

PROPONENTE

Repower Renewable Spa

Via Lavaredo, 44
30174 Mestre (VE)

PROJECT MANAGER : Dott.Giuseppe Caricato



PROGETTAZIONE



Tenproject Srl -via De Gasperi 61
82018 S.Giorgio del Sannio (BN)
t +39 0824 337144 - f +39 0824 493415
tenproject.it - info@tenproject.it

N° COMMESSA

1478

NUOVO PARCO EOLICO CASAMASSIMA "LOC. PARCO SAN NICOLA" e "VILLA ABBADO"
PROVINCIA DI BARI
COMUNI DI CASAMASSIMA - RUTIGLIANO - TURI

PROGETTO DEFINITIVO PER AUTORIZZAZIONE



RELAZIONE GEOTECNICA

CODICE ELABORATO

0.10

NOME FILE
1478-PD_A_0.10_REL_r00

REV.	DATA	DESCRIZIONE REVISIONE	REDATTO	VERIFICA	APPROVAZIONE
00	12/2021	PRIMA EMISSIONE	SC	NF	NF

	RELAZIONE GEOTECNICA	Codice Data creazione Data ultima modif. Revisione Pagina	GE.CSM01.PD.0.10 09/12/2021 14/12/2021 00 1 di 19
---	-----------------------------	---	---

INDICE

1	PREMESSA	2
2	NORMATIVA DI RIFERIMENTO	3
3	CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA	4
3.1	IDROGEOLOGIA	6
4	MODELLAZIONE GEOTECNICA E PERICOLOSITA' SISMICA DEL SITO	7
4.1	MODELLAZIONE GEOTECNICA FONDAZIONI SUPERFICIALI	7
4.2	PERICOLOSITÀ SISMICA	7
5	SCELTA TIPOLOGICA DELLE OPERE DI FONDAZIONE	9
6	VERIFICHE DI SICUREZZA FONDAZIONI SUPERFICIALI	9
6.1	CARICO LIMITE FONDAZIONI DIRETTE	10
6.1.1	CALCOLO DEI FATTORI N_C , N_Q , N_Γ	10
6.1.2	CALCOLO DEI FATTORI DI FORMA S_C , S_Q , S_Γ	11
6.1.3	CALCOLO DEI FATTORI DI PROFONDITÀ DEL PIANO DI POSA D_C , D_Q , D_Γ	11
6.1.4	CALCOLO DEI FATTORI DI INCLINAZIONE DEL CARICO I_C , I_Q , I_Γ	11
6.1.5	CALCOLO DEI FATTORI DI INCLINAZIONE DEL PIANO DI CAMPAGNA B_C , B_Q , B_Γ	12
6.1.6	CALCOLO DEI FATTORI DI INCLINAZIONE DEL PIANO DI POSA G_C , G_Q , G_Γ	12
6.1.7	CALCOLO DEI FATTORI DI RIDUZIONE PER ROTTURA A PUNZONAMENTO Ψ_C , Ψ_Q , Ψ_Γ	12
6.1.8	CORREZIONE PER FONDAZIONE TIPO PIASTRA	13
6.2	GRAFICI SINTETICI FONDAZIONI SUPERFICIALI	13

	RELAZIONE GEOTECNICA	Codice Data creazione Data ultima modif. Revisione Pagina	GE.CSM01.PD.0.10 09/12/2021 14/12/2021 00 2 di 19
---	-----------------------------	---	---

1 PREMESSA

Il progetto descritto nella presente relazione riguarda la realizzazione di un impianto eolico costituito da 7 aerogeneratori della potenza di 6 MW ciascuno, per una potenza di 42 MW, integrato con un sistema di accumulo con batterie agli ioni da 15,2 MW, per una potenza complessiva in immissione di 57,2 MW, da installare nei comuni di Rutigliano, Turi e Casamassima, in Provincia di Bari in località “Parco San Nicola” e “Villa Abbado”, con opere di connessione alla rete di trasmissione nazionale ricadenti nel comune di Casamassima in località “Patalino”.

Proponente dell’iniziativa è la società Repower Renewable SpA (anche solo Repower nel prosieguo).

Il sito di installazione degli aerogeneratori è ubicato tra i centri abitati di Casamassima, Rutigliano e Turi, dai quali gli aerogeneratori più prossimi distano rispettivamente 2,6 km, 4,2 km e 9 km.

Gli aerogeneratori sono collegati tra di loro mediante un cavidotto in media tensione interrato (detto “cavidotto interno”) che sarà posato sempre al di sotto di viabilità esistente.

Dall’aerogeneratore denominato A06 parte il tracciato del cavidotto in media tensione (detto “cavidotto esterno”) che percorre anch’esso viabilità esistente fino a raggiungere la stazione elettrica di trasformazione 30/150 kV di progetto (in breve SE di utenza). Il tracciato del cavidotto esterno è lungo poco meno di 10 km.

La SE di utenza, infine, è collegata in antenna a 150 kV alla sezione 150 kV della prevista stazione elettrica di trasformazione della RTN 380/150 kV di proprietà di Terna SpA (in breve SE Terna), da inserire in entra-esce alla linea 380 kV “Andria – Brindisi Sud ST” tramite raccordi aerei di lunghezza inferiore a 500 m.

La futura SE Terna in progetto sarà a servizio anche di altri impianti di produzione di energia elettrica, sia da fonte eolica che da fonte fotovoltaica, e costituirà un vero e proprio hub per la connessione degli impianti di produzione da fonte rinnovabile nell’area vasta di riferimento.

All’interno della stazione utente è prevista l’installazione di un sistema di accumulo di energia denominato BESS - Battery Energy Storage System, basato su tecnologia elettrochimica a ioni di litio, comprendente gli elementi di accumulo, il sistema di conversione DC/AC e il sistema di elevazione con trasformatore e quadro di interfaccia.

La presente relazione geotecnica riguarda la modellazione geotecnica del “volume significativo” che interessa i siti di realizzazione dell’impianto eolico. Questa relazione è stata redatta sulla base dei dati dalle indagini, i cui risultati sono evidenziati nella relazione “*Relazione geologica, geotecnica, idrogeomorfologica e sismica*” a firma del geologo Stefano Finamore.

 TENPROJECT	RELAZIONE GEOTECNICA	Codice Data creazione Data ultima modif. Revisione Pagina	GE.CSM01.PD.0.10 09/12/2021 14/12/2021 00 3 di 19
---	-----------------------------	---	---

2 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Le fasi di analisi e verifica della struttura sono state condotte in accordo alle seguenti disposizioni normative:

- **Legge 5 novembre 1971 n. 1086** (G. U. 21 dicembre 1971 n. 321)

“Norme per la disciplina delle opere di conglomerato cementizio armato, normale e precompresso ed a struttura metallica”.

- **Legge 2 febbraio 1974 n. 64** (G. U. 21 marzo 1974 n. 76)

“Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche”.

Indicazioni progettive per le nuove costruzioni in zone sismiche a cura del Ministero per la Ricerca scientifica

- Roma 1981.

- **D. M. Infrastrutture Trasporti 17/01/2018** (G.U. 20/02/2018 n. 42 - Suppl. Ord. n. 8)

“Aggiornamento delle Norme tecniche per le Costruzioni”.

Inoltre, in mancanza di specifiche indicazioni, ad integrazione della norma precedente e per quanto con esse non in contrasto, sono state utilizzate le indicazioni contenute nelle seguenti norme:

- **Circolare 21 gennaio 2019 n. 7 del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti** (G.U. 11 febbraio 2019 n. 35 – Suppl. Ord.)

“Istruzioni per l'applicazione delle 'Norme Tecniche delle Costruzioni' di cui al D.M. 17 gennaio 2018”.

- **Eurocodice 7 - “Progettazione geotecnica”** - EN 1997-1 per quanto non in contrasto con le disposizioni del D.M. 2018 *“Norme Tecniche per le Costruzioni”*.

