione: 08.07.22	Fine analisi: 13/07/22

COMMITTENTE: DR. GEOL. MASSIMILIANO COLUCCI			
RIFERIMENTO: Realizzazione di impianto agrivoltaico con accumulo e relative opere di connessione presso Tavernola (FG)			
SONDAGGIO: 1	CAMPIONE: 2	PROFONDITA': m 7.50 - 8.00	

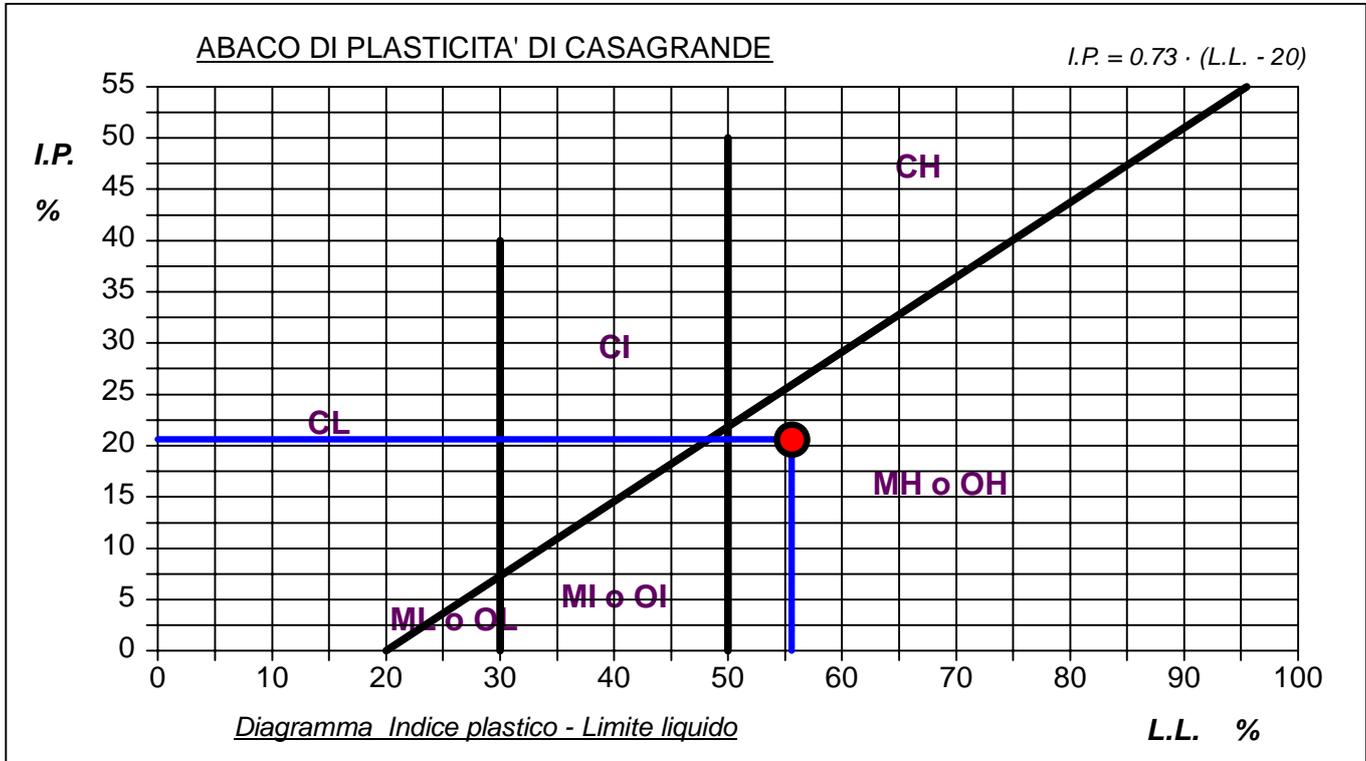
## ABACO DI CASAGRANDE

Modalità di prova: Norma ASTM D 4318

Limite di liquidità	55,6	%
Limite di plasticità	35,0	%
Indice di plasticità	20,6	%
Indice di consistenza	1,91	
Passante al set. n° 40	SI	



C - Argille inorganiche	L - Bassa compressibilità
<b>M - Limi inorganici</b>	I - Media compressibilità
<b>O - Argille e limi organici</b>	<b>H - Alta compressibilità</b>



