





**IMPIANTO AGRIVOLTAICO AVANZATO 24.092,64 kW/p
COMUNE DI BONDENO (FE)
RELAZIONI DI CALCOLO E SISMICHE DELLE STRUTTURE -
PROGETTO DEFINITIVO**

28/02/2025	00	Emissione Finale	SGS srl	Giuseppe D'Amico / Luca Marabeti	Federico Boni Castagnetti
Data	Rev.	Descrizione Emissione	Preparato	Verificato	Approvato
Logo Committente e Denominazione Commerciale 			ID Documento Committente H_054_FV_00045_BCR		
Logo Appaltatore e Denominazione Commerciale 			ID Documento Appaltatore H_054_FV_00045_BCR		

	ID Documento Committente H_054_FV_00045_BCR	Pagina 2 / 37
		Numero Revisione
		00A

Sommario

1	Premessa.....	3
1.1	Ubicazione e dati dell'intervento	3
1.2	Descrizione tecnica dell'intervento.....	4
1.3	Quadro normativo di riferimento adottato	7
1.4	Descrizione generale dell'opera.....	7
2	Metodi e codici di calcolo	10
3	Caratteristiche materiali utilizzati	11
4	Carichi agenti permanenti e variabili	12
4.1	Localizzazione dell'intervento.....	12
4.2	Carichi permanenti strutturali (G1).....	12
4.3	Carichi permanenti non strutturali (G2).....	12
4.4	Carico variabile (Q)	13
4.5	Neve	14
4.6	Vento.....	14
5	Azione sismica	16
5.1	Calcolo azioni da sisma.....	19
6	Calcolo delle Forze Elettrodinamiche Generate da Cortocircuito sulle Strutture di Supporto della Sottostazione	22
7	Schematizzazione dei casi di carico	23
8	Definizione delle combinazioni	24
9	Verifiche di sicurezza.....	25
10	Modellazione.....	26
11	Verifiche platee di fondazione	30
11.1	Verifiche a ribaltamento.....	30
11.2	Verifiche a punzonamento e taglio delle platea di fondazione	30
11.3	Verifiche pareti vasca di fondazione trasformatore sottostazione	31
11.4	Verifica armatura diffusa	31
12	Relazione sui risultati sperimentali – indagini specialistiche	33
12.1	Relazione geologica: indagini, caratterizzazione e modellazione geologica del sito	33
13	Verifiche a capacità portante e scorrimento.....	34
13.1	Verifica a carico limite e a scorrimento	34
14	Conclusioni	39

	ID Documento Committente H_054_FV_00045_BCR	Pagina 3 / 37
		Numero Revisione
		00A

1 Premessa

Nella presente relazione sono riportati i principali elementi di inquadramento del progetto definitivo riguardante le opere civili del progetto per la realizzazione di un impianto agrivoltaico avanzato sito nel Comune di Bondeno (FE), che ha come obiettivo sia la produzione di energia elettrica da fonte rinnovabile, sia la valorizzazione del paesaggio e l'inserimento al meglio del progetto all'interno del contesto paesaggistico in cui si trova. Tale relazione si concentra in particolare sulle fondazioni della cabina utente, della vasca del trasformatore della sottostazione e dei pali della sottostazione.

1.1 Ubicazione e dati dell'intervento

Il sito interessato dalla realizzazione dell'impianto agrivoltaico avanzato denominato "Bondeno" ricade nel Catasto Terreni del Comune di Bondeno (FE), al Fg. 49, P.lle 2, 4, 5, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 26, 27, 29, 31, 33, 35, 44.

L'area oggetto di realizzazione del parco agrivoltaico avanzato ha una superficie di impianto di circa 34,18 ettari (di cui 9,86 ettari sono occupati dai soli pannelli). L'area si trova ad un'altitudine media di m 8 m s.l.m. e le coordinate geografiche, nel sistema Geografico-WGS84 sono: Latitudine: 44°55'1.2"N, Longitudine: 11°15'14.4"E.

La STMG (Codice Pratica: 202302528) prevede che l'impianto venga collegato in antenna a 132 kV su un futuro ampliamento/adeguamento della Stazione Elettrica (SE) della RTN a 132 kV denominata "Massa Finalese", previo:

- potenziamento/rifacimento delle linee RTN a 132 kV "Massa Finalese – Mirandola CP" e "Finale Emilia - Massa Finalese" ed il superamento di eventuali elementi limitanti nelle CP interessate;
- realizzazione degli interventi 318-P e 350-P del Piano di Sviluppo Terna.

Ai sensi dell'art. 21 dell'allegato A alla deliberazione Arg/elt/99/08 e s.m.i. dell'Autorità di Regolazione per Energia Reti e Ambiente, il nuovo elettrodotto a 132 kV per il collegamento in antenna dell'impianto sulla Stazione Elettrica della RTN costituisce impianto di utenza per la connessione, mentre lo stallo arrivo produttore a 132 kV nella suddetta stazione costituisce impianto di rete per la connessione.



Figura 1 – Inquadramento su ortofoto del cavidotto MT


1.2 Descrizione tecnica dell'intervento

Come da STMG di Terna (Codice Pratica: 202302528), l'impianto sarà allacciato alla RTN tramite collegamento in antenna ad uno stallo di una nuova Sottostazione Elettrica SSEU (collegata a sua volta alla Cabina Primaria AT/MT132 kV, denominata "Massa Finalese") situata a circa 8 km dall'impianto e nella quale è installato il Punto di Consegna (c.d. 'POD'), mediante una linea MT interrata che percorrerà prevalentemente strada pubblica.

L'impianto presenterà i seguenti componenti:

- N° 36.504 moduli fotovoltaici in silicio HJT (potenza nominale di 660 Wp), installati su inseguitori assiali in configurazione 'portrait' (in verticale), saranno orientati ('azimuth') a Sud (20°) e avranno un'inclinazione variabile in base al percorso del sole durante il giorno con angolo variabile rispetto all'orizzontale ('tilt') di -50°/+50°.
- I moduli impiegati saranno suddivisi in 3 aree secondo la planimetria inserita nel presente progetto definitivo e secondo le quantità indicate in seguito:

Tabella 1 – Superfici impianto

	Area	Superficie Catastale [mq]	Superficie di impianto [mq]
	Area 1	73.700	21.004
	Area 2	157.012	45.121
	Area 3	111.146	32.479
	TOT	341.858	98.604


- Le strutture di supporto saranno di tipo trackers, ovvero inseguitori monoassiali con caratteristiche di orientamento ed inclinazione definite al punto precedente; i trackers saranno dotati di tecnologia di backtracking al fine di ridurre i possibili ombreggiamenti reciproci tra le file.

- N. 9 Cabine di campo (**‘CU’ o ‘Conversion Unit’**), collocate in posizione baricentrica rispetto alle varie aree dell’impianto, con la duplice funzione di collegare gli inverter presenti in campo e di elevare la tensione da BT a MT. Le stesse risultano già preassemblate ed equipaggiate da:

- un quadro BT per la protezione delle linee degli inverter;
- un trasformatore elevatore 0,8/30 kV;
- un quadro MT;
- dispositivi di comunicazione e controllo.

Le linee MT in uscita da ciascuna CU saranno collegate tra loro in serie mediante un collegamento in entra-esci fino alla Cabina di Raccolta secondo la sequenza: linea 1 in partenza dalla Cabina di Raccolta che collegherà CU1-CU2-CU3; linea 2 in partenza dalla Cabina di Raccolta che collegherà CU4-CU5-CU6; linea 3 in partenza dalla Cabina di Raccolta che collegherà CU7-CU8-CU9.

- N. 1 Cabina di Raccolta, suddivisa in 3 locali separati:
 - Locale MT in cui sarà presente il quadro MT dotato dei seguenti scomparti:
 - risalita cavi;
 - arrivo linea MT da Sottostazione Elettrica;
 - cella misure;
 - partenza linea L1;
 - partenza linea L2;
 - partenza linea L3;
 - protezione trafo ausiliari di cabina;
 - locale quadro BT ausiliari di cabina, UPS e rack dati;
 - locale trasformatore ausiliari di cabina.

	ID Documento Committente H_054_FV_00045_BCR	Pagina 6 / 37
		Numero Revisione
		00A

Inoltre, l'impianto sarà equipaggiato con tutte le apparecchiature elettriche necessarie alla protezione delle linee interne e all'immissione dell'energia prodotta in Rete.

Di seguito si riporta una tabella riepilogativa con i principali dati di progetto:


Tabella 2 – Sommario dei principali dati di progetto

Impianto	Agrivoltaico avanzato Bondeno
Comune (Provincia)	Bondeno (FE)
Coordinate (WGS84)	Latitudine: 44°55'1.2"N Longitudine: 11°15'14.4"E
Superficie di impianto	9,86 ha
Potenza di picco	24.092,64 kW _p
Tensione di sistema (CC)	1.500 V
Punto di connessione ('POD')	Stallo AT presso la SE di Terna
Tensione al POD	132 kV
Tipologia di impianto	Trackers monoassiali in configurazione 1P, con inclinazione est-ovest e tecnologia di backtracking
Moduli	N. 36.504 bifacciali dual glass in silicio cristallino da 660 W _p
Inverter	N. 85 da 330 kVA, di tipo distribuito e multistringa per installazione indoor/outdoor
Tilt	+50°/-50° circa
Azimuth	20°
Cabine	N. 9 nuove cabine di campo (Conversion Unit, 'CU') preassemblate da 3.300 kVA ciascuna. N. 1 nuova Cabina di Raccolta. N. 1 nuova Control Room.

Si riporta di seguito il layout di progetto:



Figura 2 – Inquadramento dell'area impianto su ortofoto

	ID Documento Committente H_054_FV_00045_BCR	Pagina 7 / 37
		Numero Revisione
		00A

1.3 Quadro normativo di riferimento adottato

Le Norme e i documenti assunti a riferimento per la progettazione strutturale vengono indicati di seguito.

Tabella 3 – Quadro normativo

Progetto-verifica degli elementi	
Progetto cemento armato	D.M. 17-01-2018
Progetto acciaio	D.M. 17-01-2018
Progetto legno	D.M. 17-01-2018
Progetto muratura	D.M. 17-01-2018
Azione sismica	
Norma applicata per l' azione sismica	D.M. 17-01-2018

1.4 Descrizione generale dell'opera

Tabella 4 – Dati generali dell'opera

Descrizione generale dell'opera	
Opera di nuova realizzazione	SI
Fabbricato ad uso	Vasca di fondazione, platee di fondazione.
Ubicazione	Comune di Bondeno (FE) (Regione Emilia Romagna)
	Località Ferrara (FE)
	Longitudine 11.254, Latitudine 44.917 (Riferimento WGS84), altitudine 9 m
Tipo di fondazione	Platea

Tabella 5 – Principali caratteristiche della struttura

Principali caratteristiche della struttura			
Struttura regolare in pianta		SI	
Struttura regolare in altezza		SI	
Classe di duttilità		ND struttura non dissipativa	
Elementi non strutturali		Cabina prefabbricata posta sopra la fondazione	
Elementi secondari		Cabina prefabbricata posta sopra la fondazione	
Elementi in falso		Nessun elemento in falso	
Condizioni per cui è necessario considerare la componente verticale del sisma		Nessuna condizione	
Analisi per carichi non sismici		SI	
Analisi sismica		Statica lineare	
Verifica SLD di resistenza		NO	
Parametri della struttura			
Classe d'uso	Vita Vn [anni]	Coeff. Uso	Periodo Vr [anni]
IV	50.0	2.0	100.0

Si riportano delle immagini esplicative relative alle strutture analizzate.