	RELAZIONE GEOTECNICA	Codice	GE.CSM01.PD.0.10
		Data creazione	09/12/2021
		Data ultima modif.	14/12/2021
		Revisione	00
		Pagina	4 di 19

3 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

Come illustrato nella "Relazione geologica, geotecnica, idrogeomorfologica e sismica" (rif. Elaborato 1478-PD_A_0.2_REL_r00), la situazione litostratigrafica, geotecnica, geosismica ed idrogeologica dell'area oggetto di studio, è stata ricostruita sulla base dei dati da studi ed indagini geologiche condotti in aree adiacenti alla zona interessata da questo studio, dalle osservazioni dirette di campagna, opportunamente completate dai dati e delle notizie ricavati dalla cartografia ufficiale, dalla letteratura tecnico-scientifica e della banca dati del Servizio Geologico d'Italia.

Di seguito si riportano le proprietà geotecniche dei singoli terreni coinvolti e la stratigrafia di progetto:

Tabella 1 – Terreni area parco_Aerogeneratori A01-A02-A03-A04-A05-A06

Descrizione	γ [kN/mc]	γ_{sat} [kN/mc]	ϕ [°]	δ [°]	c [kPa]	ca [kPa]
1° complesso	18,000	18,000	20.00	13.33	10,0	5,0
2° complesso	24,100	24,100	52.50	35.00	1230,0	615,0

Simbologia adottata

Descrizione	terreno
γ	Peso di volume del terreno espresso in [kN/mc]
γ_{sat}	Peso di volume saturo del terreno espresso in [kN/mc]
ϕ	Angolo di attrito interno del terreno espresso in gradi
δ	Angolo di attrito palo-terreno espresso in gradi
c	Coesione del terreno espressa in [kPa]
ca	Adesione del terreno espressa in [kPa]

Tabella 2 – Stratigrafia area parco_ A01-A02-A03-A04-A05-A06

N	Z1 [m]	Z2 [m]	Z3 [m]	Terreno
1	-0,4	-0,4	-0,4	1° complesso
2	-60,0	-60,0	-60,0	2° complesso

Simbologia adottata

N	Identificativo strato
Z1	Quota dello strato in corrispondenza del punto di sondaggio n°1 espressa in [m]
Z2	Quota dello strato in corrispondenza del punto di sondaggio n°2 espressa in [m]
Z3	Quota dello strato in corrispondenza del punto di sondaggio n°3 espressa in [m]
Terreno	Terreno associato allo strato

Tabella 3 – Terreni area parco_Aerogeneratori A07

Descrizione	γ [kN/mc]	γ_{sat} [kN/mc]	ϕ [°]	δ [°]	c [kPa]	ca [kPa]
1° complesso	16,000	16,000	20.00	13.33	10,0	5,0
2° complesso	17,000	17,000	30.00	20.00	20,0	10,0
3° complesso	19,000	19,000	38.00	25.33	35,0	17,5

Simbologia adottata

Descrizione	Terreno
γ	Peso di volume del terreno espresso in [kN/mc]
γ_{sat}	Peso di volume saturo del terreno espresso in [kN/mc]
ϕ	Angolo di attrito interno del terreno espresso in gradi
δ	Angolo di attrito palo-terreno espresso in gradi
c	Coesione del terreno espressa in [kPa]
ca	Adesione del terreno espressa in [kPa]

	RELAZIONE GEOTECNICA	Codice	GE.CSM01.PD.0.10
		Data creazione	09/12/2021
		Data ultima modif.	14/12/2021
		Revisione	00
		Pagina	5 di 19

Tabella 4 – Stratigrafia area parco_Aerogeneratori A07

N	Z1 [m]	Z2 [m]	Z3 [m]	Terreno
1	-0,4	-0,4	-0,4	1° complesso
2	-3,0	-3,0	-3,0	2° complesso
3	-50,0	-50,0	-50,0	3° complesso

Simbologia adottata

N	Identificativo strato
Z1	Quota dello strato in corrispondenza del punto di sondaggio n°1 espressa in [m]
Z2	Quota dello strato in corrispondenza del punto di sondaggio n°2 espressa in [m]
Z3	Quota dello strato in corrispondenza del punto di sondaggio n°3 espressa in [m]
Terreno	Terreno associato allo strato

Tabella 5 – Terreni area sottostazione

N _{TRN}	γ _T	K1			φ	c _u	c'	E _d	E _{cu}	A _{S-B}
		K _{1X}	K _{1Y}	K _{1Z}						
	[N/m ³]	[N/cm ³]	[N/cm ³]	[N/cm ³]	[°]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	
complesso 1										
T001	16.000	8	8	25	20	0,030	0,010	1	1	0,000
complesso 2										
T002	17.000	10	10	30	30	0,050	0,020	1	1	0,000
complesso 3										
T003	19.000	16	16	50	38	0,000	0,000	25.000	0	0,000

LEGENDA:

N _{TRN}	Numero identificativo del terreno.
γ _T	Peso specifico del terreno.
K1	Valori della costante di Winkler riferita alla piastra Standard di lato b = 30 cm nelle direzioni degli assi del riferimento globale X (K _{1X}), Y (K _{1Y}), e Z (K _{1Z}).
φ	Angolo di attrito del terreno.
c _u	Coesione non drenata.
c'	Coesione efficace.
E _d	Modulo edometrico.
E _{cu}	Modulo elastico in condizione non drenate.
A _{S-B}	Parametro "A" di Skempton-Bjerrum per pressioni interstiziali.

Tabella 6 – Stratigrafia area sottostazione

N _{TRN}	Q _i [m]	Q _f [m]	Cmp. S.	Add	ΔEd
T001	0,00	-0,40	coerente	sciolto	nulla
T002	-0,40	-3,00	incoerente	sciolto	nulla
T003	-3,00	INF	incoerente	denso	nulla

LEGENDA:

N _{TRN}	Numero identificativo della stratigrafia.
Q _i	Quota iniziale dello strato (riferito alla quota iniziale della stratigrafia).
Q _f	Quota finale dello strato (riferito alla quota iniziale della stratigrafia). INF = infinito (profondità dello strato finale).
Cmp. S.	Comportamento dello strato.
Add	Addensamento dello strato.
ΔEd	Variazione con la profondità del modulo edometrico.

NB: Nel caso di fondazioni dirette con stratigrafia, il calcolo del carico limite (q_{lim}) viene fatto su un terreno "equivalente" con parametri geotecnici calcolati come media pesata degli strati compresi tra la quota del piano di posa e la quota della profondità "significativa" (stabilita come "Multiplo della dimensione Significativa della fondazione").

$$\text{Parametro "J"} = \frac{\sum_i^n [\text{Parametro "J"} (\text{strato}, i) \cdot \text{Spessore} (\text{strato}, i)]}{\text{Profondità significativa}}$$

con i = 1, ..., n (numero di strati compresi tra la quota del piano di posa e la quota della profondità significativa).

 TENPROJECT	RELAZIONE GEOTECNICA	Codice Data creazione Data ultima modif. Revisione Pagina	GE.CSM01.PD.0.10 09/12/2021 14/12/2021 00 6 di 19
---	-----------------------------	---	---

Come specificato nella “*Relazione geologica, geotecnica, idrogeomorfologica e sismica*” (rif. Elaborato 1478-PD_A_0.2_REL_r00) verrà effettuato un dettagliato e puntuale piano di indagini in campo e di laboratorio che permetterà una caratterizzazione di ancora maggior dettaglio sui parametri geotecnici e quindi un’ottimizzazione sulla progettazione delle opere fondali.

3.1 Idrogeologia

Le indicazioni riportate nella “*Relazione geologica, geotecnica, idrogeomorfologica e sismica*” (rif. 1478-PD_A_0.2_REL_r00) evidenziano che sia nell’area parco che nell’area stazione, la falda si attesta a profondità variabile tra i 50 m e i 300 m dal piano campagna.

	RELAZIONE GEOTECNICA	Codice	GE.CSM01.PD.0.10
		Data creazione	09/12/2021
		Data ultima modif.	14/12/2021
		Revisione	00
		Pagina	7 di 19

4 MODELLAZIONE GEOTECNICA E PERICOLOSITA' SISMICA DEL SITO

Ai fini della determinazione dell'azione sismica come evidenziato nella "Relazione geologica, geotecnica, idrogeomorfologica e sismica" sono stati adoperati i risultati di indagini sismiche pregresse, dalle quali risultano valori di V_{seq} tali che permettono di classificare i profili stratigrafici nelle seguenti categorie:

- **A [A - Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi]** – area sottostazione, area parco aerogeneratori A01, A02, A03, A05, A06, A07;
- **B [B - Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s]** – area parco aerogeneratore A04.

