

OGGETTO

PARCO EOLICO SCANSANO



PROGETTO

REALIZZAZIONE DI IMPIANTO EOLICO IN AREE TOTALMENTE IDONEE (D.Lgs. n°199/2021 e Allegato 1b del PIT Regione Toscana) COMPOSTO DA 11 AEROGENERATORI CON POTENZA COMPLESSIVA DI 79,2 MW

VALUTAZIONE DI IMPATTO AMBIENTALE

CONSULENZA



**SINTECNICA ENGINEERING S.R.L.**  
Piazza IV Novembre, 4  
Milano - 20124  
P.I. 10246080963

Progettisti:

ING. LUCA TRIPPANERA



Gruppo di Lavoro:

ANDREA COLUCCI  
GIULIO GORINI  
MATTEO FARULLI  
SAMUELE GIRAFFA

PROPONENTE



**GRUPPO VISCONTI SCANSANO S.R.L.**  
Via Giuseppe Ripamonti, 44  
Milano - 20141  
P.I. 13357800963

TITOLO ELABORATO

RELAZIONE DI CALCOLO PRELIMINARE DELLE OPERE DI FONDAZIONE

Numero attività

395.GVI.23

Codice Documento

R.CV.395.GVI.23.203.00

Revisione	Data	Oggetto revisione	Redatto	Verificato	Approvato
00	05.04.2024	Emissione	L.T.	D.M.	L.T.
-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-

Località

COMUNI DI SCANSANO  
E MAGLIANO IN TOSCANA  
Provincia di Grosseto  
Regione Toscana

PROGETTO PARCO EOLICO SCANSANO  
COMUNE DI SCANSANO E MAGLIANO IN TOSCANA  
PROVINCIA DI GROSSETO - REGIONE TOSCANA

RELAZIONE DI CALCOLO PRELIMINARE DELLE OPERE DI FONDAZIONE



## Sommario

1	INTRODUZIONE .....	3
2	NORMATIVA DI RIFERIMENTO .....	4
	<b>2.1 NORME GENERALI</b>	<b>4</b>
	<b>2.2 NORMATIVE SPECIFICHE PER LE STRUTTURE</b>	<b>4</b>
	<b>2.3 NORMATIVE SPECIFICHE RELATIVE ALLE OPERE GEOTECNICHE</b>	<b>4</b>
	<b>2.4 NORMATIVA SPECIFICA PER TORRI EOLICHE</b>	<b>4</b>
3	CARATTERISTICHE DEI MATERIALI.....	5
	<b>3.1 ACCIAIO DI ARMATURA ORDINARIA</b>	<b>5</b>
	<b>3.2 ACCIAIO PER MICROPALI</b>	<b>5</b>
	<b>3.3 CALCESTRUZZI</b>	<b>5</b>
	<b>3.4 PRESCRIZIONI PER CALCESTRUZZO PER STRUTTURE DI FONDAZIONE</b>	<b>5</b>
4	PARAMETRI GEOTECNICI.....	7
5	GEOMETRIA .....	8
	<b>5.1 FONDAZIONI SUPERFICIALI</b>	<b>8</b>
	<b>5.2 FONDAZIONI PROFONDE</b> Errore. Il segnalibro non è definito.	
6	CARICHI TRASMESSI DALL’AEROGENERATORE.....	9
	<b>6.1 Carichi ultimi alla base della fondazione</b>	<b>9</b>
	6.1.1 Carichi dovuti al vento e al peso della torre e della turbina	9
	6.1.2 Carichi dovuti al peso della fondazione e del terreno considerando i seguenti pesi specifici	10
	6.1.3 Carichi totali	10
7	VERIFICHE FONDAZIONI SUPERFICIALI .....	10
	<b>7.1 Capacità portante</b>	<b>10</b>

# 1 INTRODUZIONE

La presente relazione ha come oggetto lo studio preliminare delle opere di fondazione necessarie per la realizzazione del nuovo progetto del “Parco Eolico di Scansano”, in provincia di Grosseto, situato nei comuni di Scansano e Magliano in Toscana, con una potenza totale di 79,2 MW e una produzione annua stimata pari a 221.760 MWh/a.