- Vasca trasformatore sottostazione

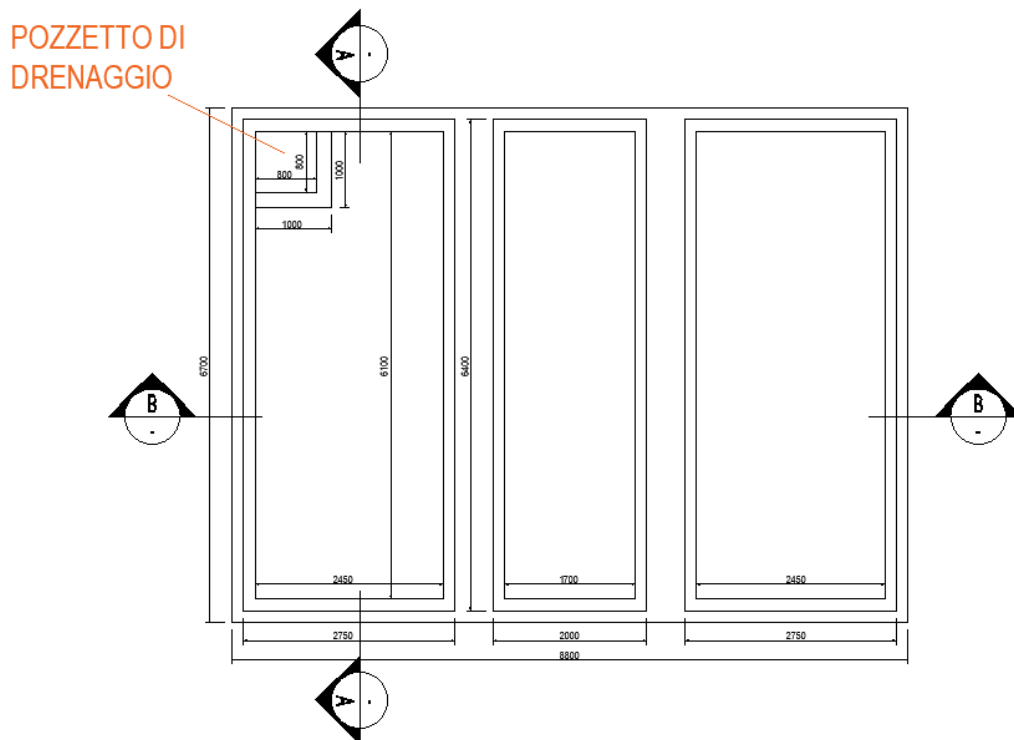


Figura 3 – Planimetria vasca di fondazione trasformatore SSE

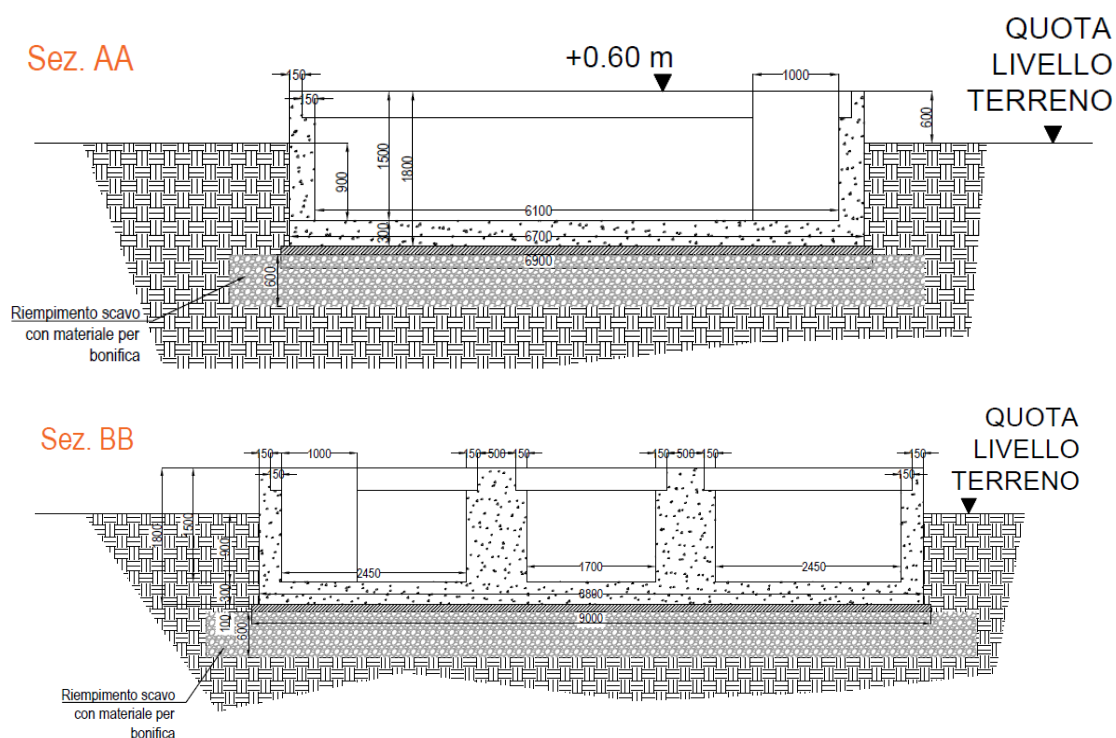


Figura 4 – Sezioni vasca di fondazione trasformatore SSE

- Fondazioni colonne sottostazione

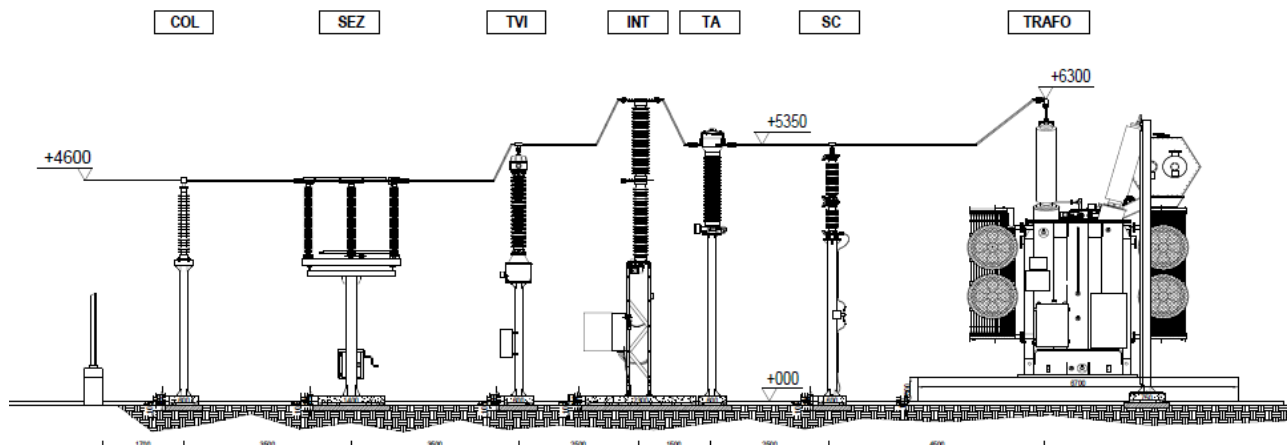


Figura 5 – Disegni colonne sottostazione

- Fondazione cabina utente

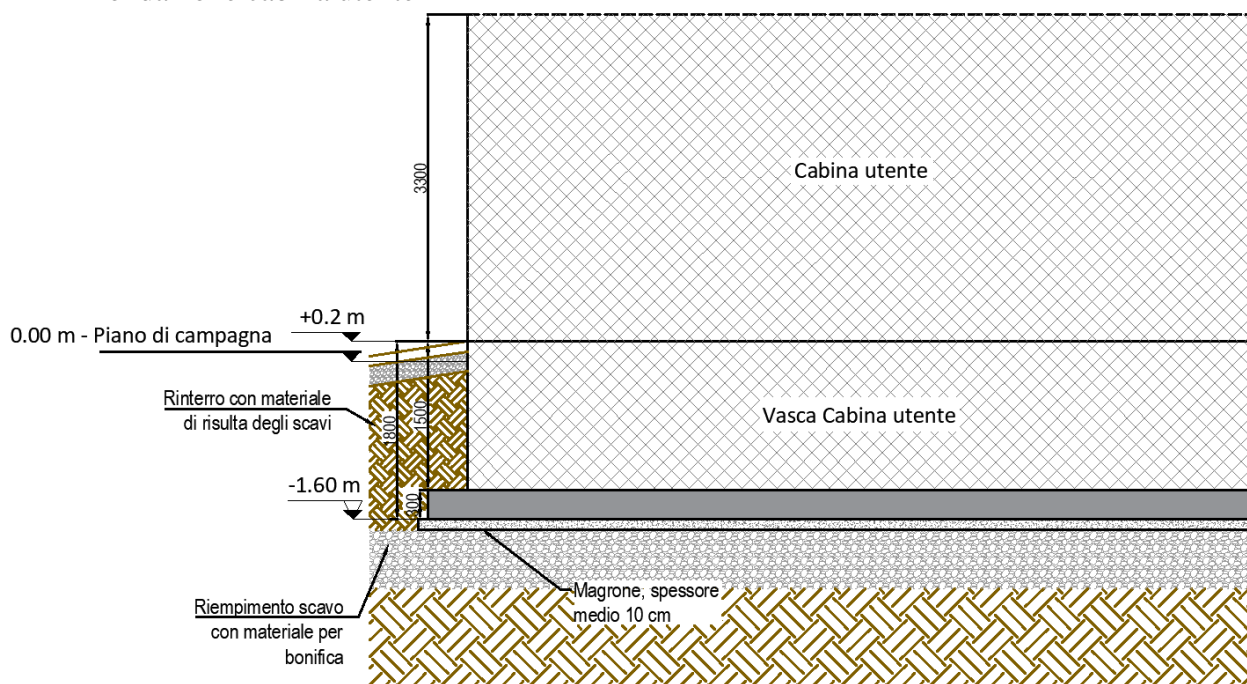



Figura 6 – Sezione fondazione cabina utente

	ID Documento Committente H_054_FV_00045_BCR	Pagina 10 / 37
		Numero Revisione
		00A

2 Metodi e codici di calcolo

Il dimensionamento e le verifiche vengono effettuate sulla base del metodo semiprobabilistico agli stati limite ultimi. Per il progetto in esame bisognerà garantire il rispetto degli Stati Limite Ultimi (SLU) e degli Stati Limite d'Esercizio (SLE) come richiesto dalle NTC18 per le nuove costruzioni.

La procedura progettuale può essere schematizzata nei seguenti step:

Definizione delle azioni agenti e delle combinazioni di carico per i vari stati limite considerati;

Predimensionamento degli elementi strutturali;

Verifica nei confronti degli stati limiti richiesti dalla normativa.

L'analisi delle strutture è stata svolta mediante l'ausilio di fogli di calcolo generati su Excel.

3 Caratteristiche materiali utilizzati

Nell'esecuzione delle opere oggetto della presente relazione è previsto l'utilizzo dei seguenti materiali con le relative caratteristiche:

Caratteristiche del calcestruzzo utilizzato per il magrone:

Tabella 6 – Calcestruzzo C12/15

Classe di resistenza	C 12/15
Resistenza caratteristica cilindrica fck	12 MPa
Resistenza caratteristica cubica Rck	15 MPa
Resistenza caratteristica a trazione fctk	1.27 MPa
Modulo di Young Ecm	28000 MPa
Coefficiente di Poisson	0.2
Densità ρ	kN/mc

Caratteristiche del calcestruzzo utilizzato le fondazioni:


Tabella 7 – Calcestruzzo C25/30

Classe di resistenza	C 25/30
Classe di esposizione	C 25/30 per classe di esposizione XC2 in accordo a Prospetto F.1 della UNI EN 206 e UNI 11104
Copriferro minimo	30 mm
Resistenza caratteristica cilindrica fck	25 MPa
Resistenza caratteristica cubica Rck	30 MPa
Resistenza caratteristica a trazione fctk	1,80 MPa

Caratteristiche dell'acciaio d'armatura:

Tabella 8 – Acciaio B450C

Classe di resistenza	B450C
Resistenza caratteristica a snervamento fyk	450 MPa
Resistenza caratteristica a rottura ftk	540 MPa
Modulo Elastico Es	200000 MPa
Coefficiente di Poisson	0.3
Densità ρ	78.5 kN/mc

	ID Documento Committente H_054_FV_00045_BCR	Pagina 12 / 37
		Numero Revisione
		00A

4 Carichi agenti permanenti e variabili

Normativa di riferimento:

D.M. 17 gennaio 2018 - NORME TECNICHE PER LE COSTRUZIONI

Cap. 3 - AZIONI SULLE COSTRUZIONI - Par. 3.3 e 3.4

Circolare n.7 - 21 gennaio 2019 C.S.LL.PP.

Si riportano a seguire i calcoli effettuati per la determinazione delle azioni agenti sulla struttura.

4.1 Localizzazione dell'intervento

Ubicazione:

Tabella 9 – Ubicazione intervento

Località	BONDENO
Provincia	FERRARA
Regione	EMILIA-ROMAGNA
Latitudine	44,917351 N
Longitudine	11,254145 E
Altitudine s.l.m.	9,0 m

4.2 Carichi permanenti strutturali (G1)

Per la definizione del carico permanente strutturale si fa riferimento al valore di densità di volume.

Tabella 10 – Carichi permanenti strutturali

Materiale	Densità kN/m ³
Calcestruzzo armato	25.00

4.3 Carichi permanenti non strutturali (G2)

I carichi permanenti non strutturali fanno riferimento a quegli elementi che non hanno funzione strutturale, ma che insistono in modo permanente sulla struttura. Il carico permanente considerato per il dimensionamento della vasca di fondazione è dato dalla tabella presente in scheda tecnica, qui riportata.

Tabella 11 – Carichi permanenti non strutturali

Descrizione	Tipo	Valore	
Peso Trasformatore sottostazione	G ₂	340	kN
Peso Olio Trasformatore sottostazione	G ₂	180	kN
Peso Cabina utente	G ₂	1270	kN
Peso Attrezzatura Cabina utente	G ₂	15	kN
Peso Vasca Cabina utente	G ₂	396	kN

4.4 Carico variabile (Q)

I carichi variabili fanno riferimento a quegli elementi che non hanno funzione strutturale, ma che insistono in modo variabile sulla struttura. Ai fini del seguente calcolo si è deciso di assimilare i locali ad uffici non aperti al pubblico, categoria B1. Si riportano la tabella da Ntc2018 coi carichi variabili possibili e la tabella col carico variabile adottato.