4.1 Modellazione geotecnica fondazioni superficiali

Ai fini del calcolo strutturale, il terreno sottostante l'opera viene modellato secondo lo schema di Winkler, cioè un sistema costituito da un letto di molle elastiche mutuamente indipendenti. Ciò consente di ricavare le rigidezze offerte dai manufatti di fondazione, siano queste profonde o superficiali, che sono state introdotte direttamente nel modello strutturale per tener conto dell'interazione opera/terreno.

La modellazione del suolo come letto di molle alla Winkler prevede la definizione delle costanti di sottofondo del terreno che vengono definite tramite la seguente espressione:

$$K = c \cdot K_1;$$

dove:

K_1 = costante di Winkler del terreno riferita alla piastra standard di lato $b = 30$ cm (i valori assunti sono definiti sulla base di letteratura ufficiale (Rif. *Fondazioni C. Viggiani, 2003*);

c = coefficiente di correzione, funzione del comportamento del terreno e della particolare geometria degli elementi di fondazione. Nel caso di "Riduzione Automatica" è dato dalle successive espressioni (Rif. *Evaluation of coefficients of subgrade reaction K. Terzaghi, 1955 p. 315*):

$$c = \left[\frac{(B + b)}{2 \cdot B} \right]^2 \quad \text{per terreni incoerenti}$$

$$c = \left(\frac{L/B + 0,5}{1,5 \cdot L/B} \right) \cdot \frac{b}{B} \quad \text{per terreni coerenti}$$

Essendo:

$b = 0,30$ m, dimensione della piastra standard;

L = lato maggiore della fondazione;

B = lato minore della fondazione.

4.2 Pericolosità sismica

Ai fini della pericolosità sismica sono stati analizzati i dati relativi alla sismicità dell'area di interesse e ad eventuali effetti di amplificazione stratigrafica e topografica. Si sono tenute in considerazione anche la classe

	RELAZIONE GEOTECNICA	Codice	GE.CSM01.PD.0.10
		Data creazione	09/12/2021
		Data ultima modif.	14/12/2021
		Revisione	00
		Pagina	8 di 19

delle opere e la vita nominale, in particolare è stata considerata una **Vita Nominale** pari a **100** e per **Classe d'Uso** pari a **4**.

Per tale caratterizzazione si riportano di seguito i dati di pericolosità come da normativa:

Tabella 7 - Parametri pericolosità area stazione

SLATO LIMITE	T_R [anni]	a_g [g]	F_o [-]	T_C [s]
SLO	120	0,043	2,524	0,359
SLD	201	0,050	2,573	0,419
SLV	1898	0,099	2,775	0,557
SLC	2475	0,106	2,816	0,562

Tabella 8 - Parametri pericolosità area stazione

SLATO LIMITE	T_R [anni]	a_g [g]	F_o [-]	T_C [s]
SLO	120	0,046	2,530	0,359
SLD	201	0,054	2,598	0,416
SLV	1898	0,109	2,765	0,555
SLC	2475	0,118	2,778	0,564

	RELAZIONE GEOTECNICA	Codice	GE.CSM01.PD.0.10
		Data creazione	09/12/2021
		Data ultima modif.	14/12/2021
		Revisione	00
		Pagina	9 di 19

5 SCELTA TIPOLOGICA DELLE OPERE DI FONDAZIONE

La tipologia delle opere di fondazione sono consone alle caratteristiche meccaniche del terreno ed alle azioni agenti sulle strutture. Per il progetto in esame sono previste **fondazioni dirette** per le fondazioni delle turbine eoliche e per le opere di stazione.

6 VERIFICHE DI SICUREZZA FONDAZIONI SUPERFICIALI

Nelle verifiche allo stato limite ultimo deve essere rispettata la condizione:

$$E_d \leq R_d$$

dove:

E_d è il valore di progetto dell'azione o dell'effetto dell'azione;

R_d è il valore di progetto della resistenza del sistema geotecnico.

Le verifiche strutturali e geotecniche delle fondazioni, sono state effettuate con l'**Approccio 2** come definito al §2.6.1 del D.M. 2018, attraverso la combinazione **A1+M1+R3**. Le azioni sono state amplificate tramite i coefficienti della colonna A1 (STR) definiti nella tabella 6.2.I del D.M. 2018.

Tabella 9 - Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni - Tabella 6.2.I del D.M. 2018

CARICHI	EFFETTO	Coefficiente parziale γ_F (o γ_E)	A1 (STR)	A2 (GEO)
Carichi permanenti G_1	Favorevole	γ_{G1}	1,00	1,00
	Sfavorevole		1,30	1,00
Carichi permanenti G_2	Favorevole	γ_{G2}	0,80	0,80
	Sfavorevole		1,50	1,30
Azioni variabili Q	Favorevole	γ_{Qi}	0,00	0,00
	Sfavorevole		1,50	1,30

I valori di resistenza del terreno sono stati ridotti tramite i coefficienti della colonna M1 definiti nella tabella 6.2.II del D.M. 2018.

Tabella 10 - Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno - Tabella 6.2.II del D.M. 2018

PARAMETRO GEOTECNICO	Grandezza alla quale applicare il coefficiente parziale	Coefficiente parziale γ_M	M1	M2
Tangente dell'angolo di resistenza a taglio	$\tan \phi_k$	$\gamma_{\phi'}$	1,00	1,25
Coesione efficace	c'_k	$\gamma_{c'}$	1,00	1,25
Resistenza non drenata	c_{uk}	γ_{cu}	1,00	1,40
Peso dell'unità di volume	γ_γ	γ_γ	1,00	1,00

I valori calcolati delle resistenze totali dell'elemento strutturale sono stati divisi per i coefficienti R3 della tabella 6.4.I del D.M. 2018 per le fondazioni superficiali.

Tabella 11 - Coefficienti parziali γ_R per le verifiche agli stati limite ultimi di fondazioni superficiali - Tabella 6.4.I del D.M. 2018

Verifica	Coefficiente Parziale (R3)
Carico limite	$\gamma_R = 2,3$
Scorrimento	$\gamma_R = 1,1$

Per le varie tipologie di fondazioni sono di seguito elencate le metodologie ed i modelli usati per il calcolo del carico limite ed i risultati di tale calcolo.

	RELAZIONE GEOTECNICA	Codice	GE.CSM01.PD.0.10
		Data creazione	09/12/2021
		Data ultima modif.	14/12/2021
		Revisione	00
		Pagina	10 di 19

6.1 Carico limite fondazioni dirette

La formula del carico limite esprime l'equilibrio fra il carico applicato alla fondazione e la resistenza limite del terreno. Il carico limite è dato dalla seguente espressione:

$$q_{lim} = c \cdot N_c \cdot s_c \cdot d_c \cdot i_c \cdot g_c \cdot b_c \cdot \Psi_c + q \cdot N_q \cdot s_q \cdot d_q \cdot i_q \cdot g_q \cdot b_q \cdot \Psi_q + \frac{B'}{2} \cdot \gamma_f \cdot N_\gamma \cdot s_\gamma \cdot d_\gamma \cdot i_\gamma \cdot g_\gamma \cdot b_\gamma \cdot \Psi_\gamma \cdot r_\gamma$$

in cui:

c = coesione del terreno al disotto del piano di posa della fondazione;

$q = \gamma \cdot D$ = pressione geostatica in corrispondenza del piano di posa della fondazione;

γ = peso unità di volume del terreno al di sopra del piano di posa della fondazione;

D = profondità del piano di posa della fondazione;

B' = larghezza ridotta della suola di fondazione (vedi **NB**);

L = lunghezza della fondazione;

γ_f = peso unità di volume del terreno al disotto del piano di posa della fondazione;

N_c, N_q, N_γ = fattori di capacità portante;

s, d, i, g, b, Ψ, r = coefficienti correttivi.