L’impianto si compone di 11 aerogeneratori Vestas V-172, ognuno con una potenza pari a 7,2 MW e distribuiti in modo lineare da Nord a Sud lungo una linea di circa 14 km.

L’impianto si divide in due aree:

- quella Nord, ricadente nel comune di Scansano, sono ubicati gli aerogeneratori WTG-1, WTG-2, WTG-3, WTG-4, WTG-5 e WTG-6;
- nell’area Sud, nel comune di Magliano in Toscana, sono locati gli aerogeneratori WTG-7, WTG-8, WTG-9, WTG-10 (ricadente nel comune di Scansano), WTG-11 e la sottostazione elettrica, tramite la quale avverrà l’immissione dell’energia prodotta, nella RTN.

Le opere di connessione alla rete elettrica, prevedono la realizzazione di un cavidotto MT interrato, della lunghezza di circa 45 km, che giungerà alla nuova Sottostazione Elettrica (SSE) 132 kV della RTN ubicata nelle vicinanze della località di Poggio Maestrino, all’incrocio tra la S.P. 16 di Montiano e la S.P. 9 di Aione, allacciata all’elettrodotta da 132 kV di Montiano - Orbetello.

Le turbine eoliche di modello V-172 hanno una lunghezza della pala di 84 m, un’altezza al mozzo pari a 114 m ed un’altezza al top della pala pari a 200 m.

Per le caratteristiche ambientali si rimanda alle relazioni di riferimento.

## 2 **NORMATIVA DI RIFERIMENTO**

### 2.1 **NORME GENERALI**

- *L. n°1086 5 novembre 1971*: Norme per la disciplina delle opere di conglomerato cementizio armato, normale e precompresso, ed a struttura metallica.

### 2.2 **NORMATIVE SPECIFICHE PER LE STRUTTURE**

- *D.Min. Infrastrutture 17 gennaio 2018*: Aggiornamento delle “Norme tecniche per le costruzioni”;
- *Circolare 21/01/2019 n.7*: Istruzioni per l’applicazione dell’”Aggiornamento delle Nuove norme tecniche per le costruzioni”;
- *UNI EN 1992-1-1*: Eurocodice 2 – Progettazione delle strutture di calcestruzzo – Parte a-1: Regole generali e regole per gli edifici.

### 2.3 **NORMATIVE SPECIFICHE RELATIVE ALLE OPERE GEOTECNICHE**

- *D.Min. Infrastrutture 17 gennaio 2018*: Aggiornamento delle “Norme tecniche per le costruzioni”;
- *Circolare 21/01/2019 n.7*: Istruzioni per l’applicazione dell’”Aggiornamento delle Nuove norme tecniche per le costruzioni”;
- *UNI EN 1998-5*: Eurocodice 8 – Progettazione delle strutture per la resistenza sismica – Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici;
- *Associazione Geotecnica Italiana*: Raccomandazioni sui pali di fondazione, 1984.

### 2.4 **NORMATIVA SPECIFICA PER TORRI EOLICHE**

- *GL Rule and Guidelines, edition 2003 with supplements 2004*;
- *IEC61400-1 Edition 3*.

### 3 CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

#### 3.1 ACCIAIO DI ARMATURA ORDINARIA

Acciaio B450 (secondo NTC 2018 DM 17/01/2018):

- Tensione caratteristica a snervamento  $f_{yk}$  450 MPa
- Tensione caratteristica a rottura  $f_{tk}$  540 MPa

#### 3.2 ACCIAIO PER MICROPALI

Acciaio S275:

- Tensione caratteristica a snervamento  $f_{yk}$  275 MPa
- Tensione caratteristica a rottura  $f_{tk}$  430 MPa