Tab. 3.1.II - Valori dei sovraccarichi per le diverse categorie d'uso delle costruzioni

Cat.	Ambienti	q_k [kN/m²]	Q_k [kN]	H_k [kN/m]
A	Ambienti ad uso residenziale			
	Aree per attività domestiche e residenziali; sono compresi in questa categoria i locali di abitazione e relativi servizi, gli alberghi (ad esclusione delle aree soggette ad affollamento), camere di degenza di ospedali	2,00	2,00	1,00
	Scale comuni, balconi, ballatoi	4,00	4,00	2,00
	Uffici			
B	Cat. B1 Uffici non aperti al pubblico	2,00	2,00	1,00
	Cat. B2 Uffici aperti al pubblico	3,00	3,00	1,00
	Scale comuni, balconi e ballatoi	4,00	4,00	2,00
C	Ambienti suscettibili di affollamento			
	Cat. C1 Aree con tavoli, quali scuole, caffè, ristoranti, sale per banchetti, lettura e ricevimento	3,00	3,00	1,00
	Cat. C2 Aree con posti a sedere fissi, quali chiese, teatri, cinema, sale per conferenze e attesa, aule universitarie e aule magne	4,00	4,00	2,00
	Cat. C3 Ambienti privi di ostacoli al movimento delle persone, quali musei, sale per esposizioni, aree d'accesso a uffici, ad alberghi e ospedali, ad atri di stazioni ferroviarie	5,00	5,00	3,00
	Cat. C4. Aree con possibile svolgimento di attività fisiche, quali sale da ballo, palestre, palcoscenici.	5,00	5,00	3,00
	Cat. C5. Aree suscettibili di grandi affollamenti, quali edifici per eventi pubblici, sale da concerto, palazzetti per lo sport e relative tribune, gradinate e piattaforme ferroviarie.	5,00	5,00	3,00
	Scale comuni, balconi e ballatoi	Secondo categoria d'uso servita, con le seguenti limitazioni		
		≥ 4,00	≥ 4,00	≥ 2,00
D	Ambienti ad uso commerciale			
	Cat. D1 Negozi	4,00	4,00	2,00
	Cat. D2 Centri commerciali, mercati, grandi magazzini	5,00	5,00	2,00
	Scale comuni, balconi e ballatoi	Secondo categoria d'uso servita		
E	Aree per immagazzinamento e uso commerciale ed uso industriale			
	Cat. E1 Aree per accumulo di merci e relative aree d'accesso, quali biblioteche, archivi, magazzini, depositi, laboratori manifatturieri	≥ 6,00	7,00	1,00*
	Cat. E2 Ambienti ad uso industriale	da valutarsi caso per caso		
F-G	Rimesse e aree per traffico di veicoli (esclusi i ponti)			
	Cat. F Rimesse, aree per traffico, parcheggio e sosta di veicoli leggeri (peso a pieno carico fino a 30 kN)	2,50	2 x 10,00	1,00**
	Cat. G Aree per traffico e parcheggio di veicoli medi (peso a pieno carico compreso fra 30 kN e 160 kN), quali rampe d'accesso, zone di carico e scarico merci.	5,00	2 x 50,00	1,00**
H-K	Coperture			
	Cat. H Coperture accessibili per sola manutenzione e riparazione	0,50	1,20	1,00
	Cat. I Coperture praticabili di ambienti di categoria d'uso compresa fra A e D	secondo categorie di appartenenza		
	Cat. K Coperture per usi speciali, quali impianti, eliporti.	da valutarsi caso per caso		

* non comprende le azioni orizzontali eventualmente esercitate dai materiali immagazzinati.

** per i soli parapetti o partizioni nelle zone pedonali. Le azioni sulle barriere esercitate dagli automezzi dovranno essere valutate caso per caso.

Figura 7 – Carichi variabili da normativa


	ID Documento Committente H_054_FV_00045_BCR	Pagina 14 / 37
		Numero Revisione
		00A

Tabella 12 – Carichi variabili adottati

Descrizione	Tipo	Valore	
Variabile da normativa	Q	200	kg/mq

4.5 Neve

Il carico della neve sulle coperture è calcolato in relazione ai seguenti parametri:

Zona: macro area derivante dalla suddivisione del territorio nazionale;

Esp.: zona topografica di esposizione al vento;

C_e: coefficiente di esposizione al vento;

T_R: periodo di ritorno di progetto espresso in anni;

a_s: altitudine del sito;

q_{sk}: valore caratteristico del carico della neve al suolo (per Tr = 100 anni);

Tabella 13 – Dati calcolo azione da neve

Zona	Esposizione	C _e	T _R	a _s	q _{sk}
II	Zona normale	1,00	100 anni	9 m	100,00

Copertura ad una falda:

Angolo di inclinazione della falda $\alpha = 0,0^\circ$

- Copertura piana W = 3.2 m, L = 6.3 m \Rightarrow Lc = 4.8, Cef = 1.000

m1 = 0,80 \Rightarrow Q1 = 80 daN/mq

Schema di carico:

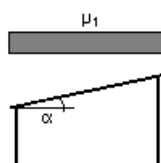


Figura 8 – Schema di carico per carico da neve

4.6 Vento

La velocità del vento è calcolata in relazione ai seguenti parametri:

Zona: macro area derivante dalla suddivisione del territorio nazionale (NTC - Tab. 3.3.I);

V_{b,0}: velocità base della zona (NTC - Tab. 3.3.I);

a₀: altitudine base della zona (NTC - Tab. 3.3.I);

k_s: parametro in funzione della zona in cui sorge la costruzione (NTC - Tab. 3.3.I);

a_s: altitudine del sito;

T_R: periodo di ritorno di progetto espresso in anni;

V_b: velocità di riferimento calcolata come segue:

$$V_b = V_{b,0} \text{ per } a_s \leq a_0$$

$$V_b = V_{b,0} (1 + k_s ((a_s / a_0) - 1)) \text{ per } a_0 < a_s \leq 1500 \text{ m}$$

per $a_s > 1500 \text{ m}$ vanno ricavati da opportuna documentazione o da indagini comprovate

Tali valori non dovranno essere minori di quelli previsti per $a_s = 1500 \text{ m}$

C_r : coefficiente di ritorno in funzione del periodo di ritorno T_R

V_r : velocità di riferimento riferita al periodo di ritorno T_R

Tabella 14 – Dati calcolo azione da vento

Zona	$V_{b,0}$	a_0	k_s	a_s	T_R	V_b	C_r	V_r
2	25 m/s	750 m	0,45	9 m	100 anni	25,00 m/s	1,063	26,57 m/s

Pressione cinetica di riferimento, $q_r = r V_r^2 / 2 = 44,1 \text{ daN/mq}$

dove: r è la densità dell'aria (assunta convenzionalmente costante = 1,25 kg/mc)

Esposizione: Cat. II - Entroterra tra 10 e 40 km dalla costa

Da cui i parametri della tabella 3.3.II delle NTC

Tabella 15 – Parametri tabella 3.3.II NTC

K_r	z_0	z_{min}
0,19	0,05 m	4 m

Classe di rugosità del terreno: D (NTC - Tab. 3.3.III)

Aree prive di ostacoli o con al di più rari ostacoli isolati (aperta campagna, aeroporti, aree agricole, zone paludose o sabbiose, superfici innevate o ghiacciate, mare, laghi,..)

L'azione del vento sulle costruzioni è determinata dai seguenti parametri:

C_p : coefficiente di pressione;

C_d : coefficiente dinamico;

C_t : coefficiente di topografia;

C_e : coefficiente di esposizione (funzione di z , z_0 e C_t);

z : altezza sul suolo.

Tabella 16 – Raccolta parametri per carico vento

C_p	C_t	C_e	z
1,00	1,00	1,80	3,00 m

Pressione del vento

C_d -zona sopravvento = 0.8

C_d -zona sottovento = 0.4

C_d -copertura = 0.4

P – zona sopravvento = $q_r C_e C_p C_d = 63,5 \text{ daN/mq}$

P – zona sottovento = $q_r C_e C_p C_d = 31,75 \text{ daN/mq}$

P – copertura = $q_r C_e C_p C_d = 31,75 \text{ daN/mq}$

5 Azione sismica

La zona in oggetto è classificata ai sensi delle normative vigenti e con riferimento all'ultima delibera regionale n.1164 del 23 luglio 2018 l'area in oggetto ricadente nel comune di Bondeno (FE) è classificata come zona sismica 3;

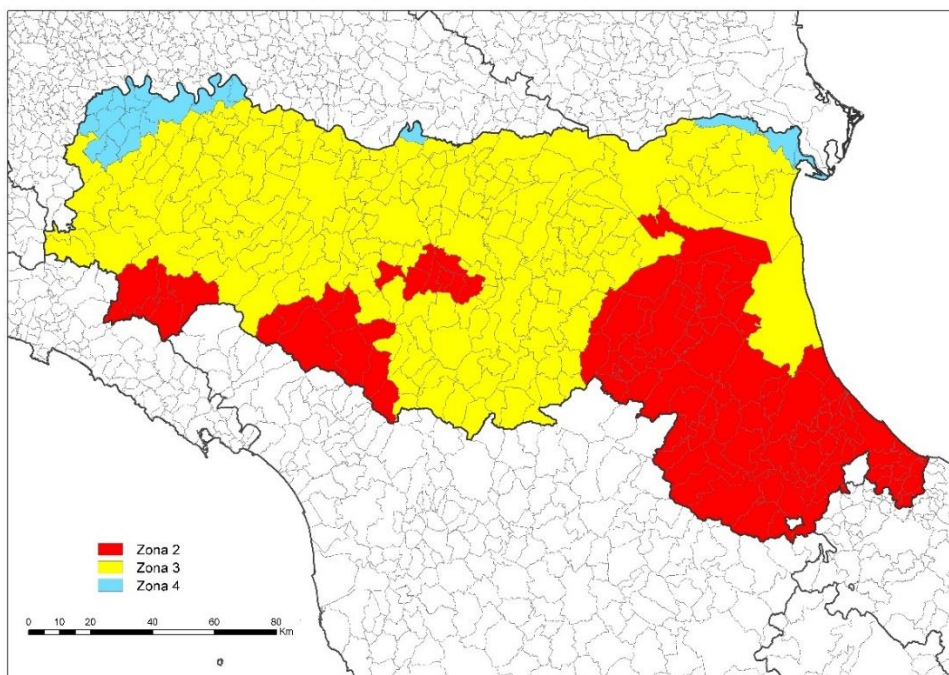


Figura 9 – Mappa zone sismiche Emilia-Romagna

L'azione sismica di progetto è valutata in conformità alle indicazioni riportate al §3.2 del D.M. 2018. In particolare, il procedimento per la definizione degli spettri di progetto per i vari Stati Limite per cui sono state effettuate le verifiche è stato il seguente:


- definizione della Vita Nominale e della Classe d'Uso della struttura, il cui uso combinato ha portato alla definizione del Periodo di Riferimento dell'azione sismica;
- individuazione, tramite latitudine e longitudine, dei parametri sismici di base a_g , F_0 e T^*c per tutti e quattro gli Stati Limite previsti (SLO, SLD, SLV e SLC); l'individuazione è stata effettuata interpolando tra i 4 punti più vicini al punto di riferimento dell'edificio;
- determinazione dei coefficienti di amplificazione stratigrafica e topografica;
- Calcolo del periodo T_c corrispondente all'inizio del tratto a velocità costante dello spettro.

I dati così calcolati sono stati utilizzati per determinare gli Spettri di Progetto nelle verifiche agli Stati Limite considerate. Si riportano di seguito le coordinate geografiche del sito:

Oltre alla determinazione dei parametri sismici del sito si è considerata la tipologia di terreno, la posizione

topografica e la tipologia strutturale (classe di duttilità, regolarità, ecc..) che ha condotto alla determinazione dei seguenti spettri di risposta.

L'azione sismica sulle costruzioni è valutata a partire dalla “pericolosità sismica di base”, in condizioni ideali di sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale.

	ID Documento Committente H_054_FV_00045_BCR	Pagina 17 / 37
		Numero Revisione
		00A

Lo spettro di risposta elastico in accelerazione della componente orizzontale del moto sismico, S_e , è definito dalle seguenti espressioni:

Dove per sottosuolo di categoria A i coefficienti S_s e C_c valgono 1; mentre per le categorie di sottosuolo B, C, D, E i coefficienti S_s e C_c vengono calcolati mediante le espressioni riportate nella seguente Tabella.