NB: Se la risultante dei carichi verticali è eccentrica, B e L saranno ridotte rispettivamente di:

$$B' = B - 2 \cdot e_B$$

e_B = eccentricità parallela al lato di dimensione B ;

$$L' = L - 2 \cdot e_L$$

e_L = eccentricità parallela al lato di dimensione L ;

con $B' \leq L'$.

dove:

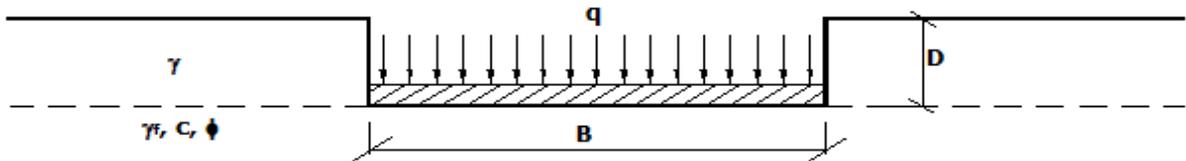


Figura 1 - schematizzazione impostazione di calcolo del carico limite

6.1.1 Calcolo dei fattori N_c, N_q, N_γ

Tabella 12 - fattori correttivi formula del carico limite

Terreni puramente coesivi ($c \neq 0, \phi = 0$)		Terreni dotati di attrito e coesione ($c \neq 0, \phi \neq 0$)	
$N_c = 2 + \pi$		$N_c = (N_q - 1) \cdot \cot \phi$	
$N_q = 1$		$N_q = K_p \cdot e^{\pi \cdot \tan \phi}$	
$N_\gamma = 0$	se $\omega = 0$	$N_\gamma = 2 \cdot (N_q + 1) \cdot \tan \phi$	
$N_\gamma = -2 \cdot \sin \omega$	se $\omega \neq 0$		

dove:

$k_p = \tan^2 \left(45 + \frac{\phi}{2} \right)$ è il coefficiente di spinta passiva di Rankine;

ϕ = angolo di attrito del terreno al disotto del piano di posa della fondazione;

ω = angolo di inclinazione del piano campagna.

	RELAZIONE GEOTECNICA	Codice	GE.CSM01.PD.0.10
		Data creazione	09/12/2021
		Data ultima modif.	14/12/2021
		Revisione	00
		Pagina	11 di 19

6.1.2 Calcolo dei fattori di forma s_c , s_q , s_y

Tabella 13 - fattori correttivi formula del carico limite

Terreni puramente coesivi ($c \neq 0, \phi = 0$)	Terreni dotati di attrito e coesione ($c \neq 0, \phi \neq 0$)
$s_c = 1 + \frac{B'}{(2 + \pi) \cdot L'}$	$s_c = 1 + \frac{N_q \cdot B'}{N_c \cdot L'}$
$s_q = 1$	$s_q = 1 + \frac{B'}{L'} \cdot \tan \phi$
$s_y = 1 - 0.40 \cdot \frac{B'}{L'}$	$s_y = 1 - 0.40 \cdot \frac{B'}{L'}$

con $B'/L' < 1$.

6.1.3 Calcolo dei fattori di profondità del piano di posa d_c , d_q , d_y

Si definisce il seguente parametro:

$$K = \frac{D}{B'} \quad \text{se} \quad \frac{D}{B'} \leq 1;$$

$$K = \arctg\left(\frac{D}{B'}\right) \quad \text{se} \quad \frac{D}{B'} > 1.$$

Tabella 14 - fattori correttivi formula del carico limite

Terreni puramente coesivi ($c \neq 0, \phi = 0$)	Terreni dotati di attrito e coesione ($c \neq 0, \phi \neq 0$)
$d_c = 1 + 0,4 \cdot K$	$d_c = d_q - \frac{1 - d_q}{N_c \cdot \tan \phi}$
$d_q = 1$	$d_q = 1 + 2 \cdot \tan \phi (1 - \sin \phi)^2 \cdot K$
$d_y = 1$	$d_y = 1$

6.1.4 Calcolo dei fattori di inclinazione del carico i_c , i_q , i_y

Si definisce il seguente parametro:

$$m = m_B = \frac{2 + B/L}{1 + B/L} \quad \text{se la forza H è parallela alla direzione trasversale della fondazione}$$

$$m = m_L = \frac{2 + L/B}{1 + L/B} \quad \text{se la forza H è parallela alla direzione longitudinale della fondazione}$$

$$m = m_\theta = m_L \cdot \cos^2 \theta + m_B \cdot \sin^2 \theta \quad \text{se la forza H forma un angolo } \theta \text{ con la direzione longitudinale della fondazione}$$

Tabella 15 - fattori correttivi formula del carico limite

Terreni coesivi ($c \neq 0, \phi = 0$)	Terreni incoerenti ($c = 0, \phi \neq 0$)	Terreni dotati di attrito e coesione ($c \neq 0, \phi \neq 0$)
$i_c = 1 - \frac{m \cdot H}{c \cdot N_c \cdot B \cdot L}$	$i_c = 0$	$i_c = i_q - \frac{1 - i_q}{N_c \cdot \tan \phi}$
$i_q = 1$	$i_q = \left(1 - \frac{H}{V}\right)^m$	$i_q = \left(1 - \frac{H}{V + B \cdot L \cdot c \cdot \cot \phi}\right)^m$
$i_y = 0$	$i_y = \left(1 - \frac{H}{V}\right)^{m+1}$	$i_y = \left(1 - \frac{H}{V + B \cdot L \cdot c \cdot \cot \phi}\right)^{m+1}$

dove:

H = componente orizzontale dei carichi agente sul piano di posa della fondazione;

V = componente verticale dei carichi agente sul piano di posa della fondazione.

6.1.5 Calcolo dei fattori di inclinazione del piano di campagna bc, bq, by

Indicando con ω la pendenza del piano campagna, si ha:

Tabella 16 - fattori correttivi formula del carico limite

Terreni puramente coesivi ($c \neq 0, \phi = 0$)	Terreni dotati di attrito e coesione ($c \neq 0, \phi \neq 0$)
$b_c = 1 - \frac{2 \cdot \omega}{(2 + \pi)}$	$b_c = b_q - \frac{1 - b_q}{N_c \cdot \tan \phi}$
$b_q = (1 - \tan \omega)^2 \cdot \cos \omega$	$b_q = (1 - \tan \omega)^2 \cdot \cos \omega$
$b_\gamma = b_q / \cos \omega$	$b_\gamma = b_q / \cos \omega$

Per poter applicare tali coefficienti correttivi deve essere verificata la seguente condizione:

$$\omega < \phi; \quad \omega < 45^\circ.$$

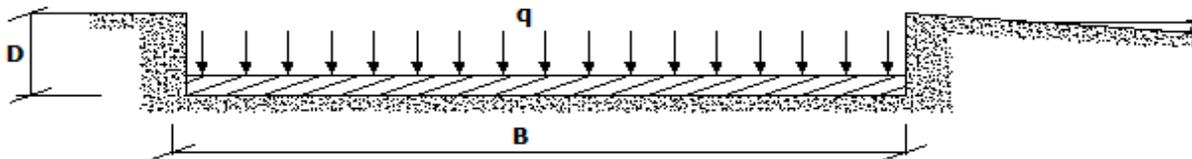


Figura 2 - schematizzazione impostazione di calcolo del carico limite

6.1.6 Calcolo dei fattori di inclinazione del piano di posa gc, gq, gy

Indicando con ε la pendenza del piano di posa della fondazione, si ha:

Tabella 17 - fattori correttivi formula del carico limite

Terreni puramente coesivi ($c \neq 0, \phi = 0$)	Terreni dotati di attrito e coesione ($c \neq 0, \phi \neq 0$)
$g_c = 1 - \frac{2 \cdot \varepsilon}{(2 + \pi)}$	$g_c = g_q - \frac{1 - g_q}{N_c \cdot \tan \phi}$
$g_q = 1$	$g_q = (1 - \varepsilon \cdot \tan \phi)^2$
$g_\gamma = 1$	$g_\gamma = g_q$

