

COMUNE DI

CARPI (MO)

PROGETTO

PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA PER LA COSTRUZIONE E L'ESERCIZIO DI UN IMPIANTO AGRIVOLTAICO, DENOMINATO "CASCINETTO", AVENTE POTENZA NOMINALE DI 18,97 MWp, POTENZA IN IMMISSIONE RICHIESTA 17,40 MW, E RELATIVE OPERE DI CONNESSIONE ALLA RETE ELETTRICA NAZIONALE



ELABORATO

RELAZIONE GEOTECNICA

IDENTIFICAZIONE ELABORATO

LIV. PROG.	TIPO DOC.	COD. CART.	CODICE PROGETTO	CODICE ELABORATO	DATA	SCALA
PFTE	REL	AU_09;ASS_VIA_09	ITOMY171	ITOMY171.PFTE_09_GEOL_RGT	12/23	---

REVISIONI

REV	DATA	AUTORE	DESCRIZIONE	VERIFICATO	APPROVATO
01	12/23	GN	Relazione Geotecnica	GN	ILIOS

PROGETTAZIONE

ILIOS

ILIOS S.r.l.

Via Montenapoleone 8, 20121, Milano (MI)
T: +39 080 8937976 - E: info@iliositalia.com
C.F. e P.IVA 12427580969

GRUPPO DI LAVORO

ECOGIS*studio geologie associate*

Gianluca Nascimbene
Giuseppe Zuffada



SPAZIO RISERVATO AGLI ENTI

(TIMBRO E FIRMA PER BENESTARE)

RICHIEDENTE



sonnedix

Sonnedit Leonardo S.r.l.

Corso Buenos Aires n.54, 20124, Milano (MI), Italy
C.F:12857360965

E: sxleonardo.pec@maildoc.it

ECOGIS

studio geologico associato

Gianluca Nascimbene
Giuseppe Zuffada

Sede legale e Uffici :
Via A. Moro, 5
27028 S. Martino Siccomario (PV)
Tel. 0382/1750334 - Fax 0382/1752557
Email : ecogis@ecogis.it
P.Iva/C.F. 02300900186



REGIONE: Emilia Romagna

PROVINCIA: Bologna

COMUNE: Carpi

LOCALITA': Cascinetto

**PROGETTO RELATIVO ALLA COSTRUZIONE
ED ESERCIZIO DI UN IMPIANTO SITO
NEL TERRITORIO DI CARPI (MO), IN
LOCALITÀ FOSSOLI, DENOMINATO
"CASCINETTO" AVENTE POTENZA
MODULI PARI A 18,97 MWp**



A CURA DI:

Dott. Geol.
GIANLUCA NASCIMBENE

*Iscritto all'Ordine dei
Geologi della Lombardia
N° 1076*



**RELAZIONE
GEOTECNICA**

DATA:
Novembre 2023

COMMITTENTE:

ILIOS SRL

INDICE

1.INTRODUZIONE..... 2

1.1. NORMATIVA DI RIFERIMENTO 3

**2.DESCRIZIONE GENERALE DELL’OPERA, CRITERI DI PROGETTAZIONE, ANALISI E
VERIFICA 4**

2.1CONDIZIONI D’USO E LIVELLI DI SICUREZZA NELLA COSTRUZIONE 4

3.CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DI DETTAGLIO DEL TERRENO DI FONDAZIONE . 6

**3.1 CALCOLO DELLA RESISTENZA DI PROGETTO FONDAZIONI PROFONDE (RD) PROFILATI IN
ACCIAIO DI SOSTEGNO DELLE STRUTTURE FOTOVOLTAICHE 8**

1.INTRODUZIONE

La presente relazione geotecnica è stata redatta a supporto del Progetto relativo alla costruzione ed esercizio di un impianto sito nel territorio di Carpi (MO), in località Fossoli, denominato "CASCINETTO" avente potenza moduli pari a 18,97 MWp, ed illustra i risultati delle indagini geologico – tecniche e sismiche che hanno permesso di valutare il comportamento geomeccanico dei terreni di fondazione dei manufatti in progetto.

