

OGGETTO

PARCO EOLICO PITIGLIANO



PROGETTO

REALIZZAZIONE DI IMPIANTO EOLICO IN AREE TOTALMENTE IDONEE (Allegato 1b del PIT Regione Toscana) COMPOSTO DA 14 AEROGENERATORI CON POTENZA COMPLESSIVA DI 72.8 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 PITIGLIANO S.R.L.
Via Giuseppe Ripamonti, 44
Milano - 20141
P.I. 13357790966

TITOLO ELABORATO

RELAZIONE DI CALCOLO PRELIMINARE DELLE OPERE DI FONDAZIONE

Numero attività
395.GVI.23
Codice Documento
R.CV.395.GVI.23.303.00

Revisione	Data	Oggetto revisione	Redatto	Verificato	Approvato
00	17.06.2024	Emissione	L.T.	D.M.	L.T
-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-

Località
**COMUNI DI
PITIGLIANO E MANCIANO**
Provincia di Grosseto
Regione Toscana

PROGETTO PARCO EOLICO PITIGLIANO

COMUNI DI PITIGLIANO

PROVINCIA DI GROSSETO

REGIONE TOSCANA

RELAZIONE DI CALCOLO PRELIMINARE DELLE OPERE DI FONDAZIONE



Sommario

1	INTRODUZIONE	3
2	NORMATIVA DI RIFERIMENTO	4
	2.1 NORME GENERALI	4
	2.2 NORMATIVE SPECIFICHE PER LE STRUTTURE	4
	2.3 NORMATIVE SPECIFICHE RELATIVE ALLE OPERE GEOTECNICHE	4
	2.4 NORMATIVA SPECIFICA PER TORRI EOLICHE	4
3	CARATTERISTICHE DEI MATERIALI.....	5
	3.1 ACCIAIO DI ARMATURA ORDINARIA	5
	3.2 CALCESTRUZZI	5
	3.3 PRESCRIZIONI PER CALCESTRUZZO PER STRUTTURE DI FONDAZIONE	5
4	PARAMETRI GEOTECNICI.....	7
5	GEOMETRIA	8
	5.1 FONDAZIONI SUPERFICIALI	8
6	CARICHI TRASMESSI DALL’AEROGENERATORE.....	9
	6.1 Carichi ultimi alla base della fondazione	9
	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	11
	7.1 Capacità portante	11

1 INTRODUZIONE

Il presente documento ha lo scopo di definire le caratteristiche geologiche, geomorfologiche e di pericolosità delle aree su cui si intende installare gli elementi di progetto del “Parco Eolico di Pitigliano”, in provincia di Grosseto, situato nel comune di Pitigliano, con una potenza totale di 72,8 MW e una produzione annua stimata pari a 203.840 MWh/a.

L’impianto si compone di 14 aerogeneratori di modello GE-158, ognuno con una potenza pari a 5,2 MW e distribuiti su due aree:

- Nell’area Sud/Ovest del comune di Pitigliano, sono ubicati gli aerogeneratori WTG-1, WTG-2, WTG-3, WTG-4, WTG-5, WTG-6, WTG-7, WTG-8, WTG-9 e WTG-10.
- Nell’area Nord/Est di Pitigliano, sono ubicati gli aerogeneratori WTG-11, WTG-12, WTG-13 E WTG-14;
- Nell’area ricadente nel comune di Manciano, è ubicata 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 48 km, che giungerà alla nuova Sottostazione Elettrica (SSE) 132 kV della RTN ubicata nelle vicinanze del Comune di Manciano, lungo strada Strada Regionale 74 Maremmana, raccordata con un doppio collegamento alla sezione 132 kV di una nuova SE RTN 380/132 kV, inserita in entra-esce alla linea RTN a 380 kV “Montalto-Suvereto”.

Le turbine eoliche di modello GE-158 hanno una lunghezza della pala di 78 m, un’altezza al mozzo pari a 120 m ed un’altezza al top della pala pari a 200.

Per le caratteristiche geologiche e geomorfologiche delle aree interessate si rimanda al documento di riferimento “R_CV_395_GVI_23_312_00_RELAZIONE_GEOLOGICA_PITIGLIANO”.

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 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

3.3 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/m³
- 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 m³)
- 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 3 m;
- Terreno 2: presente fino alla profondità di 4 m;
- Terreno 3: a profondità maggiore di 4 m.

Parametri	Terreno 1	Terreno 2	Terreno 3
Nspt	6,76	16,07	52,10
Profondità base (m)	3	4	>4
Peso per unità di volume γ (t/m ³)	1,43	1,55	1,87
Densità relativa (%)	27,75	40,87	70,42
Angolo di attrito ϕ (°)	25,4	28,1	38,4
Modulo di Young (Mpa)	5,31	12,61	9,86
Modulo Edometrico (Mpa)	6,91	9,86	30,66
Modulo di Poisson	0,34	0,32	0,25

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.