#### 3.3 CALCESTRUZZI

Calcestruzzo per fondazioni - piedistallo (secondo EN206)	C45/55
• Classi di esposizione	XC4/XD1/XS1/XF3/XA1
• Resistenza caratteristica cilindrica minima	45,0 MPa
• Resistenza caratteristica cubica minima	55,0 MPa
• Copriferrini minimi	50 mm contro cassaforma
Calcestruzzo per fondazioni - plinto (secondo EN206)	C35/45
• Classi di esposizione	XC4/XD1/XS1/XF3/XA1
• Resistenza caratteristica cilindrica minima	35,0 MPa
• Resistenza caratteristica cubica minima	45,0 MPa
• Copriferrini minimi	50 mm contro cassaforma
Magrone di Fondazione	C12/15
• Resistenza caratteristica cilindrica minima	12,0 MPa
• Resistenza caratteristica cubica minima	15,0 MPa

#### 3.4 PRESCRIZIONI PER CALCESTRUZZO PER STRUTTURE DI FONDAZIONE

Prescrizioni per gli ingredienti utilizzati per il confezionamento del conglomerato:

A1) Acqua di impasto conforme alla UNI-EN 1008;

A2) Additivo superfluidificante conforme ai prospetti 3.1 e 3.2 o superfluidificante ritardante conforme ai prospetti 11.1 e 11.2 della norma UNI-EN 934-2;

A3) Additivo ritardante (eventuale solo per getti in climi molto caldi) conforme al prospetto 2 della UNI-EN 934-2;

A4) Aggregati provvisti di marcatura CE conformi alle norme UNI-EN 12620 e 8520-2. In particolare:

Assenza di minerali nocivi o potenzialmente reattivi agli alcali (UNI-EN 932-3 e UNI 8520/2) o in alternativa aggregati con espansioni su prismi di malta, valutate con la prova accelerata e/o con la prova a lungo termine in accordo alla metodologia prevista dalla UNI 8520-22, inferiori ai valori massimi riportati nel prospetto 6 della UNI 8520 parte 2;

A5) Cemento LH a basso sviluppo di calore in accordo al punto 7 della norma UNI-EN 197/1-2006 con calore di idratazione unitario a 7 giorni inferiore a 270 J/g (determinato in accordo alla UNI-EN 196-8);

A6) Ceneri volanti e fumi di silice conformi rispettivamente alla norma UNI-EN 450 e UNI-EN 13263 parte 1 e 2.

Prescrizioni per il calcestruzzo

B1) Calcestruzzo a prestazione garantita (UNI EN 206-1);

- B2) Classi di esposizione ambientale: XC4/XD1/XS1/XF3/XA1
- B3) Rapporto a/c max: 0.50
- B4) Dosaggio minimo di cemento 320 Kg/m<sup>3</sup>
- B5) Classe di resistenza a compressione minima: C(32/40-45/55)
- B6) Controllo di accettazione: tipo A (tipo B per volumi complessivi di calcestruzzo superiori a 1500 m<sup>3</sup>)
- B7) Aria intrappolata: max 2,5%
- B8) Diametro massimo dell'aggregato: 32 mm (Per interferri inferiori a 35 mm utilizzare aggregati con pezzatura 20 mm)
  
- B9) Classe di contenuto di cloruri del calcestruzzo: Cl 0.4
- B10) Classe di consistenza al getto S3
- B11) Volume di acqua di bleeding (UNI 7122): < 0.1% Prescrizioni per la struttura
- C1) Copriferro minimo: 50 mm.
- C2) Controllo dell'esecuzione dell'opera: (Rck minima in opera valutata su carote h/d=1):  $C(x/y)_{opera} > 0,85 C(x/y)$
- C3) Maturazione umida da effettuare mediante ricoprimento della superficie non cassetata con geotessile bagnato ogni 24 ore
- C4) Acciaio B450C conforme al D.M. 14/09/2005.

## 4 PARAMETRI GEOTECNICI

A seguito di una analisi dei risultati delle indagini geologiche pregresse in siti limitrofi, è stato definito in via preliminare il seguente modello geotecnico di sottosuolo:

- Terreno 1: presente fino alla profondità di 6,6 m;
- Terreno 2: presente fino alla profondità di 12,8 m;
- Terreno 3: a profondità maggiore di 12,8 m.