La presente Relazione Geotecnica eseguita a supporto del progetto esecutivo di cui sopra, descrive la caratterizzazione e la modellazione geotecnica dei terreni interagenti con l'opera in progetto, essa riassume i risultati delle analisi svolte per la verifica delle condizioni di sicurezza e la valutazione delle prestazioni nelle condizioni d'esercizio del sistema costruzione - terreno. L'intero studio riguarda esclusivamente il volume significativo del terreno.

La progettazione geotecnica dell'opera prevede la definizione del grado di sicurezza che si ottiene con il "Metodo semiprobabilistico dei Coefficienti parziali di sicurezza" tramite la disequazione:

$$Ed < Rd$$

Rd = valore di progetto della resistenza del terreno (di pertinenza del geotecnico);

Ed = valore di progetto dell'azione o degli effetti delle azioni nelle varie combinazioni di carico (di pertinenza del progettista delle strutture).

La resistenza del terreno Rd (Parametro) è determinata:

- 1. Analiticamente** (valori di progetto si ottengono dai valori caratteristici divisi per il coeff.parziale γ_m scelto);
- 2. misure dirette**, utilizzando le Tabelle del T.U. per i coefficienti parziali.

L'azione Ed è determinata dal *valore caratteristico amplificato mediante i coefficienti parziali γ_f* (forniti dal progettista strutturista) da cui:

$$R_k/\gamma_\mu > E_k \times \gamma_f \text{ coefficienti parziali}$$

Per cui, partendo dalla modellazione geotecnica definita in funzione della caratterizzazione geologica e della successione litostratigrafica del volume significativo (vedi relazione geologica), si è passati alla individuazione dei Parametri nominali in funzione dei quali definire i Parametri caratteristici ed i Parametri di progetto.

DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

Per le verifiche contenute nel presente documento sono stati utilizzati i dati contenuti nei seguenti documenti progettuali di riferimento:

- Relazione geologica emessa dal dott. Gianluca Nascimbene

1.1. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

L'elaborato è stato condotto in osservanza alla normativa vigente, in particolare:

Normativa nazionale

- *D.M. 17 gennaio 2018 "Norme tecniche per le costruzioni"*
- *Circolare 2 febbraio 2009, n. 617*
"Circolare applicativa delle NTC2008 D.M. 14.01.2008 - Istruzioni per l'applicazione delle 'Nuove norme tecniche per le costruzioni' di cui al decreto ministeriale 14 gennaio 2008. (GU n. 47 del 26-2-2009 - Suppl. Ordinario n.27)"
- *Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici - Pericolosità sismica e criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale - Allegato al voto n.36 del 27.07.2007*
- *Eurocodice 8 (UNI EN 1998-1:2005) - Progettazione delle strutture per la resistenza sismica - Parte 1: Regole generali, azioni sismiche e regole per gli edifici*
- *Eurocodice 8 (UNI EN 1998-5:2005) - Progettazione delle strutture per la resistenza sismica - Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici.*
- *Eurocodice 7 (UNI ENV 1997-3:2002) - Progettazione geotecnica - Progettazione assistita con prove in sito*
- *Presidenza del Consiglio dei Ministri - Ordinanza n. 3274 del 20 marzo 2003 - Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica*

Normativa regionale

- *Dgr Emilia Romagna 2193/2015-DGR 630/2019 criteri di microzonazione sismica*
- *Dgr Emilia Romagna 146_2023 Aggiornamento classificazione sismica*

2.DESCRIZIONE GENERALE DELL'OPERA, CRITERI DI PROGETTAZIONE, ANALISI E VERIFICA

Per la modellazione del sottosuolo è stata utilizzata la caratterizzazione litostratigrafica e geomeccanica rilevata nella relazione geologica sitospecifica.

Il profilo M.A.S.W., sulla base dei modelli medi, indicava una V_{s30} pari a **249.96 m/s**.

Ai fini della definizione delle azioni sismiche secondo le nuove "Norme Tecniche per il progetto sismico di opere di fondazione e di sostegno dei terreni" il profilo stratigrafico dei terreni coinvolti nel progetto permette di classificare il sito come:

- **suolo tipo "C"** - "Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente ($V_{S,eq}$) compresi tra 180 m/s e 360 m/s."