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
α [°]	17,0

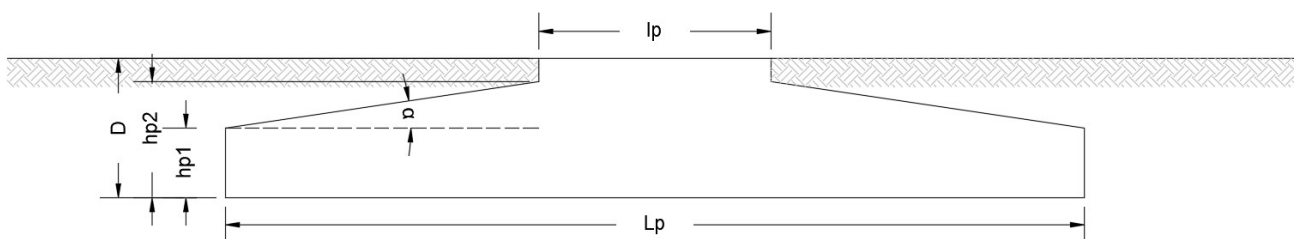


Figure 1 -Caratteristiche fondazione superficiale

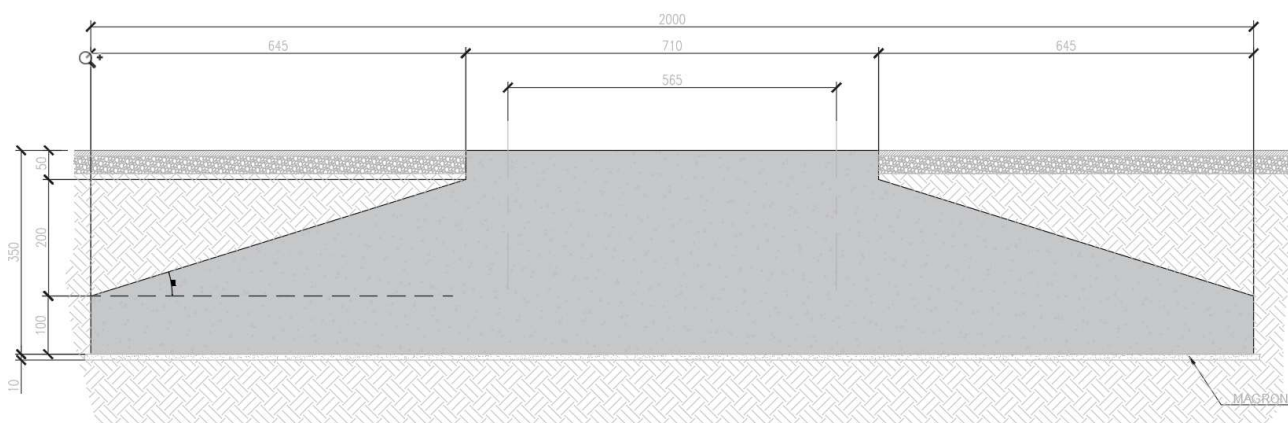


Figure 2 - Fondazione superficiale (misure in cm)

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:

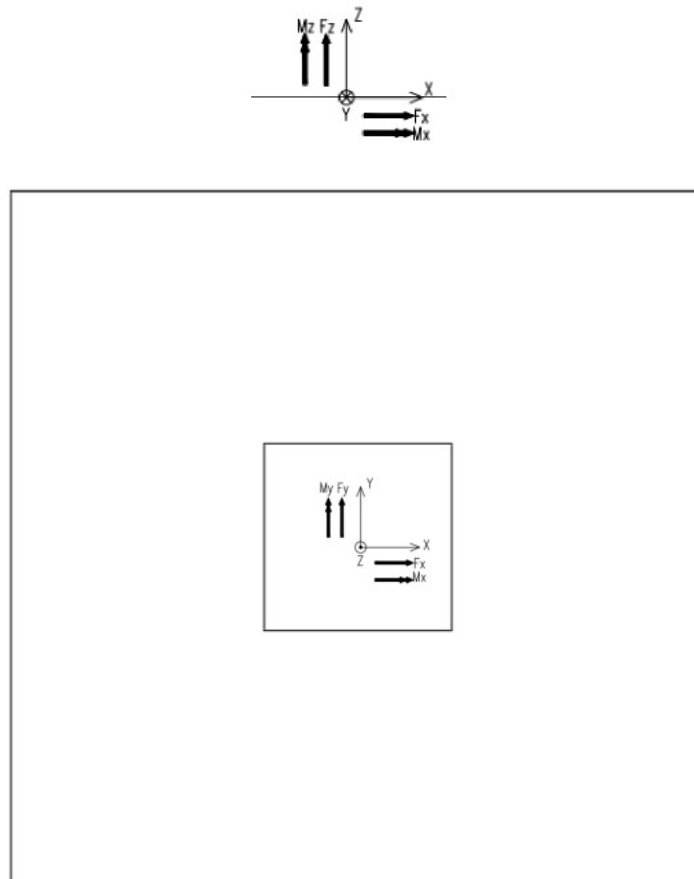


Figure 3 - Sistema di riferimento per i carichi

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

γ_{aerog} [-]	γ_{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

In fase di progettazione esecutiva verranno allineati.

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/m ³]
Peso specifico del calcestruzzo, γ_c	25,0
Peso specifico del terreno STRATO 1, γ_{s2}	14,3

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 11), W_s	0	0	0	-8291,93	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

γ_{aerog} [-]	γ_{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	-46844,27	0	0	163000	-18201

- Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

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

- Coefficienti parziali γ_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:

$$N_q := \frac{1 + \sin(\phi)}{1 - \sin(\phi)} \cdot e^{\pi \cdot \tan(\phi)} = 50,93$$

$$N_o := (N_q - 1) \cdot \cot(\phi) = 63,22$$

$$N_y := 2 \cdot (N_q + 1) \cdot \tan(\phi) = 82,02$$

Fattori che tengono conto della forma della fondazione:

$$s_q := 1 + \tan(\phi) = 1,79$$

$$s_o := 1 + \frac{N_q}{N_o} = 1,81$$

$$s_y := 0,60$$

Fattori che tengono conto dell'inclinazione del piano campagna:

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

$$i_q := \left(1 - \frac{F_{xy}}{F_x + B' \cdot L' \cdot c' \cdot \cot(\phi)} \right)^{m'} = 0,94$$

$$i_o := i_q - \frac{1 - i_q}{N_o \cdot \tan(\phi)} = 0,9363$$

$$i_V := \left(1 - \frac{F_{xy}}{F_x + B' \cdot L' \cdot c' \cdot \cot(\phi)} \right)^{m' + 1} = 0,9$$

Fattori che tengono conto dell'inclinazione del piano campagna:

$$\omega := 0^\circ \quad \text{angolo d'inclinazione del piano campagna}$$

$$\beta_q := (1 - \tan(\omega))^2 \cdot \cos(\omega) = 1$$

$$\beta_o := \beta_q - \frac{1 - \beta_q}{N_o \cdot \tan(\phi)} = 1$$

$$\beta_V := \frac{\beta_q}{\cos(\omega)} = 1$$

Carico limite in condizioni drenate

$$Q_{lim,A,k} := N_q \cdot q \cdot s_q \cdot i_q \cdot \beta_q + N_o \cdot c' \cdot s_o \cdot i_o \cdot \beta_o + \frac{1}{2} \cdot N_V \cdot \gamma_m \cdot B' \cdot s_V \cdot i_V \cdot \beta_V = 9637,45 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$V_x := 2,30 \quad \text{Capacità portante}$$

$$Q_{lim,A,d} := \frac{Q_{lim,A,k}}{V_x} = 4190,2 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$\sigma_{Ed,A} := \frac{F_x}{B' \cdot L'} = 275,05 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$FS_A := \frac{\sigma_{Ed,A}}{Q_{lim,A,d}} = 0,07$$

VERIFICA A SCORRIMENTO

Coefficienti di sicurezza

$$V_\phi := 1,00$$

$$V_{x,s} := 1,10 \quad \text{Scorrimento}$$

$$V_{ou} := 1$$

$$H_{Sd} \leq H_{Rd}$$

Condizioni drenate

$$H_{Sd} := F_{xy} = 1956,15 \text{ kN}$$

H_{Sd} è l'azione orizzontale agente, assunta pari alla forza F_{xy}

$$H_{Rd} := \frac{0,9 \cdot F_x \cdot \tan\left(\frac{\phi}{V_\phi}\right)}{V_{x,s}} = 30036,33 \text{ kN}$$

$$H_{Sd} < H_{Rd}$$

$$FS_{S,A} := \frac{H_{Sd}}{H_{Rd}} = 0,0651$$

VERIFICA A RIBALTAMENTO

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

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

$$M_{stabilizante} := 0,9 \cdot \frac{F_x}{V_{rib}} \cdot \frac{L'}{2} = 2,4722 \cdot 10^5 \text{ kN m}$$

momento ribaltante =
momento flettente agente in sommità
plinto

momento stabilizzante