Per poter applicare tali coefficienti correttivi deve essere verificata la seguente condizione:

$$\varepsilon < 45^\circ$$

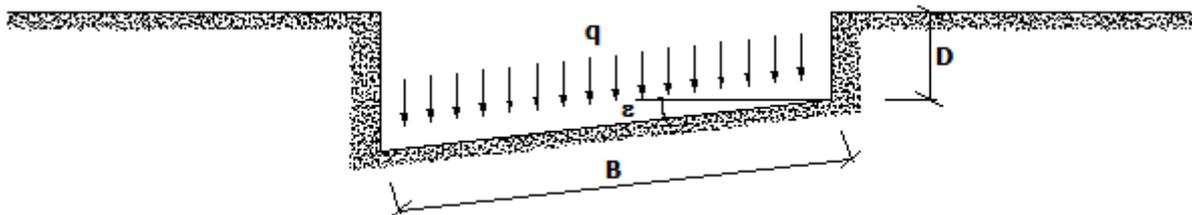


Figura 3 - schematizzazione impostazione di calcolo del carico limite

6.1.7 Calcolo dei fattori di riduzione per rottura a punzonamento $\Psi_c, \Psi_q, \Psi_\gamma$

Si definisce l'indice di rigidità del terreno come:

$$I_r = \frac{G}{c + \sigma \cdot \tan \phi}$$

	RELAZIONE GEOTECNICA	Codice	GE.CSM01.PD.0.10
		Data creazione	09/12/2021
		Data ultima modif.	14/12/2021
		Revisione	00
		Pagina	13 di 19

dove:

$$G = \frac{E}{2 \cdot (1 + \nu)} = \text{modulo d'elasticità tangenziale del terreno};$$

E= modulo elastico del terreno (nei calcoli è utilizzato il modulo edometrico);

ν = modulo di Poisson. Sia in condizioni non drenate che drenate è assunto pari a 0,5 (a vantaggio di sicurezza);

σ = tensione litostatica alla profondità D+B/2.

La rottura a punzonamento si verifica quando i coefficienti di punzonamento Ψ_c , Ψ_q , Ψ_γ sono inferiori all'unità; ciò accade quando l'indice di rigidezza I_r si mantiene inferiore al valore critico:

$$I_r < I_{r,crit} = \frac{1}{2} \cdot e^{\left[\left(3.3 - 0.45 \frac{B}{L} \right) \cdot \cot \left(45 - \frac{\phi}{2} \right) \right]}$$

Tabella 18 - fattori correttivi formula del carico limite

Terreni puramente coesivi ($c \neq 0, \phi = 0$)	Terreni dotati di attrito e coesione ($c \neq 0, \phi \neq 0$)
$\Psi_c = 0.32 + 0.12 \cdot \frac{B'}{L'} + 0.6 \cdot \text{Log}(I_r)$	$\Psi_c = \Psi_q \cdot \frac{1 - \Psi_q}{N_c \cdot \tan \phi}$
$\Psi_q = 1$	$\Psi_q = e^{\left\{ \left(0.6 \frac{B'}{L'} - 4.4 \right) \tan \phi + \frac{3.07 \cdot \sin \phi \cdot \text{Log}(2 \cdot I_r)}{1 + \sin \phi} \right\}}$
$\Psi_\gamma = 1$	$\Psi_\gamma = \Psi_q$

6.1.8 Correzione per fondazione tipo piastra

Bowles, al fine di limitare il contributo del termine “ $B \cdot N_\gamma$ ”, che per valori elevati di B porterebbe ad ottenere valori del carico limite prossimi a quelli di una fondazione profonda, propone il seguente fattore di riduzione r_γ :

$$r_\gamma = 1 - 0.25 \cdot \text{Log}(B/2) \quad \text{con } B \geq 2 \text{ m}$$

Nella tabella sottostante sono riportati una serie di valori del coefficiente r_γ al variare della larghezza dell'elemento di fondazione.

Tabella 19 - fattori correttivi formula del carico limite

B [m]	2	2.5	3	3.5	4	5	10	20	100
r_γ	1,00	0,97	0,95	0,93	0,92	0,90	0,82	0,75	0,57

Questo coefficiente assume particolare importanza per fondazioni larghe con rapporto D/B basso, caso nel quale il termine “ $B \cdot N_\gamma$ ” è predominante.

6.2 Grafici sintetici fondazioni superficiali

Di seguito i risultati maggiormente significativi per le fondazioni superficiali, riportati i risultati sotto forma di tabelle o grafici sintetici:

Tabella 20 - carico limite A01-A02-A03-A04-A05-A06

Ic	N [kN]	Np [kN]	Qu [kN]	Qup [kN]	Qd [kN]	Nt [kN]	FS
2	60101,14	0,00	30368499,39	0,00	13203695,39	60101,14	219.691 (2)

Simbologia adottata

Ic Indice combinazione

N Carico verticale trasmesso al terreno, espresso in [kN]

Ten Project

Sede legale ed operativa: Via A. De Gasperi 61 - 82018 San Giorgio del Sannio (BN) - Sede Operativa: Via Alfonso la Cava 114 - 71036 Lucera (FG)

	RELAZIONE GEOTECNICA	Codice	GE.CSM01.PD.0.10
		Data creazione	09/12/2021
		Data ultima modif.	14/12/2021
		Revisione	00
		Pagina	14 di 19

- Np Carico verticale trasmesso ai pali, espresso in [kN]
 Qu Portanza ultima terreno, espressa in [kN]
 Qup Portanza ultima pali, espressa in [kN]. Solo per fondazione mista
 Qd Portanza di progetto $((Pu+Pup)/\eta)$, espressa in [kN]
 Nt Carico verticale trasmesso al terreno $(N+Np)$, espresso in [kN]
 FS Fattore di sicurezza a carico limite (Pd/Nt) . Tra parentesi viene riportato l'indice della combinazione con fattore di sicurezza minimo.

Tabella 21 - carico limite A07

Ic	N [kN]	Np [kN]	Qu [kN]	Qup [kN]	Qd [kN]	Nt [kN]	FS
2	53622,31	0,00	800589,45	0,00	348082,37	53622,31	6.491 (2)

Simbologia adottata

- Ic Indice combinazione
 N Carico verticale trasmesso al terreno, espresso in [kN]
 Np Carico verticale trasmesso ai pali, espresso in [kN]
 Qu Portanza ultima terreno, espressa in [kN]
 Qup Portanza ultima pali, espressa in [kN]. Solo per fondazione mista
 Qd Portanza di progetto $((Pu+Pup)/\eta)$, espressa in [kN]
 Nt Carico verticale trasmesso al terreno $(N+Np)$, espresso in [kN]
 FS Fattore di sicurezza a carico limite (Pd/Nt) . Tra parentesi viene riportato l'indice della combinazione con fattore di sicurezza minimo.