2.1 CONDIZIONI D'USO E LIVELLI DI SICUREZZA NELLA COSTRUZIONE

Alla luce di quanto esposto in precedenza, gli elementi fondamentali dell'area di interesse ed i parametri sismici del sito in esame sono:

SITO IN ESAME	VALORE
latitudine:	44,838851
longitudine:	10,900497
Vita nominale:	50
Classe d'uso dell'edificio:	I
PARAMETRI SISMICI	VALORE
Categoria sottosuolo:	C
Categoria topografica:	T1
Coefficiente c_u :	0,7

Tabella 1: dati del sito di riferimento

				Valori interpolati			Valori ricavati da a_g , F_0 , e T_c^*						
		P_{VR}	T_R	a_g	F_0	T_c^*	S_s	C_c	St	T_B	T_c	T_D	F_v
		[adm]	[anni]	[g]	[adm]	[s]	[adm]	[adm]	[adm]	[s]	[s]	[s]	[adm]
SLE	SLO	81%	30	0,040	2,55	0,24	1,50	1,66	1,00	0.14	0.41	1.76	0.69
	SLD	63%	35	0,043	2,54	0,25	1,50	1,65	1,00	0.14	0.42	1.77	0.71
SLU	SLV	10%	332	0,127	2,59	0,26	1,50	1,62	1,00	0.15	0.44	2.11	1.24
	SLC	5%	682	0,173	2,55	0,27	1,43	1,61	1,00	0.15	0.44	2.29	1.44

Tabella 2 – Parametri e coefficienti sismici del sito

I coefficienti K_h (coefficiente sismico orizzontale riferito al sito) e K_v (coefficiente sismico verticale riferito al sito) hanno i seguenti valori:

		K_h	K_v
SLE	SLO	0,012	0,006
	SLD	0,013	0,006
SLU	SLV	0,046	0,023
	SLC	0,059	0,030

Tabella 3–Valori del coefficiente sismico orizzontale (K_h) e verticale (K_v), riferiti al sito

I risultati della verifica alla liquefazione (vd. Relazione geologica) indicano che, per quanto attiene la suscettibilità alla liquefazione il terreno in esame è da classificare "NON LIQUEFACIBILE" con rischio di liquefazione "da Nullo a Molto Basso"

3.CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DI DETTAGLIO DEL TERRENO DI FONDAZIONE

Il valore caratteristico di un parametro geotecnico è considerato come stima ragionata e cautelativa del valore del parametro stesso nello stato limite considerato.

Si riportano di seguito i parametri geotecnici dei terreni indagati :

PARAMETRI GEOTECNICI TERRENI DI FONDAZIONE			
Orizzonte A – Terreno vegetale			
Orizzonte B – Argilla Limosa deb. sabbiosa			
CARATTERISTICHE LITOSTRATIGRAFICHE	Simbolo	Unità di misura	Valore
Classificazione			coesivo
Consistenza			Tenera -media
PESI	Simbolo	Unità di misura	Valore
Peso di volume	γ	kN/m ³	17.0-17.5
Peso di volume immerso	γ_{wet}	kN/m ³	-
PARAMETRI DI RESISTENZA AL TAGLIO	Simbolo	Unità di misura	Valore
Angolo di attrito efficace	ϕ	°	-
Coesione efficace	C'	KPa	-
Coesione non drenata	Cu	KPa	50 - 80
PARAMETRI ELASTICI	Simbolo	Unità di misura	Valore
Modulo elastico	E	KPa	-
Modulo edometrico	M	KPa	4000 - 7000
coefficiente di Poisson	μ	KPa	0,35
Orizzonte C – Livelli sabbioso limosi			
CARATTERISTICHE LITOSTRATIGRAFICHE	Simbolo	Unità di misura	Valore
Classificazione			granulare
Consistenza			medio
PESI	Simbolo	Unità di misura	Valore
Peso di volume	γ	kN/m ³	18.0-18.5
Peso di volume immerso	γ_{wet}	kN/m ³	
PARAMETRI DI RESISTENZA AL TAGLIO	Simbolo	Unità di misura	Valore
Angolo di attrito efficace	ϕ	°	28-32
Coesione efficace	C'	KPa	-
Coesione non drenata	Cu	KPa	-
PARAMETRI ELASTICI	Simbolo	Unità di misura	Valore
Modulo elastico	E	KPa	15000 - 20000
coefficiente di Poisson	μ	KPa	0,30
Orizzonte D – Argilla limosa			
CARATTERISTICHE LITOSTRATIGRAFICHE	Simbolo	Unità di misura	Valore
Classificazione			coesivo
Consistenza			medio
PESI	Simbolo	Unità di misura	Valore
Peso di volume	γ	kN/m ³	17.0-17.5
Peso di volume immerso	γ_{wet}	kN/m ³	
PARAMETRI DI RESISTENZA AL TAGLIO	Simbolo	Unità di misura	Valore
Angolo di attrito efficace	ϕ	°	
Coesione efficace	C'	KPa	-
Coesione non drenata	Cu	KPa	60 - 100
PARAMETRI ELASTICI	Simbolo	Unità di misura	Valore
Modulo edometrico	M	KPa	5000 - 8000
coefficiente di Poisson	μ	KPa	0,35