Limo sabbioso con argilla di colore marrone



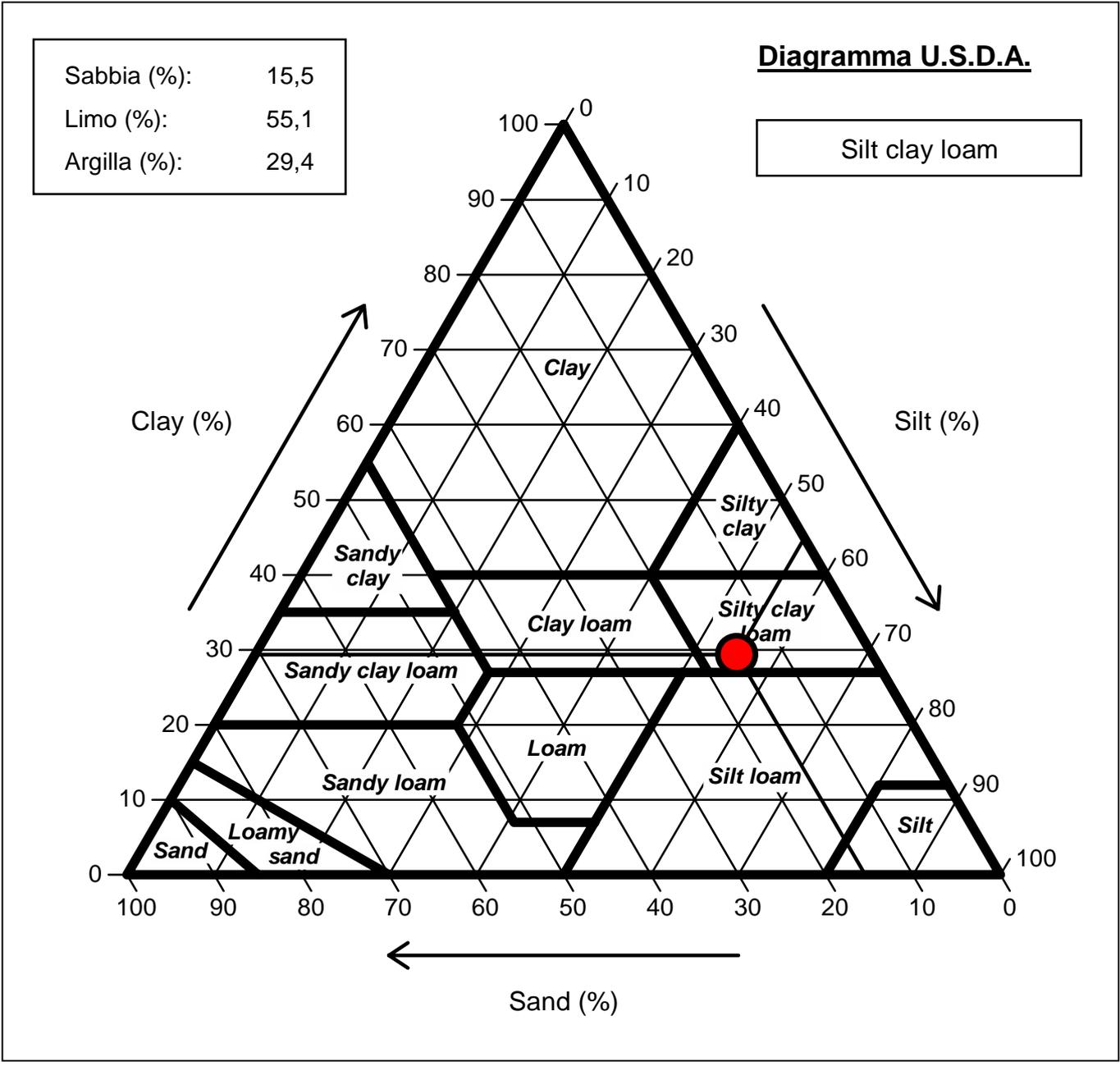


<b>CERTIFICATO DI PROVA N°: 02578</b>	Allegato 1	DATA DI EMISSIONE: 13/07/22	Inizio analisi: 12/07/22
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: VA146T-22 del 08.07.22		Apertura campione: 08.07.22	Fine analisi: 13/07/22

COMMITTENTE: DR. GEOL. MASSIMILIANO COLUCCI			
RIFERIMENTO: Realizzazione di impianto agrivoltaico con accumulo e relative opere di connessione presso Tavernola (FG)			
SONDAGGIO: 1	CAMPIONE: 2	PROFONDITA': m	7.50 - 8.00

**ANALISI GRANULOMETRICA - GRAFICO TRIANGOLARE**

Modalità di prova: Norma ASTM D422



Limo sabbioso con argilla di colore marrone





**CERTIFICATO DI PROVA N°: 02579**

Pagina 3/4

DATA DI EMISSIONE: 13/07/22

Inizio analisi: 11/07/22

VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: VA146T-22 del 08.07.22

Apertura campione: 08.07.22

Fine analisi: 13/07/22

COMMITTENTE: DR. GEOL. MASSIMILIANO COLUCCI

RIFERIMENTO: Realizzazione di impianto agrivoltaico con accumulo e relative opere di connessione presso Tavernola (FG)