Solo a seguito di una campagna di indagini geognostiche puntuali secondo quanto definito nel piano di indagini, sarà possibile definire più accuratamente il modello geotecnico del sottosuolo.

A circa 11,0 m dal piano campagna vi è presenza di falda freatica, da definire l'escursione annuale nella campagna di indagini.

Il Terreno 1 è composto da regolite di Macigno che va fino a 6,6 m, il Terreno 2 è lo strato di Macigno fratturato con siltiti prevalenti che arriva fino a 12,8 metri di profondità, ed infine il Terreno 3 è caratterizzato da Macigno compatto che va oltre i 12,8 m di profondità.

### Regolite di Macigno

Peso di volume	$\gamma_k$	= 22,00 KN/mc
Coesione apparente	$c_{a,k}$	= 1,14 Mpa
Angolo di attrito apparente	$\phi_{a,k}$	= 21°,88
Resistenza a compressione uniassiale	$UCS_k$	= 0,22 Mpa
Resistenza a taglio totale	$\sigma_k$	= 3,37 Mpa
Modulo di Young	$My_k$	= 0,88 GPa

### Macigno fratturato con siltiti prevalenti

Peso di volume	$\gamma_k$	= 25,82 KN/mc
Coesione apparente	$c_{a,k}$	= 0,40 Mpa
Angolo di attrito apparente	$\phi_{a,k}$	= 27°,53
Resistenza a compressione uniassiale	$UCS_k$	= 0,54 Mpa
Resistenza a taglio totale	$\sigma_k$	= 1,33 Mpa
Modulo di Young	$My_k$	= 3,01 GPa

### Macigno compatto

Peso di volume	$\gamma_k$	= 25,31 KN/mc
Coesione apparente	$c_{a,k}$	= 36,38 Mpa
Angolo di attrito apparente	$\phi_{a,k}$	= 63°,00
Resistenza a compressione uniassiale	$UCS_k$	= 0,54 Mpa
Resistenza a taglio totale	$\sigma_k$	= 71,95 Mpa
Modulo di Young	$My_k$	= 77,80 GPa
Rapporto di Poisson	$\nu_k$	= 0,33

Il piano di posa del plinto di fondazione è stato posizionato a 3,5 m di profondità dal piano campagna, quindi nelle verifiche geotecniche delle fondazioni superficiali sono stati considerati i parametri dello strato di Terreno 1.

Dal punto di vista sismico il terreno rientra nella categoria di sottosuolo E.

Per maggiori dettagli sulle caratteristiche geomorfologiche del suolo si rimanda alla relazione geologica di riferimento.

Data la natura del suolo, si considerano idonee tipologie di fondazione superficiali e non profonde, salvo eventuali casi imprevisti da approfondire a valle dei risultati delle indagini geognostiche.

## 5 GEOMETRIA

### 5.1 FONDAZIONI SUPERFICIALI

Il plinto di fondazione presenta una forma tronco piramidale a base quadrata con piano di posa a 3,5 m di profondità, in particolare la base maggiore ha lato pari a 20 m, mentre quella minore 7,10 m; l'altezza varia invece da 1 m alle estremità a 3 m centralmente.

Di seguito si riassumono le caratteristiche geometriche del plinto:

Tabella 1 – Caratteristiche fondazione superficiale

$L_p$ [m]	20,0
$l_p$ [m]	7,10
$hp1$ [m]	1,0
$hp2$ [m]	3,0
$\alpha$ [°]	17,0

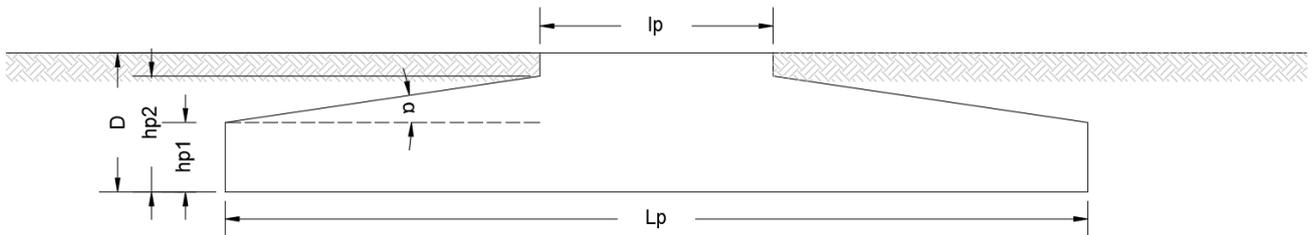


Figure 1 -Caratteristiche fondazione superficiale

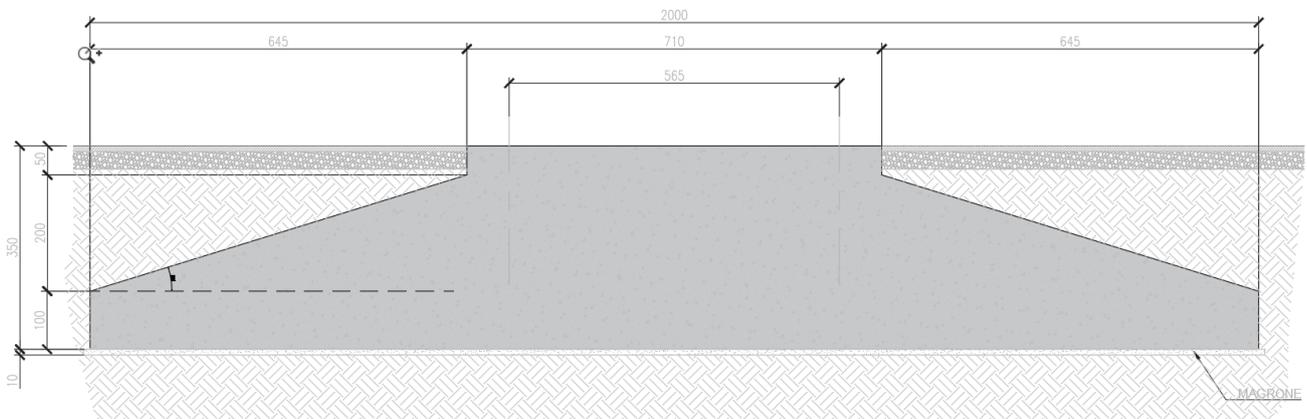


Figure 2 - Fondazione superficiale (misure in cm)

Il plinto di fondazione presenta una forma tronco piramidale a base quadrata con piano di posa a 3,5 m di profondità, in particolare la base maggiore ha lato pari a 20 m, mentre quella minore 7,10 m; l'altezza varia invece da 1 m alle estremità a 3 m centralmente.

## 6 CARICHI TRASMESSI DALL'AEROGENERATORE

### 6.1 Carichi ultimi alla base della fondazione

#### 6.1.1 CARICHI DOVUTI AL VENTO E AL PESO DELLA TORRE E DELLA TURBINA

Poiché il fornitore degli aerogeneratori di progetto non è in grado ad oggi di fornire con esattezza gli scarichi alla base, sono stati considerati i seguenti carichi estratti dalla scheda tecnica "Combine Foundation Loads V150" di Vestas, con torre di altezza pari a 125m, calcolati per una quota dal suolo di 0,20 m con il seguente sistema di riferimento:

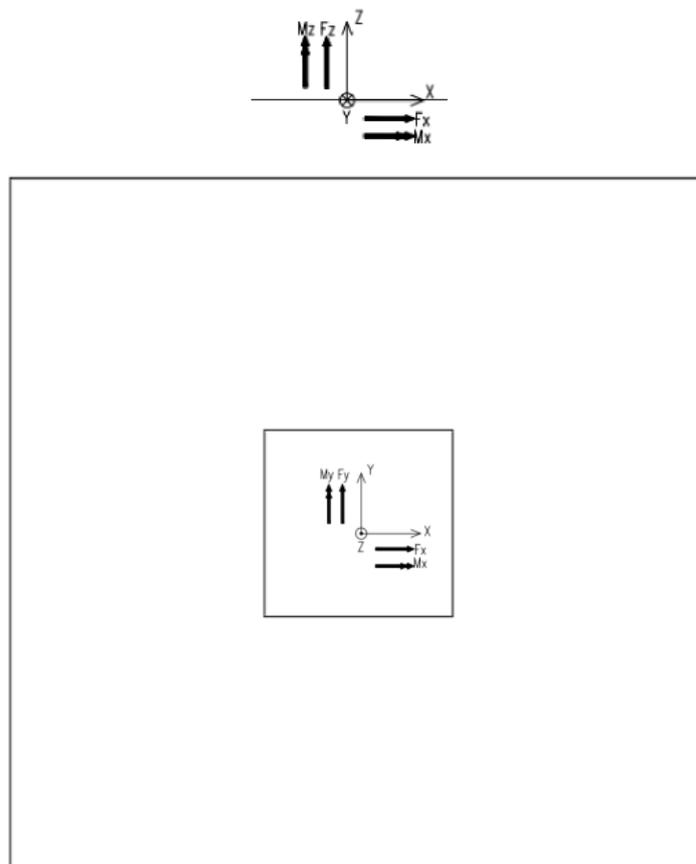


Figure 3 - Sistema di riferimento per i carichi

Tabella 2 - Carichi dovuti al vento e al peso della torre e della turbina

$\gamma_{aerog}$ [-]	$\gamma_{masse}$ [-]	$F_x$ [kN]	$F_y$ [kN]	$F_{xy}$ [kN]	$F_z$ [kN]	$M_x$ [kNm]	$M_y$ [kNm]	$M_{xy}$ [kNm]	$M_z$ [kNm]
1,35	1,35	0	0	1449	-7787	0	0	162690	-18201

### 6.1.2 CARICHI DOVUTI AL PESO DELLA FONDAZIONE E DEL TERRENO CONSIDERANDO I SEGUENTI PESI SPECIFICI

Nei seguenti calcoli sono stati utilizzati i pesi specifici descritti nella tabella di seguito:

Tabella 3 -Pesi specifici calcestruzzo e terreno

Load	[kN/m3]
Peso specifico del calcestruzzo, $\gamma_c$	25,0
Peso specifico del terreno STRATO 1, $\gamma_{s2}$	22,0

Nel caso di fondazioni superficiali si hanno i seguenti carichi:

Tabella 4 – carichi dovuti ai pesi propri del calcestruzzo e del terreno nel caso di fondazioni superficiali

Load	Fx [kN]	Fy [kN]	Fxy [kN]	Fz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mxy [kNm]	Mz [kNm]
Peso del calcestruzzo, $W_c$	0	0	0	-20503,62	0	0	0	0
Peso del terreno (strato 12), $W_s$	0	0	0	-12756,81	0	0	0	0

### 6.1.3 CARICHI TOTALI

I carichi totali alla base della fondazione sono i seguenti:

- Per fondazioni superficiali

Tabella 5 – carichi ultimi totali per fondazioni superficiali

$\gamma_{aerog}$ [-]	$\gamma_{masse}$ [-]	Fx [kN]	Fy [kN]	Fxy [kN]	Fz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mxy [kNm]	Mz [kNm]
1,35	1,35	0	0	1956,15	-50949,15	0	0	163000	-18201

## 7 VERIFICHE FONDAZIONI SUPERFICIALI

### 7.1 Capacità portante

Per quanto riguarda la capacità portante della fondazione si è fatto riferimento a dei valori medi di parametri geotecnici essendo che il meccanismo di rottura coinvolge anche lo strato sotto il piano di posa della fondazione. Per questa valutazione si è valutata una profondità  $H = D+2B$ .