Categoria sottosuolo	S_s	C_c
A	1,00	1,00
B	$1,00 \leq 1,40 - 0,40 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,20$	$1,10 \cdot (T_c^*)^{-0,20}$
C	$1,00 \leq 1,70 - 0,60 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,50$	$1,05 \cdot (T_c^*)^{-0,33}$
D	$0,90 \leq 2,40 - 1,50 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,80$	$1,25 \cdot (T_c^*)^{-0,50}$
E	$1,00 \leq 2,00 - 1,10 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,60$	$1,15 \cdot (T_c^*)^{-0,40}$

Figura 10 – Coefficienti sottosuolo


Per tenere conto delle condizioni topografiche e in assenza di specifiche analisi di risposta sismica locale, si utilizzano i valori del coefficiente topografico S_T riportati nella seguente Tabella

Categoria topografica	Ubicazione dell'opera o dell'intervento	S_T
T1	-	1,0
T2	In corrispondenza della sommità del pendio	1,2
T3	In corrispondenza della cresta di un rilievo con pendenza media minore o uguale a 30°	1,2
T4	In corrispondenza della cresta di un rilievo con pendenza media maggiore di 30°	1,4

Figura 11 – Coefficienti topografici

Lo spettro di risposta elastico in accelerazione della componente verticale del moto sismico, S_{ve} , è definito dalle espressioni:

$$\begin{aligned}
0 \leq T < T_B & \quad S_{ve}(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left[\frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_o} \left(1 - \frac{T}{T_B} \right) \right] \\
T_B \leq T < T_C & \quad S_{ve}(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \\
T_C \leq T < T_D & \quad S_{ve}(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left(\frac{T_C}{T} \right) \\
T_D \leq T & \quad S_{ve}(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left(\frac{T_C \cdot T_D}{T^2} \right)
\end{aligned}$$

	ID Documento Committente H_054_FV_00045_BCR	Pagina 18 / 37
		Numero Revisione
		00A

La struttura è localizzata in:

Tabella 17 – localizzazione intervento

Localizzazione
Località Ferrara (FE)
Comune di Bondeno (FE)
Regione Emilia Romagna
Longitudine 11.254, Latitudine 44.917 (Riferimento WGS84)

L'azione sismica viene definita in relazione a un periodo di riferimento V_r che si ricava, per ciascun tipo di costruzione, moltiplicandone la vita nominale per il coefficiente d'uso (vedi tabella Parametri della struttura). Fissato il periodo di riferimento V_r e la probabilità di superamento P_{ver} associata a ciascuno degli stati limite considerati, si ottiene il periodo di ritorno T_r e i relativi parametri di pericolosità sismica (vedi tabella successiva):

a_g : accelerazione orizzontale massima del terreno;

F_o : valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;

T_c^* : periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale;

Tabella 18 – Parametri della struttura

Parametri della struttura						
Classe d'uso	Vita V_n	Coeff. Uso	Periodo V_r	Tipo di suolo	Categoria topografica	Quota relativa
	[anni]		[anni]			[%]
IV	50.0	2.0	100.0	C	T1	-

La risposta sismica locale (RSL) è definita come da NTC 2018 Tab. 3.2.II e Tab. 3.2.III.

5.1 Calcolo azioni da sisma

ISTITUTO NAZIONALE DI GEOFISICA E VULCANOLOGIA

p.e. 10% in 50 anni

Nota: per il calcolo dei parametri sismici
1) inserire le coordinate geografiche 2) introdurre Vn e Cu

Per le isole è possibile utilizzare come località: gruppo isole N
[con N = 1,2,3,4,5]

Vertici della maglia elementare INGV [riferimento ED50]

Id nodo	Longitudine	Latitudine	Distanza [km]
14953	11.232	44.914	1.886
14954	11.303	44.915	3.790
14732	11.301	44.965	6.333
14731	11.231	44.964	5.434

Coordinate geografiche [riferimento WGS84]

Località:

Longitudine: Latitudine:

Applica la Risposta Sismica Locale: ☐

Parametri per le forme spettrali

	Pver	Tr	ag [g]	Fo	T*c
SLO	81	60.21	0.0474	2.528	0.275
SLD	63	100.58	0.0607	2.515	0.283
SLV	10	949.12	0.1613	2.563	0.283
SLC	5	1949.57	0.2125	2.501	0.293

Periodo di riferimento per l'azione sismica

Vita Vn [anni]	Coefficiente uso Cu	Periodo Vr [anni]	Livello di sicurezza
<input type="text" value="50"/>	<input type="text" value="2"/>	<input type="text" value="100"/>	<input type="text" value="100"/>

☐ Rimuovi limiti Vr e Tr (di norma NO)

Figura 12 – Localizzazione intervento

Classe d'uso

☐ I edifici di minor importanza per la sicurezza pubblica [edifici agricoli...]

☐ II edifici ordinari

☐ III edifici importanti in relazione alle conseguenze di un eventuale collasso (scuole, teatri...)

☒ IV edifici la cui funzionalità ha importanza fondamentale per la protezione civile (ospedali, municipi...)

Pericolosità e zonazione

pericolosità sismica

agS per SLV:

Modalità di progettazione semplificata per agS < 0.075 ☐

Strutture esistenti


☒ LC1: conoscenza limitata

☐ LC2: conoscenza adeguata

☐ LC3: conoscenza accurata

Fattore di confidenza FC:

Figura 13 – Classe d'Uso

	<p>ID Documento Committente</p> <p>H_054_FV_00045_BCR</p>	Pagina 20 / 37
		Numero Revisione
		00A

<p>Categoria di suolo di fondazione</p> <p><input type="radio"/> A Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi ...</p> <p><input type="radio"/> B Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti ...</p> <p><input checked="" type="radio"/> C Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti ...</p> <p><input type="radio"/> D Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti ...</p> <p><input type="radio"/> E Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D ...</p>	<p>Categoria topografica</p> <p><input checked="" type="radio"/> T1</p> <p><input type="radio"/> T2 in sommità al pendio</p> <p><input type="radio"/> T3 in cresta al rilievo con moderata pendenza</p> <p><input type="radio"/> T4 in cresta al rilievo</p> <p><input type="text" value="100"/> quota relativa (%)</p> <p>Spettri di progetto</p> <p><input type="checkbox"/> Usa spettri esterni <input data-bbox="1225 857 1417 913" type="button" value="Sfoglia..."/></p>
---	--

Figura 14 – Categorie sottosuolo e topografiche

<p>Parametri e fattori spettrali</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>S.L.</th> <th>ag</th> <th>S</th> <th>Fo</th> <th>Fv</th> <th>TB</th> <th>TC</th> <th>TD</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>SLO</td> <td><input type="text" value="0.047"/></td> <td><input type="text" value="1.500"/></td> <td><input type="text" value="2.528"/></td> <td><input type="text" value="0.743"/></td> <td><input type="text" value="0.147"/></td> <td><input type="text" value="0.442"/></td> <td><input type="text" value="1.790"/></td> </tr> <tr> <td>SLD</td> <td><input type="text" value="0.061"/></td> <td><input type="text" value="1.500"/></td> <td><input type="text" value="2.515"/></td> <td><input type="text" value="0.837"/></td> <td><input type="text" value="0.150"/></td> <td><input type="text" value="0.451"/></td> <td><input type="text" value="1.843"/></td> </tr> <tr> <td>SLV</td> <td><input type="text" value="0.161"/></td> <td><input type="text" value="1.452"/></td> <td><input type="text" value="2.563"/></td> <td><input type="text" value="1.390"/></td> <td><input type="text" value="0.150"/></td> <td><input type="text" value="0.451"/></td> <td><input type="text" value="2.245"/></td> </tr> <tr> <td>SLC</td> <td><input type="text" value="0.212"/></td> <td><input type="text" value="1.381"/></td> <td><input type="text" value="2.501"/></td> <td><input type="text" value="1.556"/></td> <td><input type="text" value="0.154"/></td> <td><input type="text" value="0.461"/></td> <td><input type="text" value="2.450"/></td> </tr> <tr> <td colspan="2">Verticale per tutti:</td> <td><input type="text" value="1.000"/></td> <td></td> <td></td> <td><input type="text" value="0.050"/></td> <td><input type="text" value="0.150"/></td> <td><input type="text" value="1.000"/></td> </tr> <tr> <td>eta SLO</td> <td>q SLD x</td> <td>q SLD y</td> <td>q SLD z</td> <td>q SLU x</td> <td>q SLU y</td> <td>q SLU z</td> <td></td> </tr> <tr> <td><input type="text" value="1.0"/></td> <td><input type="text" value="1.0"/></td> <td><input type="text" value="1.0"/></td> <td><input type="text" value="1.0"/></td> <td><input type="text" value="1.0"/></td> <td><input type="text" value="1.0"/></td> <td><input type="text" value="1.0"/></td> <td><input data-bbox="1074 1496 1177 1529" type="button" value="Aiuto..."/></td> </tr> <tr> <td colspan="4"><input data-bbox="164 1563 395 1597" type="button" value="Smorzamento..."/></td> <td><input type="text" value="1.0"/></td> <td><input type="text" value="1.0"/></td> <td colspan="2"><= Esistenti v. fragili</td> </tr> </tbody> </table>								S.L.	ag	S	Fo	Fv	TB	TC	TD	SLO	<input type="text" value="0.047"/>	<input type="text" value="1.500"/>	<input type="text" value="2.528"/>	<input type="text" value="0.743"/>	<input type="text" value="0.147"/>	<input type="text" value="0.442"/>	<input type="text" value="1.790"/>	SLD	<input type="text" value="0.061"/>	<input type="text" value="1.500"/>	<input type="text" value="2.515"/>	<input type="text" value="0.837"/>	<input type="text" value="0.150"/>	<input type="text" value="0.451"/>	<input type="text" value="1.843"/>	SLV	<input type="text" value="0.161"/>	<input type="text" value="1.452"/>	<input type="text" value="2.563"/>	<input type="text" value="1.390"/>	<input type="text" value="0.150"/>	<input type="text" value="0.451"/>	<input type="text" value="2.245"/>	SLC	<input type="text" value="0.212"/>	<input type="text" value="1.381"/>	<input type="text" value="2.501"/>	<input type="text" value="1.556"/>	<input type="text" value="0.154"/>	<input type="text" value="0.461"/>	<input type="text" value="2.450"/>	Verticale per tutti:		<input type="text" value="1.000"/>			<input type="text" value="0.050"/>	<input type="text" value="0.150"/>	<input type="text" value="1.000"/>	eta SLO	q SLD x	q SLD y	q SLD z	q SLU x	q SLU y	q SLU z		<input type="text" value="1.0"/>	<input type="text" value="1.0"/>	<input type="text" value="1.0"/>	<input type="text" value="1.0"/>	<input type="text" value="1.0"/>	<input type="text" value="1.0"/>	<input type="text" value="1.0"/>	<input data-bbox="1074 1496 1177 1529" type="button" value="Aiuto..."/>	<input data-bbox="164 1563 395 1597" type="button" value="Smorzamento..."/>				<input type="text" value="1.0"/>	<input type="text" value="1.0"/>	<= Esistenti v. fragili		<p>Duttilità</p> <p><input checked="" type="radio"/> ND - non dissipativa</p> <p><input type="radio"/> B - media</p> <p><input type="radio"/> A - alta</p> <p>Regolarità</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> in pianta</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> in altezza</p> <p>Edifici isolati</p> <p><input type="text" value="2.0"/> T is</p> <p><input type="text" value="10.0"/> s esi</p> <p><input data-bbox="1225 1585 1417 1619" type="button" value="Info..."/></p>
S.L.	ag	S	Fo	Fv	TB	TC	TD																																																																									
SLO	<input type="text" value="0.047"/>	<input type="text" value="1.500"/>	<input type="text" value="2.528"/>	<input type="text" value="0.743"/>	<input type="text" value="0.147"/>	<input type="text" value="0.442"/>	<input type="text" value="1.790"/>																																																																									
SLD	<input type="text" value="0.061"/>	<input type="text" value="1.500"/>	<input type="text" value="2.515"/>	<input type="text" value="0.837"/>	<input type="text" value="0.150"/>	<input type="text" value="0.451"/>	<input type="text" value="1.843"/>																																																																									
SLV	<input type="text" value="0.161"/>	<input type="text" value="1.452"/>	<input type="text" value="2.563"/>	<input type="text" value="1.390"/>	<input type="text" value="0.150"/>	<input type="text" value="0.451"/>	<input type="text" value="2.245"/>																																																																									
SLC	<input type="text" value="0.212"/>	<input type="text" value="1.381"/>	<input type="text" value="2.501"/>	<input type="text" value="1.556"/>	<input type="text" value="0.154"/>	<input type="text" value="0.461"/>	<input type="text" value="2.450"/>																																																																									
Verticale per tutti:		<input type="text" value="1.000"/>			<input type="text" value="0.050"/>	<input type="text" value="0.150"/>	<input type="text" value="1.000"/>																																																																									
eta SLO	q SLD x	q SLD y	q SLD z	q SLU x	q SLU y	q SLU z																																																																										
<input type="text" value="1.0"/>	<input type="text" value="1.0"/>	<input type="text" value="1.0"/>	<input type="text" value="1.0"/>	<input type="text" value="1.0"/>	<input type="text" value="1.0"/>	<input type="text" value="1.0"/>	<input data-bbox="1074 1496 1177 1529" type="button" value="Aiuto..."/>																																																																									
<input data-bbox="164 1563 395 1597" type="button" value="Smorzamento..."/>				<input type="text" value="1.0"/>	<input type="text" value="1.0"/>	<= Esistenti v. fragili																																																																										