Geotecnica

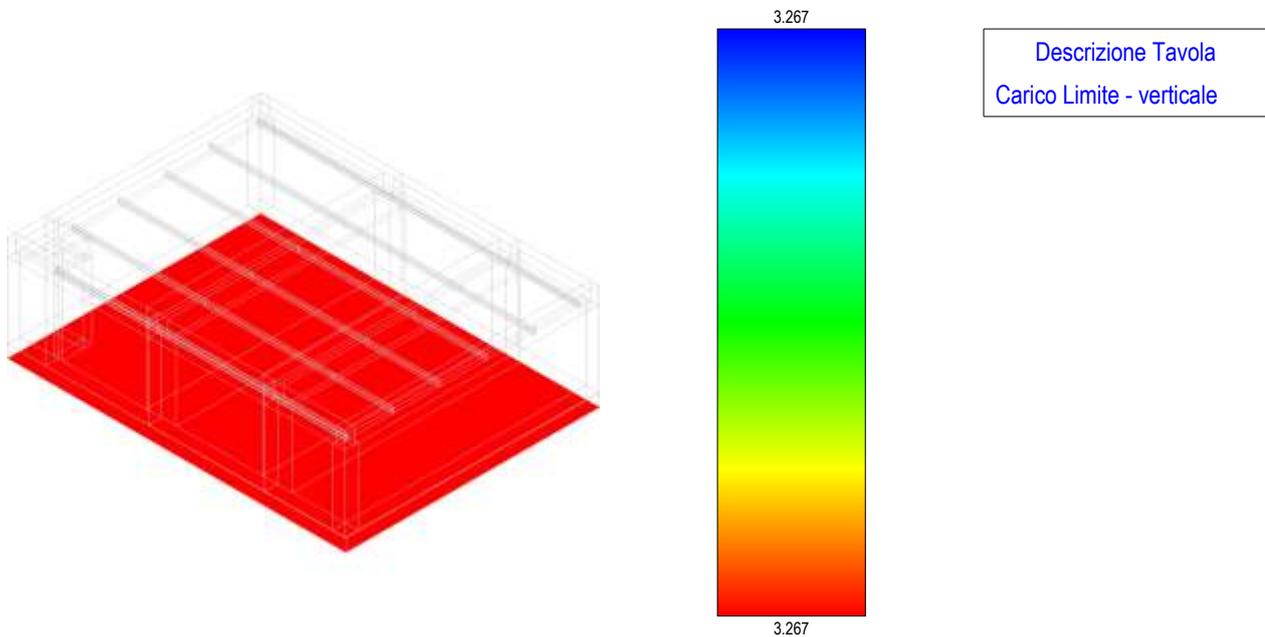


Figura 4 - carico limite – fondazione trasformatore

Geotecnica

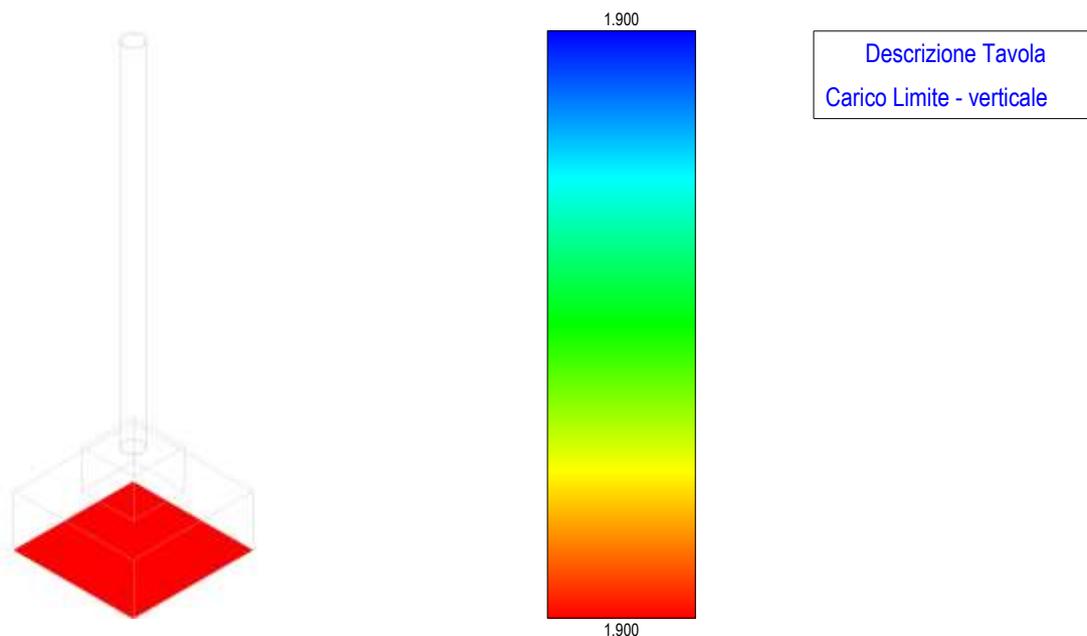


Figura 5 - carico limite – fondazione scaricatore

Geotecnica

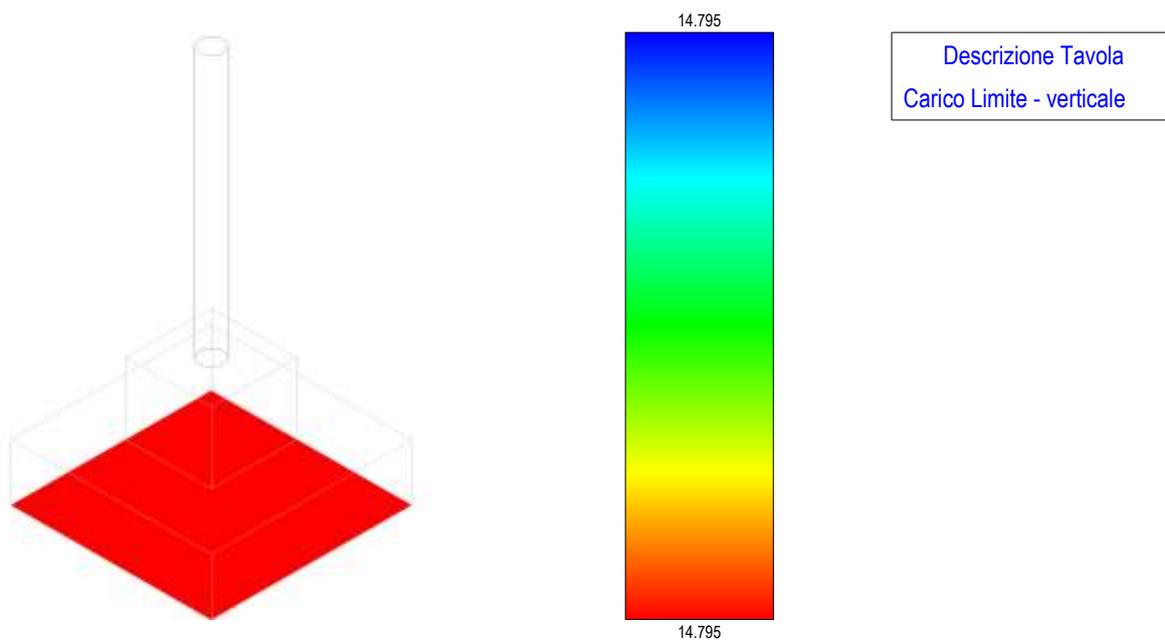


Figura 6 - carico limite – fondazione TVC

Geotecnica

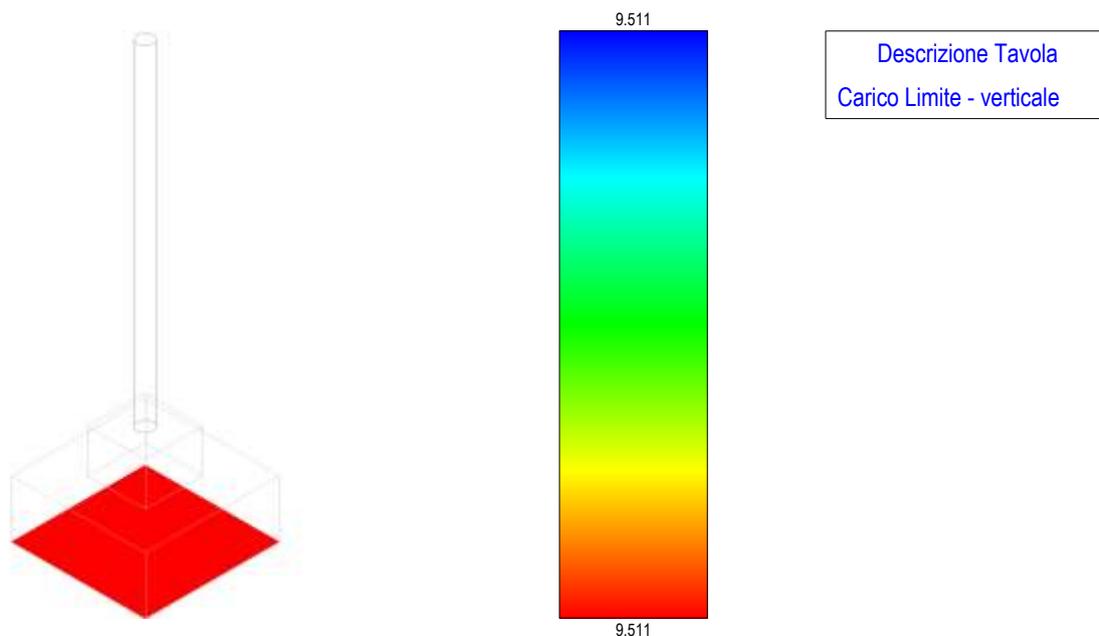


Figura 7 - carico limite – fondazione TVI

Geotecnica

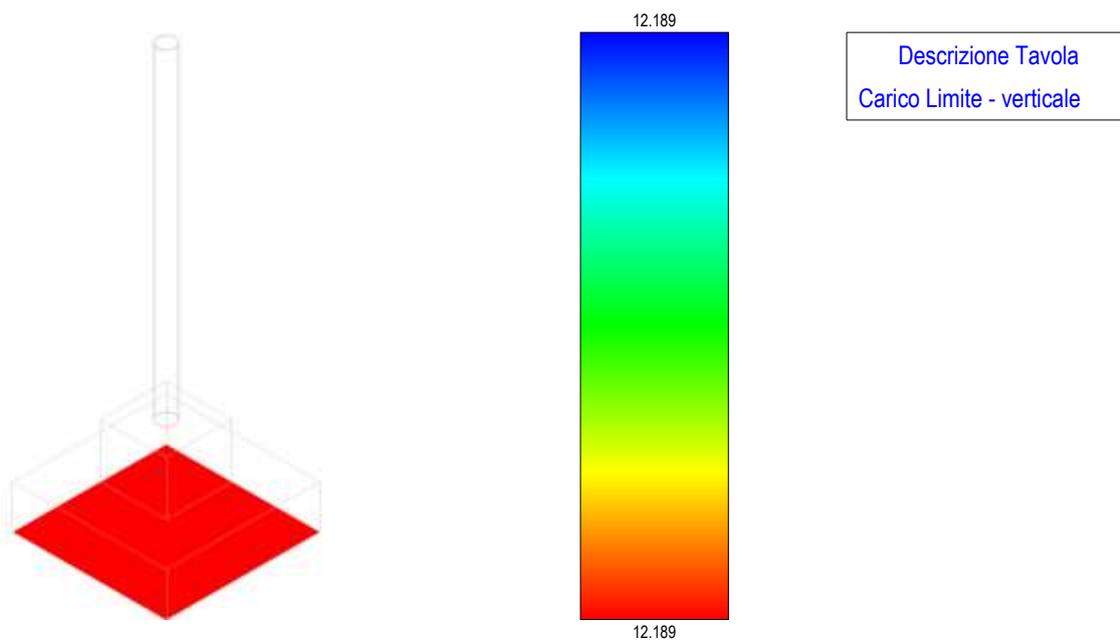