I valori caratteristici secondo le Ntc 2018m possono essere prossimi ai valori medi e/o ai valori minimi.

Valori caratteristici prossimi ai valori minimi dei parametri geotecnici ricavati appaiono più giustificati nel caso in cui siano coinvolti modesti volume di terreno con concentrazione delle deformazioni fino alla formazione di superfici di rottura nelle porzioni di terreno meno resistenti.

Pertanto nel caso in oggetto considerando che la fondazione in Progetto interessa modesti volume di terreno per dimensione e carichi di esercizio ma anche per una maggior cautela nelle verifiche geotecniche sono stati considerati i valori minimi ricavati dalle prove penetrometriche.

Il valore dei parametri geotecnici di progetto utilizzato ai fini del calcolo di **Rd**, sono:

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_γ	γ_γ	1,0	1,0

-Tab. 6.2.II NTC 2018– Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

Applicando quanto contenuto nella circolare delle NTC 2018 si sono assunti quali valori caratteristi dei terreni i valori prossimi a quelli minimi :

ORIZZONTE B

Parametro	Valore minimo	Valore Caratteristico	Valore di progetto M1
Resistenza al taglio in condizioni non drenate	50,0 kN/m ²	50,0 kN/m ²	50,0 kN/m ²
Peso dell'unità di volume	17,0 kN/m ³	17,0 kN/m ³	17,0 kN/m ³

3.1 Calcolo della resistenza di progetto fondazioni profonde (rd) Profilati in acciaio di sostegno delle strutture fotovoltaiche

Generalità sulle opere di fondazione

Per quanto riguarda la struttura in acciaio di sostegno dei pannelli fotovoltaici è stato ipotizzato un palo di sostegno di diametro 0.20m con una profondità d'infissione di 2,50-3,00 m.

Gli stati limite ultimi delle fondazioni su pali si riferiscono allo sviluppo di meccanismi di collasso determinati dalla mobilitazione della resistenza del terreno e al raggiungimento della resistenza degli elementi strutturali che compongono la fondazione stessa.

Le verifiche delle fondazioni su pali devono essere effettuate con riferimento almeno ai seguenti stati limite, quando pertinenti:

SLU di tipo geotecnico (GEO)

- collasso per carico limite della palificata nei riguardi dei carichi assiali;
- collasso per carico limite della palificata nei riguardi dei carichi trasversali
- collasso per carico limite di sfilamento nei riguardi dei carichi assiali di trazione
- stabilità globale

Caratteristiche geometriche

- **Dimensione della fondazioni:** diametro D 0,20 m x lunghezza 2,50-3,00 metri
- **Orizzonte litologico punta:** orizzonte B

Il valore di progetto R_d della resistenza si ottiene a partire dal valore caratteristico R_k applicando i coefficienti parziali γ_r della (Tab. 6.4.II.) procedendo come segue:

CALCOLO DELLA RESISTENZA NOMINALE

In base alle indicazioni progettuali ed alle condizioni geomeccaniche reperite in loco, è stato eseguito lo studio della capacità portante, valutata secondo la seguente formula:

$$Q_T = Q_p + Q_s - P_p$$

in cui

Q_T = capacità portante limite totale

Q_p = capacità portante limite di base

Q_s = capacità portante limite per attrito laterale

P_p = peso del palo

Per il calcolo della portanza limite alla base si è fatto riferimento alla formula di Terzaghi:

$$Q_p = A (\gamma^* L^* N_q)$$

Il calcolo della capacità portante laterale è stato eseguito utilizzando la formula:

$$Q_s = A_f \alpha C_u \text{ per terreni coesivi}$$

$$Q_s = A_f K p' \tan \delta \text{ per terreni incoerenti}$$

Dove :