Figura 15 – Parametri e fattori spettrali

Dati comuni per le analisi		Dati per analisi statica lineare e non lineare			
Quota spiccato [cm]	0.0	Altezza edificio [cm]	120.0	N. orizzontamenti	1
Contributo carichi in fondazione	<input type="checkbox"/>	Fatt. Lambda [0.85 - 1]	1.0	Calcola periodi T1	
Eccentricità aggiuntiva X:	5 Y: 5	Periodo T1 [primo modo]	0.066	dir. x-x	dir. y-y
Spost. relativo rapp. SLC/SLD	ex. muratura 5	Sd (T1) - SLU	0.395	0.437	0.183
		Se (T1) - SLD	0.152	0.167	0.042
		Rapp T1/TrZ	0.884	1.119	
Dati per analisi dinamica		suggerito:			
N. modi	15	N. modi rigidi	0	Accelerazione uniforme [Fi=Fh]	<input type="checkbox"/> NO
				Eccentricità convenzionale con momenti Mz	<input type="checkbox"/> NO
				Usa spostamenti medi di piano per pushover	<input checked="" type="checkbox"/> SI

Figura 16 – Dati per le analisi

Si riporta il grafico dello spettro utilizzato nel progetto:

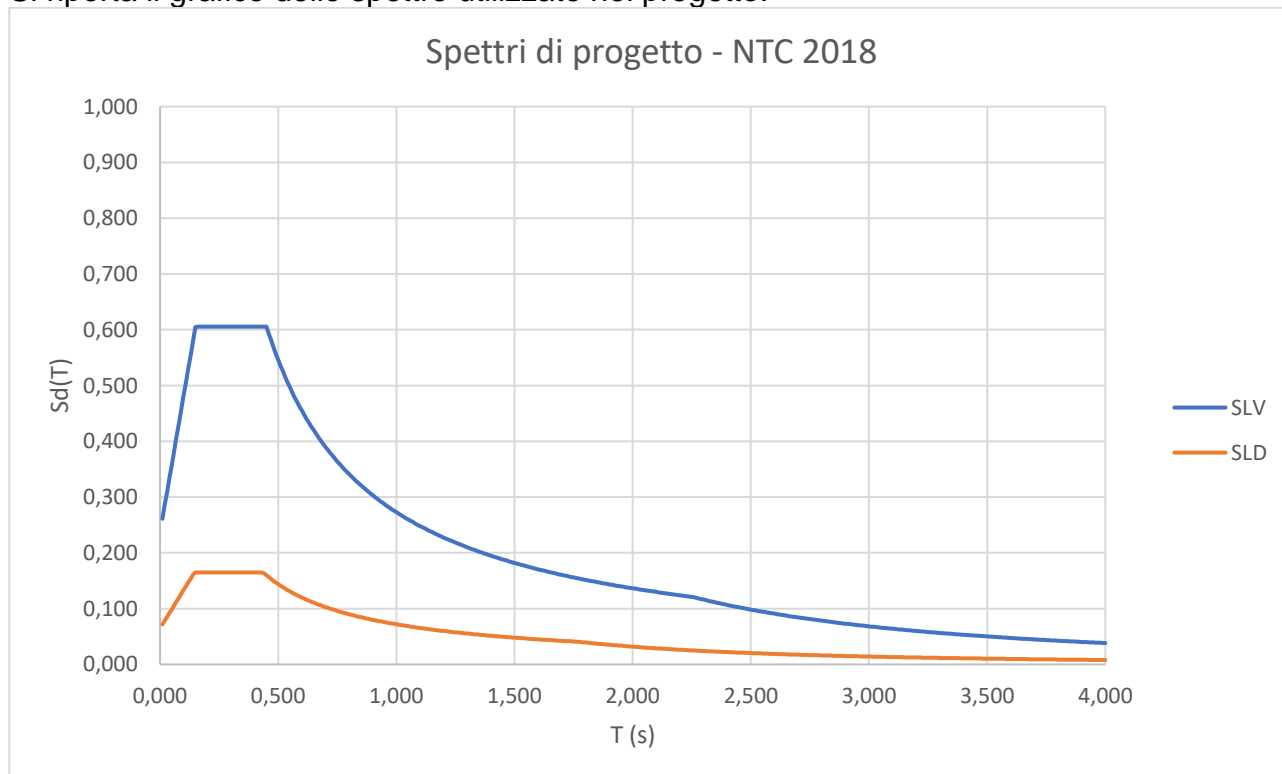



Figura 17 – Spettro di risposta utilizzato

Non conoscendo il periodo di vibrazione delle strutture si applicherà l'accelerazione massima di plateau a vantaggio di sicurezza.

	ID Documento Committente H_054_FV_00045_BCR	Pagina 22 / 37
		Numero Revisione
		00A

6 Calcolo delle Forze Elettrodinamiche Generate da Cortocircuito sulle Strutture di Supporto della Sottostazione

Nelle sottostazioni di Alta Tensione (AT), le correnti di cortocircuito generano forze elettrodinamiche significative sui conduttori e, di conseguenza, sui castelli di sostegno in acciaio. Per garantire la stabilità strutturale e la sicurezza della sottostazione, è necessario stimare il carico laterale indotto dalle forze elettrodinamiche sui supporti metallici in caso di cortocircuito. Il calcolo è stato eseguito in conformità alla normativa **IEC 60865-1**, che fornisce linee guida per la determinazione degli effetti delle correnti di cortocircuito, e alla **CEI EN 50341**, che include disposizioni per il dimensionamento dei supporti delle sottostazioni e delle linee aeree.

Per effettuare la stima delle forze elettrodinamiche sono stati considerati i seguenti dati operativi della sottostazione:

- **Tensione nominale della sottostazione:** 132 kV.
- **Corrente di cortocircuito simmetrica massima, I_{rms} :** 31,5 kA.
- **Distanza media tra i conduttori:** 2,2 m, misurata tra i conduttori paralleli che esercitano le forze maggiori sul castello.

La corrente massima di cortocircuito riportata è il valore efficace (rms) simmetrico. Per ottenere il valore di picco I_{peak} si utilizza un fattore moltiplicativo di 2,5 (secondo le disposizioni della IEC 60865-1):

$$I_{peak} = 2,5 \cdot I_{rms}$$


La forza elettrodinamica:

$$F_{HCC} = \frac{\mu_0 \cdot I_{peak}^2}{2\pi \cdot D}$$

dove:

- μ_0 è la permeabilità del vuoto ($4\pi \cdot 10^{-7}$ N/m)
- I_{peak} è la corrente di picco di cortocircuito (78,75 kA),
- D è la distanza tra i conduttori (2,2 m).

Sostituendo i valori noti la forza elettrodinamica stimata per unità di lunghezza è pari a **563,78 N/m**. Questo valore rappresenta il carico orizzontale per metro di conduttore che la struttura di sostegno deve essere in grado di sopportare in condizioni di cortocircuito. Il valore è necessario per il dimensionamento delle fondazioni, che devono essere progettate per resistere a queste forze.

	ID Documento Committente H_054_FV_00045_BCR	Pagina 23 / 37
		Numero Revisione
		00A

7 Schematizzazione dei casi di carico

E' possibile definire i casi di carico scegliendo fra le dodici tipologie elencate nella tabella seguente:

Tabella 19 – Tipo casi di carico

	Tipo CDC	Descrizione
1	Ggk	caso di carico comprensivo del peso proprio struttura
2	Gk	caso di carico con azioni permanenti
3	Qk	caso di carico con azioni variabili
4	Gsk	caso di carico comprensivo dei carichi permanenti sui solai e sulle coperture
5	Qsk	caso di carico comprensivo dei carichi variabili sui solai
6	Qnk	caso di carico comprensivo dei carichi di neve sulle coperture
7	Qtk	caso di carico comprensivo di una variazione termica agente sulla struttura
8	Qvk	caso di carico comprensivo di azioni da vento sulla struttura
9	Esk	caso di carico sismico con analisi statica equivalente
10	Edk	caso di carico sismico con analisi dinamica
11	Etk	caso di carico comprensivo di azioni derivanti dall' incremento di spinta delle terre in condizione sismica
12	Pk	caso di carico comprensivo di azioni derivanti da coazioni, cedimenti e precompressioni


I casi di carico utilizzati nella modellazione oggetto della presente relazione sono i seguenti:

Tabella 20 – Casi di carico utilizzati

TABELLA_CASI_DI_CARICO			
CDC	Tipo CDC	Sigla Id	Note
1	Ggk	CDC=Ggk (peso proprio della struttura)	
2	Edk	CDC=Ed (dinamico SLU) alfa=0.0 (ecc. +)	
3	Edk	CDC=Ed (dinamico SLU) alfa=0.0 (ecc. -)	
4	Edk	CDC=Ed (dinamico SLU) alfa=90.00 (ecc. +)	
5	Edk	CDC=Ed (dinamico SLU) alfa=90.00 (ecc. -)	
6	Edk	CDC=Ed (dinamico SLD) alfa=0.0 (ecc. +)	
7	Edk	CDC=Ed (dinamico SLD) alfa=0.0 (ecc. -)	
8	Edk	CDC=Ed (dinamico SLD) alfa=90.00 (ecc. +)	
9	Edk	CDC=Ed (dinamico SLD) alfa=90.00 (ecc. -)	
10	Gk	CDC=G2k Carichi trasmessi dalla cabina	
11	Qk	CDC=Qk Neve	
12	Qk	CDC=Qk Sisma X Cabina	
13	Qk	CDC=Qk Sisma Y Cabina.	
14	Qvk	CDC=Qvk (carico da vento) Vento X	
15	Qvk	CDC=Qvk (carico da vento) Vento Y	
16	Qk	CDC=Qk Peso Olio	

Legenda
Tipo CDC

Indica il tipo di caso di carico

	ID Documento Committente H_054_FV_00045_BCR	Pagina 24 / 37
		Numero Revisione
		00A

8 Definizione delle combinazioni

Le combinazioni previste per i diversi casi di carico (CDC) seguono le regole previste dalla Normativa vigente e sono destinate al controllo di sicurezza della struttura e alla verifica degli spostamenti e delle sollecitazioni.

Ai fini delle verifiche degli stati limite si definiscono le seguenti combinazioni delle azioni:

Combinazione fondamentale SLU

$$\gamma G_1 \cdot G_1 + \gamma G_2 \cdot G_2 + \gamma P \cdot P + \gamma Q_1 \cdot Q_{k1} + \gamma Q_2 \cdot \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \gamma Q_3 \cdot \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots$$

Combinazione caratteristica (rara) SLE

$$G_1 + G_2 + P + Q_{k1} + \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots$$

Combinazione frequente SLE

$$G_1 + G_2 + P + \psi_{11} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot Q_{k3} + \dots$$

Combinazione quasi permanente SLE

$$G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot Q_{k3} + \dots$$

Combinazione sismica, impiegata per gli stati limite ultimi e di esercizio connessi all'azione sismica E

$$E + G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot Q_{k3} + \dots$$

Combinazione eccezionale, impiegata per gli stati limite connessi alle azioni eccezionali

$$A_d + G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot Q_{k3} + \dots$$

Dove:


Tabella 21 – Tabella 2.5.1 Ntc 2018

Destinazione d'uso/azione	ψ_0	ψ_1	ψ_2
Categoria A residenziali	0,70	0,50	0,30
Categoria B uffici	0,70	0,50	0,30
Categoria C ambienti suscettibili di affollamento	0,70	0,70	0,60
Categoria D ambienti ad uso commerciale	0,70	0,70	0,60
Categoria E biblioteche, archivi, magazzini,...	1,00	0,90	0,80
Categoria F Rimesse e parcheggi (autoveicoli ≤ 30 kN)	0,70	0,70	0,60
Categoria G Rimesse e parcheggi (autoveicoli > 30 kN)	0,70	0,50	0,30
Categoria H Coperture	0,00	0,00	0,00
Vento	0,60	0,20	0,00
Neve a quota ≤ 1000 m	0,50	0,20	0,00
Neve a quota > 1000 m	0,70	0,50	0,20
Variazioni Termiche	0,60	0,50	0,00

Per quanto riguarda il dimensionamento della platea sono state considerate:

Tabella 22 – Combinazioni statiche

Comb.	Permanenti G1	Perm. Non strutt (G2)	Vento
SLU	1.3	1.5	1.5

	ID Documento Committente H_054_FV_00045_BCR	Pagina 25 / 37
		Numero Revisione
		00A

9 Verifiche di sicurezza

Nel seguente capitolo verranno affrontate le verifiche delle strutture progettate e descritti i criteri di calcolo adottati.

I calcoli e le verifiche sono condotti con il metodo semiprobabilistico degli stati limite secondo le indicazioni delle NTC18.

Per le opere di fondazione superficiali le verifiche devono essere effettuate almeno nei confronti dei seguenti limiti:

- SLU di tipo strutturale
- SLU di tipo geotecnico

Le verifiche da effettuare lato geotecnica sono relative alla stabilità globale secondo l'APPROCCIO 1 in COMBINAZIONE 2 (A2+M2+R2) e le rimanenti verifiche, quella a capacità portante e a scorrimento, secondo l'APPROCCIO 2 in combinazione 1 (A1+M1+R3).