SONDAGGIO: 1

CAMPIONE: 2

PROFONDITA': m 7.50 - 8.00

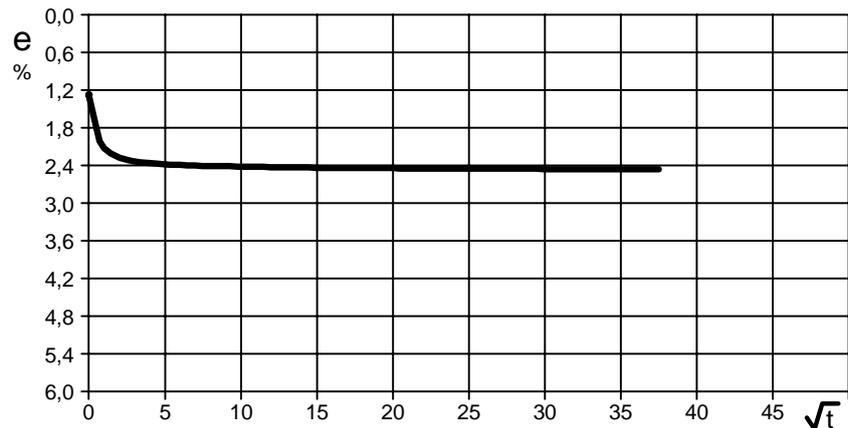
## PROVA DI TAGLIO DIRETTO - FASE DI CONSOLIDAZIONE

Modalità di prova: Norma ASTM D 3080

### Diagramma TEMPO - CEDIMENTO

#### PROVINO 1

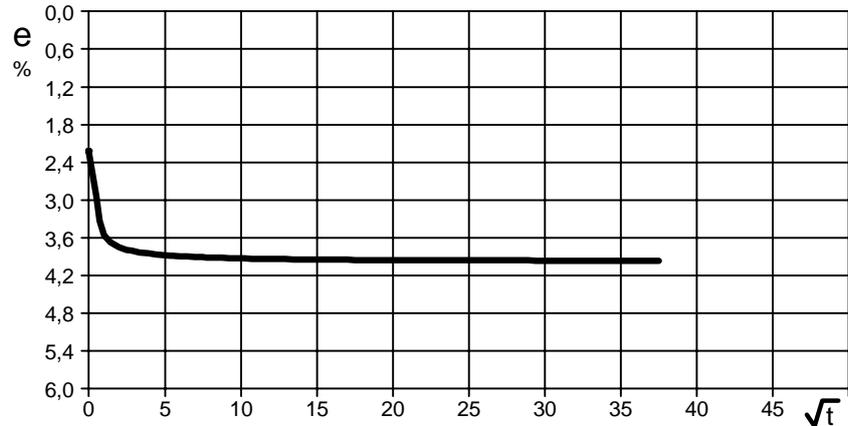
Pressione (kPa)	100
Altezza iniziale (cm)	2,000
Altezza finale (cm)	1,951
Sezione (cm <sup>2</sup> ):	36,00
T <sub>100</sub> (min)	37,3
Df (mm)	7
Vs (mm/min)	0,019



### Diagramma TEMPO - CEDIMENTO

#### PROVINO 2

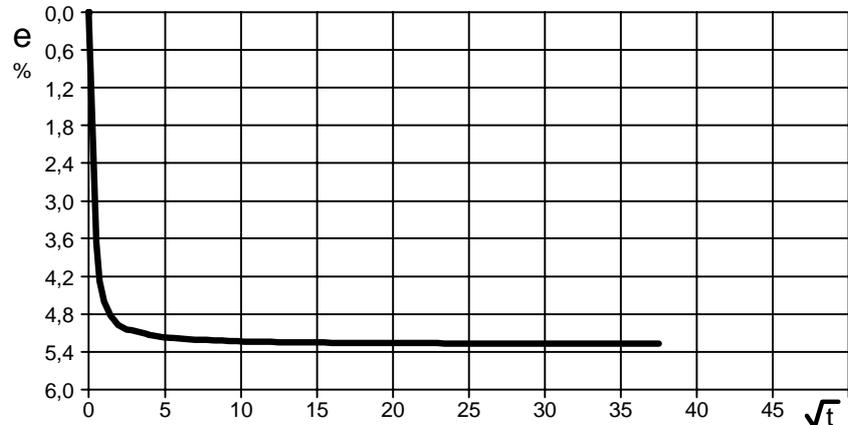
Pressione (kPa)	200
Altezza iniziale (cm)	2,000
Altezza finale (cm)	1,921
Sezione (cm <sup>2</sup> ):	36,00
T <sub>100</sub> (min)	35,1
Df (mm)	7
Vs (mm/min)	0,020



### Diagramma TEMPO - CEDIMENTO

#### PROVINO 3

Pressione (kPa)	300
Altezza iniziale (cm)	2,000
Altezza finale (cm)	1,895
Sezione (cm <sup>2</sup> ):	36,00
T <sub>100</sub> (min)	33,5
Df (mm)	7
Vs (mm/min)	0,021



Vs = Velocità stimata di prova    Df = Deformazione a rottura stimata

 $tf = 10 \times T_{100}$ 
 $Vs = Df / tf$