Figura 8 - carico limite – fondazione TA

Geotecnica

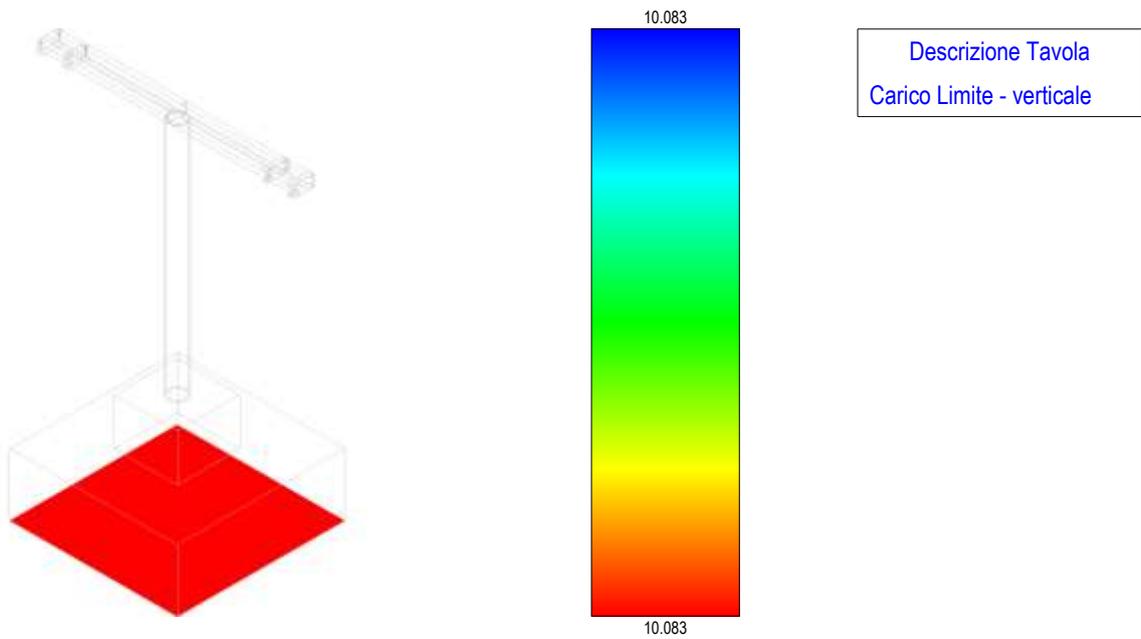


Figura 9 - carico limite – fondazione terminale cavo AT

Geotecnica

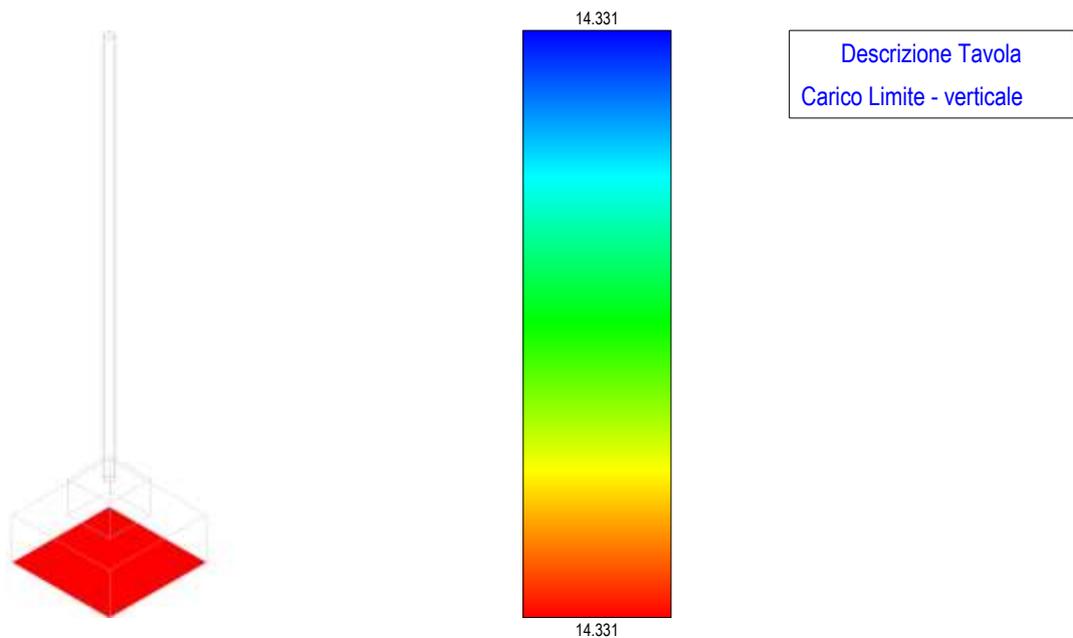


Figura 10 - carico limite – fondazione M.A.T. neutro

	RELAZIONE GEOTECNICA	Codice Data creazione Data ultima modif. Revisione Pagina	GE.CSM01.PD.0.10 09/12/2021 14/12/2021 00 18 di 19
---	-----------------------------	---	--