Tabella 23 – Coefficienti parziali parametri geotecnici

Tab. 6.2.II – 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	$\tan \varphi'$	$\gamma_{\varphi'}$	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

Tabella 24 – Coefficienti parziali verifiche SLU

Tab. 6.5.I – Coefficienti parziali γ_R per le verifiche agli stati limite ultimi STR e GEO di muri di sostegno.

VERIFICA	Coefficiente parziale γ_R (R3)
Capacità portante della fondazione	1.4
Scorrimento	1.1
Ribaltamento	1.5
Resistenza del terreno a valle	1.4

Nella verifica di sicurezza per effetto delle azioni sismica si controlla che la resistenza del sistema sia maggiore delle azioni, ponendo pari all'unità i coefficienti parziali sulle azioni e sui parametri geotecnici e impiegando le resistenze di progetto con i coefficienti parziali indicati in tabella 7.1.III.

	ID Documento Committente H_054_FV_00045_BCR	Pagina 26 / 37
		Numero Revisione
		00A

10 Modellazione


Si riportano le dimensioni dei vari elementi considerati. Si fa presente che per quanto riguarda le colonne della sottostazione è stata analizzata la configurazione avente forze agenti maggiori (dovute ad altezza e lunghezza cavi agganciati alla colonna) e forze resistenti minori (dovute alla geometria della platea di base). Tutte le basi delle colonne presentano una lunghezza di 6 m, con larghezza variabile da 0,6m in su.

Tabella 25 – Dati dimensionali trasformatore e vasca di fondazione

VASCA DI FONDAZIONE			
Dati Geometrici			
Lunghezza trasformatore	$a_{Tra} =$	7,0	m
Larghezza trasformatore	$b_{Tra} =$	4,9	m
Altezza trasformatore	$h_{Tra} =$	6,0	m
Altezza baricentro trasformatore rispetto al terreno	$h_{Gtra} =$	3,6	m
Lunghezza vasca di fondazione trasformatore	$A_{Va} = a_{Tra} + 0,2 \cdot h_{Tra} + 0,6 =$	8,8	m
Larghezza vasca di fondazione trasformatore	$B_{Va} = b_{Tra} + 0,2 \cdot h_{Tra} + 0,6 =$	6,7	m
Volume calcestruzzo vasca di fondazione	$V_{Va} =$	39,69	mc
Volume d'olio necessario	$V_{nec} =$	20,57	mc
Altezza libera utile vasca	$h_{LibTra} =$	1,00	m
Volume netto libero vasca di fondazione, calcolato a vantaggio di sicurezza escludendo la parte di vasca riempita di inerti e l'ingombro del sostegno agli stessi	$V_{Lib} =$	39,26	mc
Copriferro da calcolo =	$c =$	46	mm

Tabella 26 – Dati dimensionali fondazioni a platea

DATI GEOMETRICI			
Lunghezza fondazione colonne sottostazione più sollecitate	$A_{Sstaz.} =$	6,00	m
Larghezza fondazione colonne sottostazione più sollecitate	$B_{Sstaz.} =$	0,60	m
Spessore fondazione colonne sottostazione più sollecitate	$S_{Sstaz.} =$	0,20	m
Lunghezza conduttori attinenti alle colonne più sollecitate	$L_{cond} =$	3,50	m
Altezza colonne sottostazione più sollecitate	$h_{Sstaz} =$	5,35	m
Larghezza colonne + apparecchiature	$S_{Sstaz} =$	0,35	m
Lunghezza cabina utente	$a_{Cu} =$	20,0	m
Larghezza cabina utente	$b_{Cu} =$	4,5	m
Altezza cabina utente	$h_{Cu} =$	3,3	m
Lunghezza platea sotto cabina utente	$A_{PCu} = a_{Cu} + 0,8 =$	20,8	m
Larghezza platea sotto cabina utente	$B_{PCu} = b_{Cu} + 0,8 =$	5,3	m
Spessore platea sotto cabina utente	$S_{PCu} =$	0,3	m
Volume platea sotto cabina utente	$V_{PCu} = A_{PCu} \cdot B_{PCu} \cdot S_{PCu} =$	33,07	mc
Copriferro da calcolo =	$c =$	46	mm

	ID Documento Committente H_054_FV_00045_BCR	Pagina 27 / 37
		Numero Revisione
		00A

Si riportano nel seguito le caratteristiche fisiche dei materiali utilizzati nel progetto:

Tabella 27 – Dati fisici materiali

DATI CALCESTRUZZO UTILIZZATO			
Tipo calcestruzzo		C25/30	
Resistenza caratteristica calcestruzzo	$f_{ck} =$	25	N/mm ²
Coefficiente di sicurezza per il calcestruzzo	$\gamma_c =$	1,5	
Resistenza di progetto calcestruzzo	$f_{cd} = 0,85 \cdot f_{ck} / \gamma_c =$	14,17	N/mm ²
Peso calcestruzzo	$\gamma_{cls} =$	25,00	kN/mc
DATI ACCIAIO UTILIZZATO			
Tipo acciaio		B450C	
Resistenza caratteristica acciaio	$f_{yk} =$	450	N/mm ²
Coefficiente di sicurezza per l'acciaio	$\gamma_s =$	1,15	
Resistenza di progetto acciaio	$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s =$	391,30	N/mm ²


Infine, si riportano le azioni utilizzate nel progetto:

Tabella 28 – Dati di carico

DATI DI CARICO			
Altezza applicazione forze sismiche cabina utente	$H_{SISCu} = \frac{h_{Cu}}{2} + S_{PCu} =$	1,85	m
Accelerazione sismica da plateau	$\alpha_{SIS} =$	0,60	ag/g
Peso proprio calcestruzzo armato	$\gamma_{cls} =$	25	kN/mc
Coefficiente carichi sfavorevoli variabili	$\gamma_q =$	1,5	
Coefficiente carichi sfavorevoli permanenti strutturali	$\gamma_{gst} =$	1,3	
Coefficiente carichi sfavorevoli permanenti non strutturali	$\gamma_{gnst} =$	1,5	
Carico da vento sopravvento	$p_{vsopravento} =$	0,64	kN
Carico da vento sottovento	$p_{vsottovento} =$	0,32	kN
Peso cabina utente + vasca cabina utente	$Q_{Cu} =$	1666,00	kN
Peso attrezzature cabina utente	$Q_{ACu} =$	15,00	kN
Forza sismica cabina utente	$F_{SISCu} = \alpha_{SIS} \cdot (Q_{Cu} + Q_{ACu}) =$	1008,60	kN
Carico totale da vento agente sul lato maggiore della cabina utente	$Q_{VCu} = a_{Cu} \cdot h_{Cu} \cdot (p_{vsottovento} + p_{vsopravento}) =$	63,36	kN
Carico da vento da progetto agente sul lato maggiore della cabina utente	$Q_{VED-Cu} = Q_{VCu} \cdot \gamma_{qsv} =$	95,04	kN
Carico variabile da normativa cabina utente	$Q_{VARCu} = a_{Cu} \cdot b_{Cu} \cdot Q_{variabile} =$	180,00	kN
Carico da neve agente in copertura sulla cabina utente	$Q_{NCu} = a_{Cu} \cdot b_{Cu} \cdot Q_{Neve} =$	72,00	kN
Peso platea di fondazione cabina utente	$P_{PCu} = \gamma_{cls} \cdot V_{PCu} =$	826,80	kN
Carico orizzontale per verifiche a scorrimento cabina utente	$F_{HCu} = \max(F_{SISCu}, Q_{VED-Cu}) =$	1008,60	kN
Momento instabilizzante a ribaltamento cabina utente	$M_{InstabCu} = F_{SISCu} \cdot H_{SISCu} =$	724,47	kNm

Carico verticale slu sul terreno di fondazione cabina utente	$F_{VSLU-Cu} = P_{PCu} \cdot \gamma_{gst} + (Q_{Cu} + Q_{ACu}) \cdot \gamma_{gnst} + Q_{VARCu} \cdot \gamma_q + 0,5 \cdot Q_{NCu} \cdot \gamma_q =$	3920,34	kN
Carico verticale slu agente sulla platea della cabina utente	$F_{VSLU-PCu} = (Q_{Cu} + Q_{ACu}) \cdot \gamma_{gnst} + Q_{VARCu} \cdot \gamma_q + 0,5 \cdot Q_{NCu} \cdot \gamma_q =$	2845,50	kN
Carico verticale sisma cabina utente	$F_{VSIS-Cu} = P_{PCu} + Q_{Cu} + Q_{ACu} =$	2507,8	kN
Momento stabilizzante cabina di raccolta	$M_{StabCu} = F_{VSIS-Cu} \cdot \frac{B_{PCu}}{2} =$	6645,67	kNm
Eccentricità dovuta alla forza sismica cabina utente	$e_{Cu} = \frac{M_{InstabCu}}{P_{PCu} + Q_{Cu} + Q_{ACu}} =$	0,78	m
Carico massimo in platea, modificato causa eccentricità – cabina di raccolta	$q_{VSLU-PCu} = \frac{F_{VSLU-PCu}}{(a_{Cu}) \cdot (b_{Cu} - e_{Cu})} =$	52,86	kN/mq
Carico massimo in fondazione, modificato causa eccentricità – cabina di raccolta	$q_{VSLU-Cu} = \frac{F_{VSLU-Cu}}{A_{PCu} \cdot (B_{PCu} - e_{Cu})} =$	41,74	kN/mq
Peso trasformatore	$Q_{Tra} =$	340	kN
Peso olio dentro trasformatore	$Q_{OlioTra} =$	180	kN
Forza sismica trasformatore	$F_{SISTra} = \alpha_{SIS-Tra} \cdot (Q_{OlioTra} + Q_{Tra}) =$	312,00	kN
Carico totale da vento agente sul lato maggiore del trasformatore	$Q_{VTra} = a_{Tra} \cdot h_{Tra} \cdot (p_{vsottovento} + p_{vsopravento}) =$	47,04	kN
Carico da vento da progetto agente sul lato maggiore del trasformatore	$Q_{VED-Tra} = Q_{VTra} \cdot \gamma_{qsv} =$	70,56	kN
Carico da neve agente in copertura sul trasformatore	$Q_{NTra} = a_{Tra} \cdot b_{Tra} \cdot Q_{Neve} =$	41,16	kN
Peso proprio fondazione trasformatore	$P_{Tra} = V_{va} \cdot \gamma_{cls} =$	992,22	kN
Carico orizzontale trasformatore	$F_{HTra} = \max(F_{SISTra}, Q_{VED-Tra}) =$	312,0	kN
Momento instabilizzate trasformatore	$M_{InstabTra} = F_{HTra} \cdot H_{Tra} =$	1123,2	kNm
Carico verticale slu trasformatore	$F_{VSLU-Tra} = P_{Tra} \cdot \gamma_{gst} + Q_{Tra} \cdot \gamma_{gnst} + Q_{OlioTra} \cdot \gamma_{gnst} + Q_{NTra} \cdot \gamma_q =$	2131,62	kN
Carico verticale sle trasformatore	$F_{VSLE-Tra} = P_{Tra} + Q_{Tra} + Q_{OlioTra} + Q_{NTra} =$	1553,38	kN
Carico verticale sisma trasformatore	$F_{VSIS-Tra} = P_{Tra} + Q_{Tra} + Q_{OlioTra} =$	1512,22	kN
Momento stabilizzante trasformatore	$M_{StabTra} = F_{VSIS-Tra} \cdot \frac{B_{Va}}{2} =$	5065,92	kNm
Eccentricità dovuta alla forza sismica trasformatore	$e_{Tra} = \frac{M_{InstabTra}}{Q_{Tra} + Q_{OlioTra}} =$	2,16	m
Carico massimo in fondazione, modificato causa eccentricità – trasformatore	$q_{VSLU-Tra} = \frac{F_{VSLU-Tra}}{A_{Va} \cdot (B_{Va} - e_{Tra})} =$	53,35	kN/mq
Numero di conduttori su cui agiscono le forze di corto circuito	$n_{cond} =$	3	
Carico da vento agente sulle 3 colonne	$Q_{VSstaz} = h_{Sstaz} \cdot s_{Sstaz} \cdot 3 \cdot (p_{vsottovento} + p_{vsopravento}) =$	5,57	kN
Carico da vento da progetto agente sulle colonne	$Q_{VED-Sstaz} = Q_{VSstaz} \cdot \gamma_{qsv} =$	8,36	kN
Punto applicazione forze da vento	$h_{VSstaz} = \frac{2}{3} \cdot h_{Sstaz} =$	3,57	m
Momento instabilizzate colonne sottostazione dovuto al vento	$M_{InstabVSstaz} = Q_{VED-Sstaz} \cdot h_{VSstaz} =$	29,82	kNm
Forza agente in sommità alle colonne della sottostazione più caricate	$F_{Sstaz} = F_{HCC} \cdot L_{cond} \cdot n_{cond} =$	5,92	kN