A_f = superficie laterale utile del palo

δ = angolo di attrito tra palo e terreno

K = coefficiente di spinta laterale

p' = pressione verticale alla profondità z

α = attrito negativo

C_u = coesione non drenata

Per pali intestati nel livello B, coesivo (argilloso limoso) , si assume quindi:

Lunghezza = 2.50 m

$$N_q = 1 \quad N_c = 9.5$$

Il calcolo della capacità portante laterale è stato eseguito utilizzando la formula:

$Q_s = A_f \propto C_u$ per terreni coesivi

$$Q_s = A_f K p' \tan \delta \text{ per terreni incoerenti}$$

Dove :

A_f = superficie laterale utile del palo

δ = angolo di attrito tra palo e terreno

K = coefficiente di spinta laterale

p' = pressione verticale alla profondità z

α = attrito negativo

Cu = coesione non drenata

CALCOLO DELLA RESISTENZA CARATTERISTICA

La resistenza caratteristica R_k del palo singolo può essere dedotta da:

- a) *risultati di prove di carico statico di progetto su pali pilota;*
- b) *metodi di calcolo analitici*, dove R_k è calcolata a partire dai valori caratteristici dei parametri geotecnici, oppure con l'impiego di relazioni empiriche che utilizzino direttamente i risultati di prove in sito (prove penetrometriche, pressiometriche, ecc.)
- c) *risultati di prove dinamiche di progetto*, ad alto livello di deformazione, *eseguite su pali pilota.*

Nel caso specifico sono stati utilizzati metodi di calcolo analitici

Rd viene calcolato con riferimento ai parametri del terreno ottenuti dalle penetrometriche in sito*

$$R_{c,k} = \text{Min} \left\{ \frac{(R_{c;cal})_{media}}{\xi_3}; \frac{(R_{c;cal})_{\min}}{\xi_4} \right\}$$

Numero di verticali indagate	1	2	3	4	5	7	≥ 10
ξ_3	1.70	1.65	1.60	1.55	1.50	1.45	1.40
ξ_4	1.70	1.55	1.48	1.42	1.34	1.28	1.21

TABELLA – Fattori di correlazione ξ , per la determinazione della resistenza caratteristica in funzione del numero di verticali indagate

*Nell'ambito dello stesso sistema di fondazione, il numero di verticali d'indagine da considerare per la scelta dei coefficienti ξ in Tab. precedente deve corrispondere al numero di verticali lungo le quali la singola indagine (sondaggio con prelievo di campioni indisturbati, prove penetrometriche, ecc.) sia stata spinta ad una profondità superiore alla lunghezza dei pali, in grado di consentire una completa identificazione del modello geotecnico di sottosuolo nell'ambito del volume significativo.

CALCOLO DELLA RESISTENZA DI PROGETTO

La resistenza di progetto è stata calcolata tenendo conto del set R3 dei coefficienti parziali riportati nella seguente tabella

Resistenza	Simbolo	Pali trivellati		
	g_R	(R1)	(R2)	(R3)
Base	g_b	1.0	1.7	1.35
Laterale in compressione	g_s	1.0	1.45	1.15
Totale *	g_t	1.0	1.6	1.30
Laterale in trazione	g_{st}	1.0	1.6	1.25
*da applicare alle resistenze caratteristiche dedotte dai risultati di prove di carico di progetto				

Palo diam.=0,20m x 2,50 m d'infissione

***Resistenza di progetto laterale= 1,20 t**

Resistenza di progetto = Rd totale = 1,20 t

Palo diam.=0,20m x 3,00 m d'infissione

***Resistenza di progetto laterale = 1,45 t**

Resistenza di progetto = Rd totale = 1,45 t

**Considerando la forma del profilato è stata trascurata la portata di punta considerando esclusivamente la portata laterale.*

20 Novembre 2023

Il geologo

Dott. Gianluca Nascimbene

*Iscritto all'Ordine dei
Geologi della Lombardia*