Geotecnica

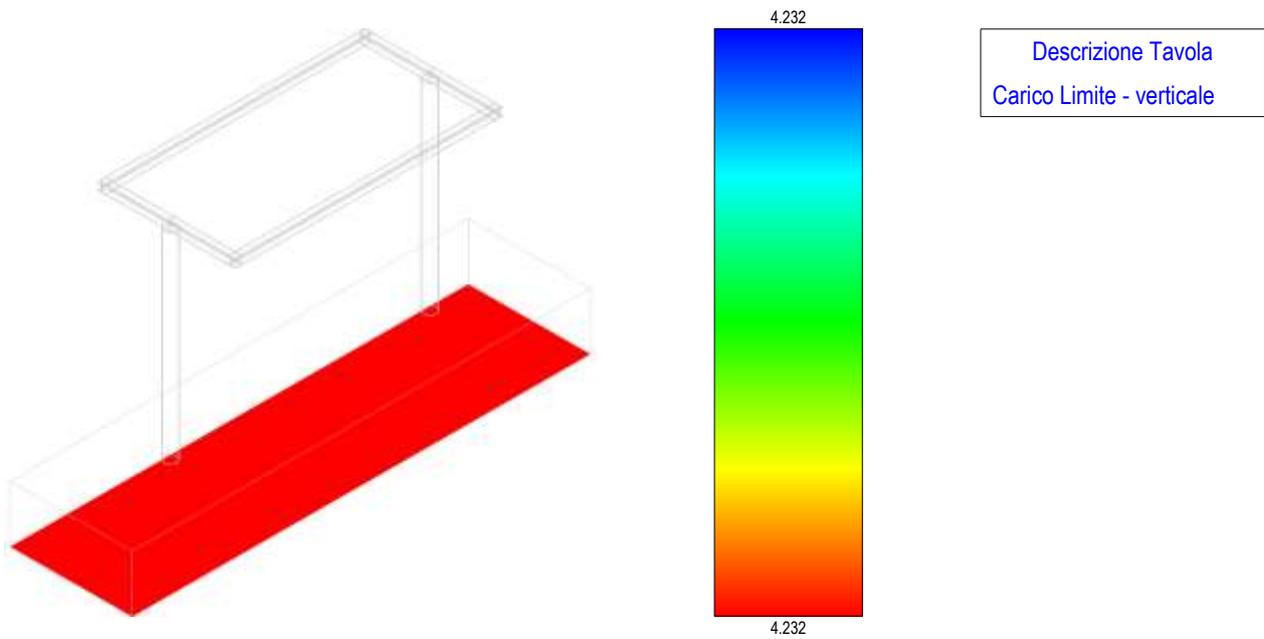


Figura 11 - carico limite – fondazione sezionatore

Geotecnica

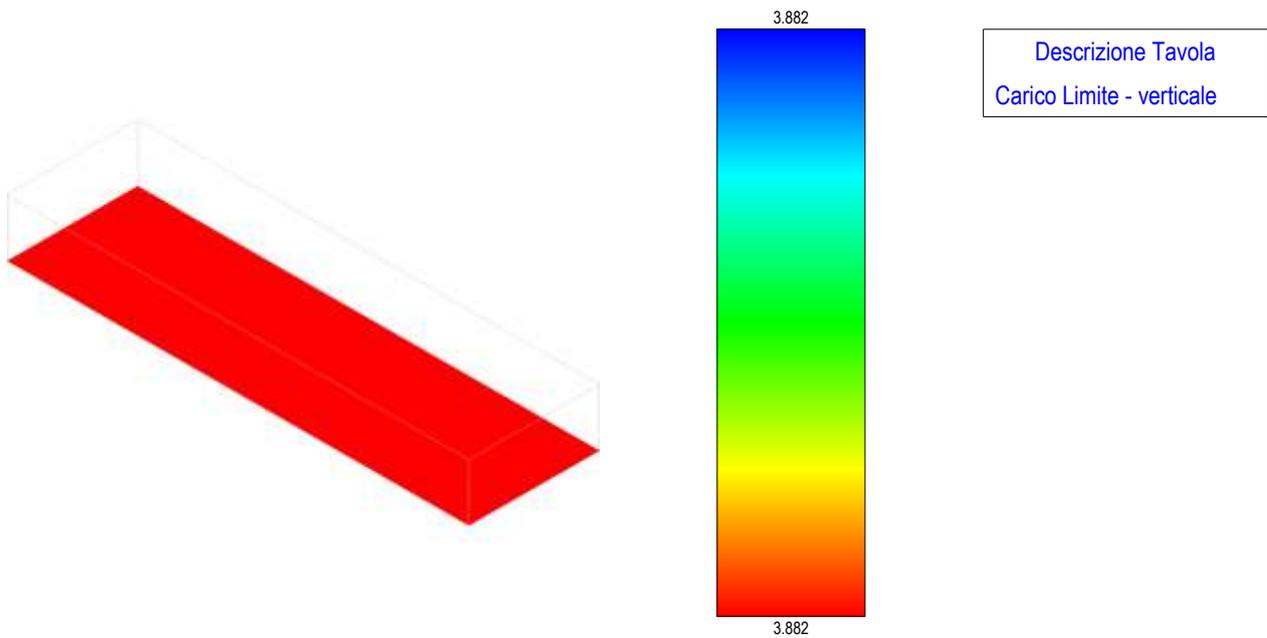


Figura 12 - carico limite – fondazione interruttore

Geotecnica

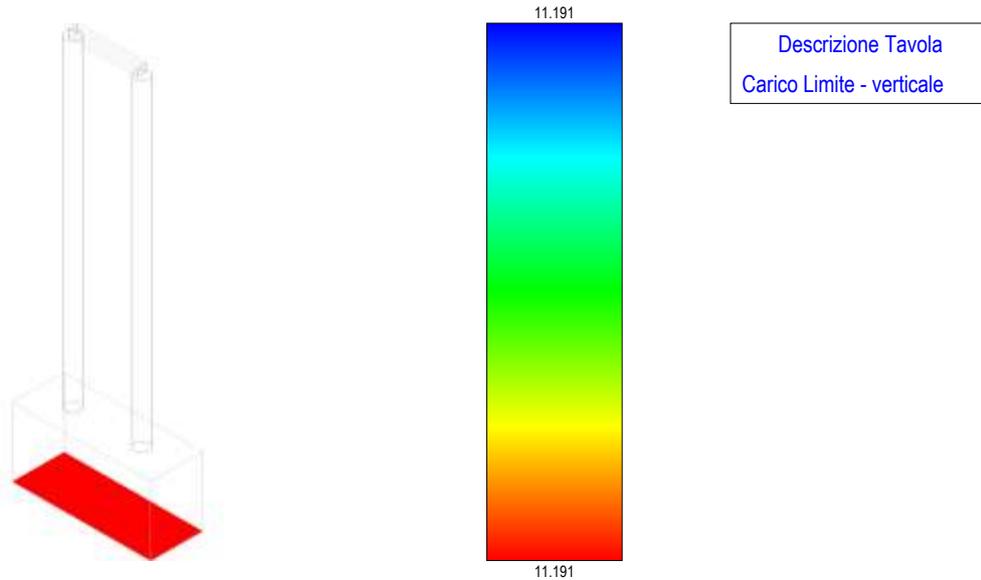


Figura 13 - carico limite – fondazione arrivo cavi MT

Geotecnica

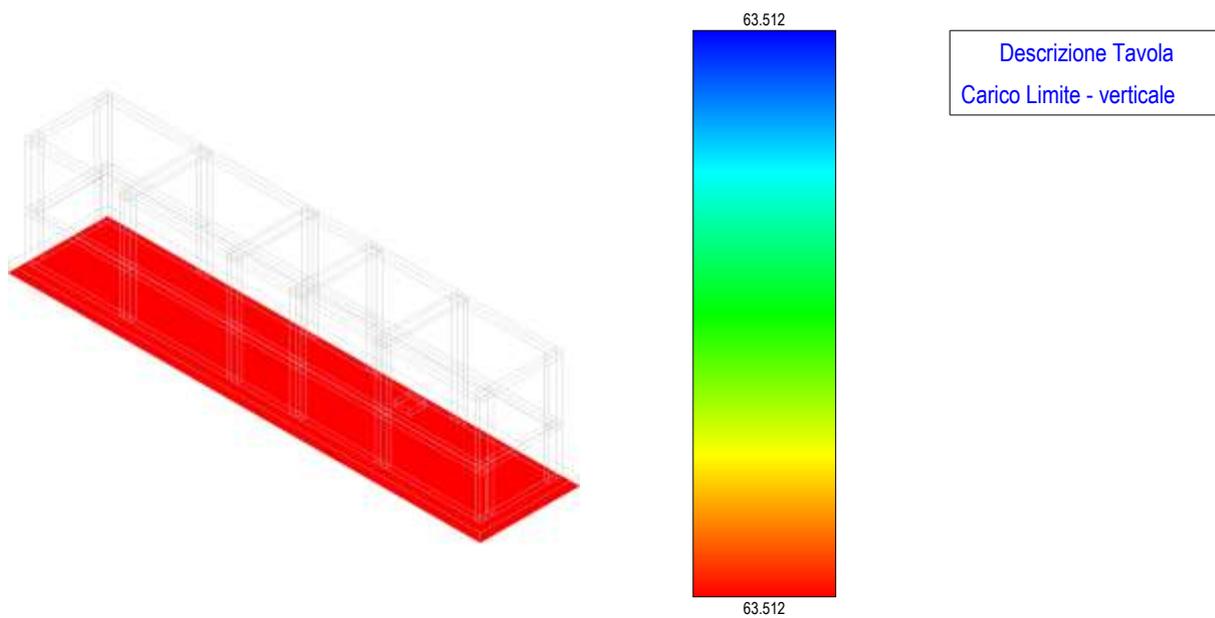


Figura 14 - carico limite – fondazione edificio