Momento instabilizzate colonne sottostazione dovuto al carico da corto circuito	$M_{InstabCCSstaz} = F_{Sstaz} \cdot h_{Sstaz} =$	31,67	kNm
Forza massima considerata nelle verifiche delle colonne della sottostazione	$F_{InstabSstaz} = \max(Q_{VED-Sstaz}, F_{Sstaz}) =$	8,36	kNm
Momento massimo considerato nelle verifiche delle colonne della sottostazione	$M_{InstabSstaz} = \max(M_{InstabVSstaz}, M_{InstabCCSstaz}) =$	31,67	kNm
Volume fondazione colonne sottostazione	$V_{PSstaz} = A_{Sstaz} \cdot B_{Sstaz} \cdot S_{Sstaz} =$	0,72	mc
Peso proprio fondazione colonne sottostazione	$P_{Sstaz} = V_{PSstaz} \cdot \gamma_{cls} =$	18,00	kN
Momento stabilizzante fondazione colonne sottostazione	$M_{StabSstaz} = P_{Sstaz} \cdot \frac{A_{Sstaz}}{2} =$	54,0	kNm

	ID Documento Committente H_054_FV_00045_BCR	Pagina 30 / 37
		Numero Revisione
		00A

11 Verifiche platee di fondazione

11.1 Verifiche a ribaltamento


Tabella 29 – Verifica a ribaltamento

VERIFICHE A RIBALTAMENTO					
Coefficiente di sicurezza per verifiche a ribaltamento	$\gamma_{M3-Rib} =$	1,15			
Verifica a ribaltamento cabina utente $M_{stab}/M_{instab} \geq \gamma_{M3-Rib}$	$M_{StabCu}/M_{InstabCu} =$	3,37	>	1,15	ok
Verifica a ribaltamento trasformatore $M_{stab}/M_{instab} \geq \gamma_{M3-Rib}$	$M_{StabTra}/M_{InstabTra} =$	4,51	>	1,15	ok
Verifica a ribaltamento fondazione colonne sottostazione $M_{stab}/M_{instab} \geq \gamma_{M3-Rib}$	$M_{StabSstaz}/M_{InstabSstaz} =$	1,70	>	1,15	ok

11.2 Verifiche a punzonamento e taglio delle platee di fondazione

Tabella 30 – Verifiche a punzonamento

VERIFICA A PUNZONAMENTO DELLE PLATEE (si considera come se fosse carico agente centrato)					
Coefficiente per tenere conto dell'eccentricità dello sforzo rispetto alla struttura	$\beta = \begin{cases} 1,15 \text{ in presenza di palo(o pilastro) centrato} \\ 1,4 \text{ in presenza di palo(o pilastro) di bordo} \\ 1,5 \text{ in presenza di palo(o pilastro) d'angolo} \end{cases}$	--> $\beta =$	1,15		
Sforzo causante punzonamento – fondazione cabina utente	$N_{sd-Cu} = F_{VSLU-PCu} =$	2845,50	kN		
Lato maggiore area interessata dal punzonamento – fondazione cabina utente	$c_{1Cu} = a_{Cu} =$	20000	mm		
Lato minore zona sottoposta a punzonamento – fondazione cabina utente	$c_{2Cu} = b_{Cu} - e_{Cu} =$	3715,74	mm		
Altezza utile sezione – fondazione cabina utente	$d_{Cu} = S_{PCu} - c =$	154	mm		
Perimetro trasmissione forza – fondazione cabina utente	$u_{iCu} = 2 \cdot c_{1Cu} + 2 \cdot c_{2Cu} + 2\pi d_{Cu} =$	48399	mm		
Tensione di taglio dovuta alla forza di punzonamento – fondazione cabina utente	$v_{sd-Cu} = \beta \cdot N_{sd-Cu} / (u_{iCu} \cdot d_{Cu}) =$	0,44	N/m mq		
Coefficiente k – fondazione cabina utente	$k_{Cu} = \min \left[1 + \sqrt{\frac{200}{d_{Cu} \text{ (in mm)}}}; 2 \right] =$	2,00			

	ID Documento Committente H_054_FV_00045_BCR	Pagina 31 / 37
		Numero Revisione
		00A

Tensione di taglio resistente della sezione in assenza di armature a punzonamento – fondazione cabina utente	$v_{rd,c,min-Cu} = 0,035 \cdot k_{Cu}^{1,5} \sqrt{f_{ck}} + 0,1 =$	0,59	N/m mq		
Verifica a punzonamento – fondazione cabina utente $v_{sd}/v_{Rd,c,min} < 1$	$v_{sd-Cu}/v_{rd,c,min-Cu} < 1$	0,74	<	1	ok

11.3 Verifiche pareti vasca di fondazione trasformatore sottostazione

Tabella 31 – Verifiche a sforzo normale pareti

Verifiche a sforzo normale pareti vasca trasformatore					
Momento agente sulle pareti di fondazione della vasca, dove poggia il trasformatore (pareti centrali)	$M_{InstabTra} =$	1123,2	kNm		
Braccio tra le due pareti	$b_{trasf} =$	2,5	m		
Carico di trazione agente su una delle due pareti	$N_{TTra} = \frac{M_{InstabTra}}{b_{trasf}} =$	449,28	kN		
Carico di compressione agente su una delle due pareti	$N_{CrTra} = \frac{M_{InstabTra}}{b_{trasf}} =$	449,28	kN		
Resistenza da progetto acciaio	$f_{yd} =$	391,3	N/mmq		
Area di acciaio necessaria – parete interna vasca trasformatore	$A_{Tra}^* = \frac{N_{TTra}}{f_{yd}} =$	1148,17	mmq		
Area 1 \emptyset_{12}	$A_{\emptyset_{12}} =$	113	mmq		
Armatura disposta in fondazione	$\emptyset_{12}/25 \rightarrow 50 \cdot A_{\emptyset_{12}} =$	5650	mmq	$\geq A_{Tra}^*$	ok
Lunghezza parete soggetta a compressione	$L_{compr} =$	6,1	m		
Spessore parete soggetta a compressione	$S_{compr} =$	0,5	m		
Resistenza da progetto calcestruzzo	$f_{cd} =$	14,17	N/mmq		
Resistenza parete vasca a compressione	$N_{RdVasca} =$	43218	kN	$\geq N_{CrTra}$	ok

11.4 Verifica armatura diffusa

Tabella 32 – Verifica area armatura diffusa platea di fondazione

VERIFICA ARMATURA DIFFUSA
Essendo la verifica a punzonamento soddisfatta in assenza di armature per tutte le fondazioni considerate, non è necessaria alcuna area di acciaio a punzonamento da disporre in sezione. Le armature presenti sono state calcolate in

base alla verifica dello zoccolo di platea sporgente rispetto alle cabine. Tale zoccolo è stato verificato come trave uscente a sbalzo.

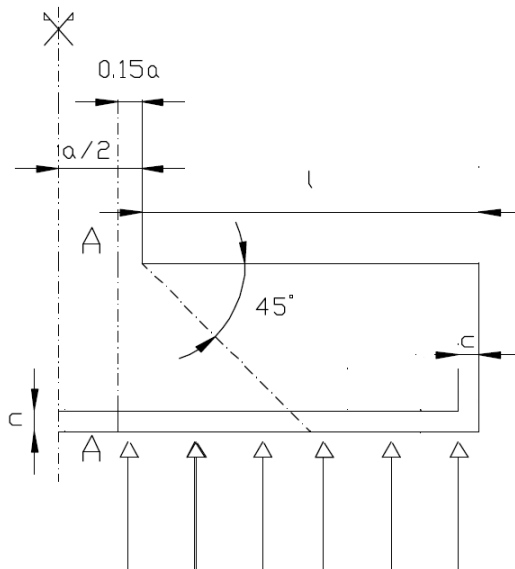



Figura 18 – Verifica zoccolo fondazioni

Carico agente in fondazione – fondazione cabina utente	$q_{VSLU-cu} =$	41,74	kN/mq		
Larghezza zoccolo sporgente rispetto alla cabina utente	$l_{cu} = \frac{(B_{PCu} - b_{Cu})}{2} =$	0,4	m		
Momento agente sullo zoccolo cabina utente	$M_{ZPCu} = q_{VSLU-cu} \cdot a_{Cu} \cdot \frac{(l_{cu} + 0,15 \cdot b_{Cu})^2}{2} =$	501,63	kNm		
Resistenza da progetto acciaio	$f_{yd} =$	391,3	N/mmq		
Area di acciaio necessaria cabina di raccolta	$A_{Cu}^* = \frac{M_{ZPCu}}{0,9 \cdot f_{yd} \cdot d_{Cu}} =$	9249,15	mmq		
Area 1 ϕ_{12}	$A_{\phi_{12}} =$	113	mmq		
Area di acciaio disposta cabina utente	$\phi_{12}/25 \rightarrow 84 \cdot A_{\phi_{12}} =$	9492	mmq	>	A_{Cu}^*

	ID Documento Committente H_054_FV_00045_BCR	Pagina 33 / 37
		Numero Revisione
		00A

12 Relazione sui risultati sperimentali – indagini specialistiche

12.1 Relazione geologica: indagini, caratterizzazione e modellazione geologica del sito

La stratigrafia considerata per le verifiche di fondazione è stata estrapolata da documentazione di archivio Mase in attesa di specifiche indagini geognostiche che dovranno essere effettuate nell'area della sottostazione prima della progettazione esecutiva. Da documentazione in archivio è stata riscontrata la presenza di argille limose-limi argillosi, materiali con caratteristiche scadenti.

A livello cautelativo si prevede una bonifica della porzione superiore del terreno in corrispondenza delle fondazioni del trasformatore e della cabina utente. Inoltre vista la cattiva permeabilità dell'area, la bonifica aiuta per un migliore smaltimento delle acque meteoriche. Il contributo di tale bonifica è stato trascurato a livello cautelativo, considerando solo un unico strato con qualità scadenti.

Per le verifiche in fondazione si considera dunque la seguente stratigrafia:

Tabella 33 – Stratigrafia terreno

Strato	Tipologia	Profondità rispetto al piano di campagna(m)	Peso di volume (g/cm ³)	f (°)	c' (KPa)	cu (KPa)
1	Limi argillosi	0,0 – 8,0	1,87	0	0	28,00

13 Verifiche a capacità portante e scorrimento

13.1 Verifica a carico limite

Le verifiche a scorrimento e carico limite del terreno sono state effettuate tramite il software Ca.li.ffe. Si riportano nel seguito le verifiche per le varie tipologie di struttura.

Tabella 34 – Verifica a scorrimento e carico limite terreno sotto le fondazioni

VERIFICA A CARICO LIMITE TERRENO SOTTO LE FONDAZIONI DEGLI ELEMENTI STRUTTURALI					
Carico verticale su terreno sotto fondazione trasformatore	$F_{VSLU-Tra} = P_{Tra} \cdot \gamma_{gst} + Q_{Tra} \cdot \gamma_{gnst} + Q_{otioTra} \cdot \gamma_{gnst} + Q_{Ntra} \cdot \gamma_q =$	2131,62	kN		
Carico orizzontale su terreno sotto fondazione trasformatore	$F_{HTra} =$	312,0	kN		
Resistenza a scorrimento calcolata tramite Ca.li.ffe	$R_{scor} =$	1281,54	kN	$\geq F_{HTra}$	Ok
Carico limite calcolato tramite Ca.li.ffe.	$q_{lim} =$	11539,88	kN	$\geq F_{VSLU-Tra}$	Ok