**SUBSTRATO 1**

Dati geometrici:

 $\phi := 21,88^\circ$  angolo d'attrito $c' := 1140 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$  coesione $\gamma := 22 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$  peso del terreno 1 $B := L_p = 20 \text{ m}$  lato fondazione quadrata $L := B = 20 \text{ m}$  $q := \gamma \cdot D = 77 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$  sovraccarico $e_p := \frac{M_{XY}}{F_z} = 3,19 \text{ m}$  $B' := B - 2 \cdot e_p = 13,61 \text{ m}$  base ridotta per tener conto dell'eccentricità del carico $L' := L - 2 \cdot e_p = 13,61 \text{ m}$  larghezza ridotta per tener conto dell'eccentricità del carico

Secondo quanto stabilito dal DM 17/01/2018 NTC le verifiche sulle fondazioni possono essere eseguite utilizzando il seguente approccio:

- (A1 + M1 + R3)

dove A1 sono dei coefficienti di sicurezza da applicare sulle azioni, M1 sono dei coefficienti di sicurezza da applicare sulle resistenze del terreno ed R3 sono dei coefficienti di sicurezza da applicare sulle diverse aliquote della capacità portante.

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

	Effetto	Coefficiente Parziale $\gamma_F$ (o $\gamma_E$ )	EQU	(A1)	(A2)
Carichi permanenti $G_1$	Favorevole	$\gamma_{G1}$	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevole		1,1	1,3	1,0
Carichi permanenti $G_2^{(1)}$	Favorevole	$\gamma_{G2}$	0,8	0,8	0,8
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3
Azioni variabili Q	Favorevole	$\gamma_Q$	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3

<sup>(1)</sup> Per i carichi permanenti  $G_2$ : si applica quanto indicato alla Tabella 2.6.I. Per la spinta delle terre si fa riferimento ai coefficienti  $\gamma_{G2}$

- Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

Parametro	Grandezza alla quale applicare il coefficiente parziale	Coefficiente parziale $\gamma_M$	(M1)	(M2)
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \varphi'_k$	$\gamma_{\varphi'}$	1,0	1,25
Coesione efficace	$c'_k$	$\gamma_{c'}$	1,0	1,25
Resistenza non drenata	$c_{uk}$	$\gamma_{cu}$	1,0	1,4
Peso dell'unità di volume	$\gamma_\gamma$	$\gamma_\gamma$	1,0	1,0

- Coefficienti parziali  $\gamma_R$  per le verifiche agli stati limiti ultimi di fondazioni superficiali

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

#### VERIFICA CAPACITA' PORTANTE A1 + M1 + R3

Fattori di capacità portante:

$$N_q := \frac{1 + \sin(\phi)}{1 - \sin(\phi)} \cdot e^{\pi \cdot \tan(\phi)} = 7,73$$

$$N_c := (N_q - 1) \cdot \cot(\phi) = 16,75$$

$$N_y := 2 \cdot (N_q + 1) \cdot \tan(\phi) = 7,01$$

Fattori che tengono conto della forma della fondazione:

$$s_q := 1 + \tan(\phi) = 1,4$$

$$s_c := 1 + \frac{N_q}{N_c} = 1,46$$

$$s_y := 0,60$$

Fattori che tengono conto dell'inclinazione del piano campagna:

$$m' := \frac{2 + \frac{B'}{L'}}{1 + \frac{B'}{L'}} = 1,5$$

$$i_q := \left( 1 - \frac{F_{xy}}{F_z + B' \cdot L' \cdot c' \cdot \cot(\phi)} \right)^{m'} = 0,99$$

$$i_c := i_q - \frac{1 - i_q}{N_c \cdot \tan(\phi)} = 0,9942$$



VERIFICA A RIBALTAMENTO

$$Y_{rib} := 1,1$$

$$M_{ribaltante} := M_{XY} = 1,6269 \cdot 10^5 \text{ kN m}$$

momento ribaltante =  
momento flettente agente in sommità  
plinto

$$M_{stabilizante} := 0,9 \cdot \frac{F_z}{Y_{rib}} \cdot \frac{L'}{2} = 2,8375 \cdot 10^5 \text{ kN m}$$

momento stabilizzante