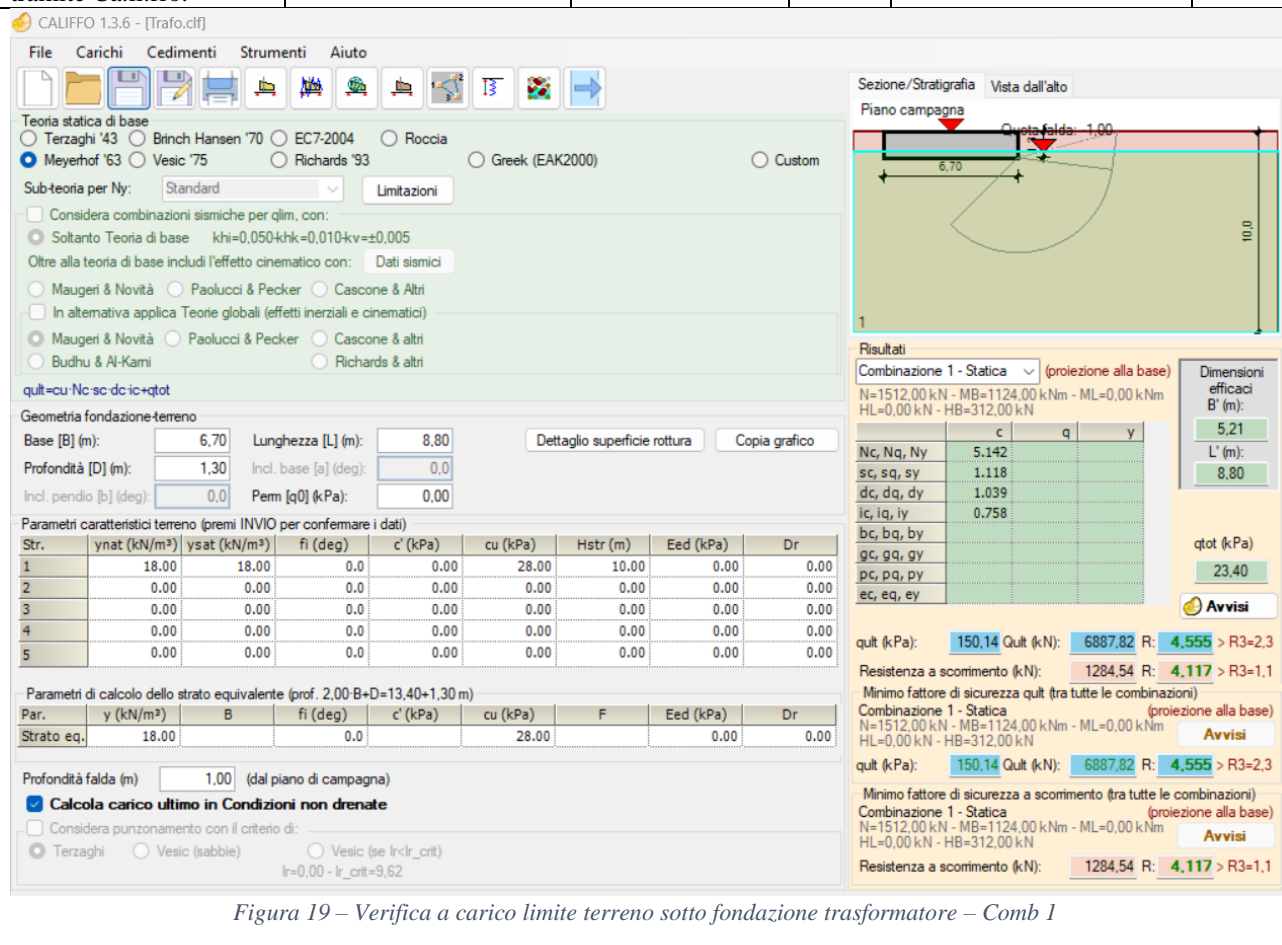


Figura 19 – Verifica a carico limite terreno sotto fondazione trasformatore – Comb 1

CALIFFO 1.3.6 - [Trafo.cdf]

File Carichi Cedimenti Strumenti Aiuto

Teoria statica di base
☐ Terzaghi '43 ☐ Brinch Hansen '70 ☐ EC7-2004 ☐ Roccia
☒ Meyerhof '63 ☐ Vesic '75 ☐ Richards '93 ☐ Greek (EAK2000) ☐ Custom

Sub-teoria per Ny: Standard Limitazioni

☐ Considera combinazioni sismiche per qlim, con:
☒ Soltanto Teoria di base $k_{hi}=0,050-k_{hk}=0,010-k_v=\pm 0,005$

Oltre alla teoria di base includi l'effetto cinematico con: Dati sismici
☐ Maugeri & Novità ☐ Paolucci & Pecker ☐ Cascone & Altri
☐ In alternativa applica Teorie globali (effetti inerziali e cinematici)
☒ Maugeri & Novità ☐ Paolucci & Pecker ☐ Cascone & Altri
☐ Budhu & Al-Kami ☐ Richards & Altri

qult=cu-Nc-sc-dc-ic+qtot

Geometria fondazione-terreno

Base [B] (m): 6.70 Lunghezza [L] (m): 8.80 Dettaglio superficie rottura Copia grafico

Profondità [D] (m): 1.30 Incl. base [a] (deg): 0.0

Incl. pendio [b] (deg): 0.0 Perm [q0] (kPa): 0.00

Parametri caratteristici terreno (premi INVIO per confermare i dati)

Str.	γ _{nat} (kN/m³)	γ _{sat} (kN/m³)	fi (deg)	c' (kPa)	c _u (kPa)	H _{str} (m)	E _{ed} (kPa)	Dr
1	18.00	18.00	0.0	0.00	28.00	10.00	0.00	0.00
2	0.00	0.00	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3	0.00	0.00	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4	0.00	0.00	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5	0.00	0.00	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Parametri di calcolo dello strato equivalente (prof. 2.00 B+D=13.40+1.30 m)

Par.	γ (kN/m³)	B	fi (deg)	c' (kPa)	c _u (kPa)	F	E _{ed} (kPa)	Dr
Strato eq.	18.00		0.0		28.00		0.00	0.00

Profondità falda (m) 1.00 (dal piano di campagna)

☒ Calcola carico ultimo in Condizioni non drenate

☐ Considera punzonamento con il criterio di:
☒ Terzaghi ☐ Vesic (se lr<lr_{crit})
 lr=0.00 - lr_{crit}=9.62

Sezione/Stratigrafia Vista dall'alto

Piano campagna

Quota falda: 1.00

6.70 10.0

1

Risultati

Combinazione 2 - Statica (proiezione alla base)

N=2132.00 kN - MB=0.00 kNm - ML=0.00 kNm
 HL=0.00 kN - HB=0.00 kN

	c	q	y
Nc, Nq, Ny	5.142		
sc, sq, sy	1.152		
dc, dq, dy	1.039		
lc, lq, ly	1.000		
bc, bq, by			
gc, gq, gy			
pc, pq, py			
ec, eq, ey			

Dimensioni efficaci B' (m): 6.70 L' (m): 8.80

q_{tot} (kPa) 23.40

Avvisi

qult (kPa): 195.72 Qult (kN): 11539.88 R: 5.413 > R3=2.3

Resistenza a scorrimento (kN): 1650.88 R: infinito > R3=1.1

Minimo fattore di sicurezza qult (tra tutte le combinazioni)

Combinazione 1 - Statica (proiezione alla base)

N=1512.00 kN - MB=1124.00 kNm - ML=0.00 kNm
 HL=0.00 kN - HB=312.00 kN

qult (kPa): 150.14 Qult (kN): 6887.82 R: 4.555 > R3=2.3

Minimo fattore di sicurezza a scorrimento (tra tutte le combinazioni)

Combinazione 1 - Statica (proiezione alla base)

N=1512.00 kN - MB=1124.00 kNm - ML=0.00 kNm
 HL=0.00 kN - HB=312.00 kN

Resistenza a scorrimento (kN): 1284.54 R: 4.117 > R3=1.1

Figura 20 – Verifica a carico limite terreno sotto fondazione trasformatore – Comb 2

Carico verticale su terreno sotto fondazione cabina utente	$F_{VSLU-Cu} = P_{PCu} \cdot \gamma_{gst} + (Q_{Cu} + Q_{ACu}) \cdot \gamma_{gnst} + Q_{VARCu} \cdot \gamma_q + 0,5 \cdot Q_{NCu} \cdot \gamma_q =$	3920,34	kN		
Carico orizzontale su terreno sotto fondazione cabina utente	$F_{HCu} =$	1008,6	kN		
Resistenza a scorrimento calcolata tramite Ca.li.ffe	$R_{scor} =$	2761,55	kN	$\geq F_{HCu}$	Ok
Carico limite calcolato tramite Ca.li.ffe.	$q_{lim} =$	21122,79	kN	$\geq F_{VSLU-Cu}$	Ok

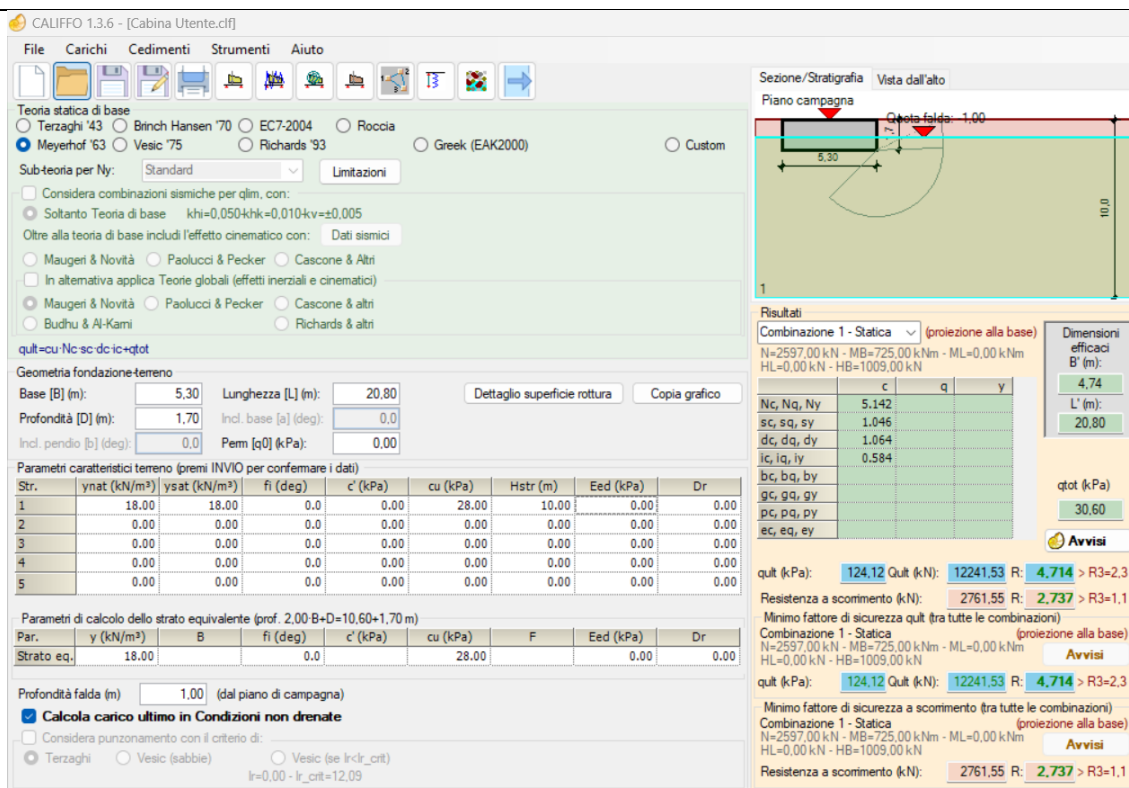


Figura 21 – Verifica a carico limite terreno sotto fondazione cabina utente – Comb 1

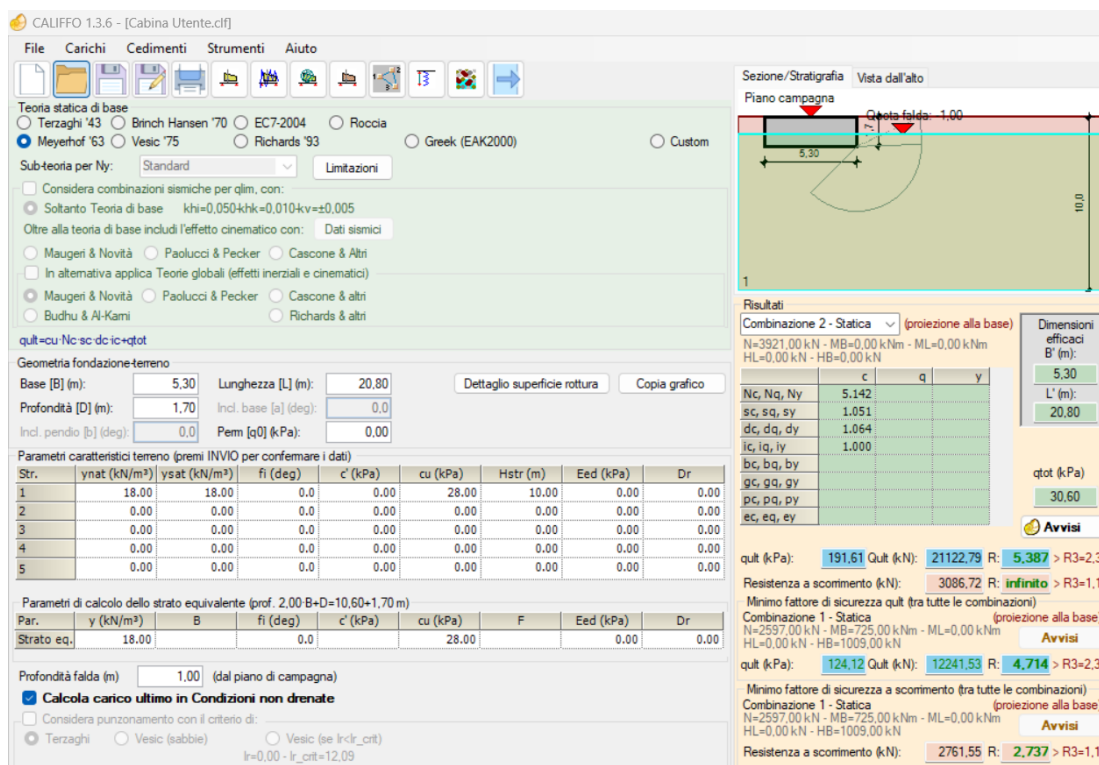


Figura 22 – Verifica a carico limite terreno sotto fondazione cabina utente – Comb 2

Carico verticale su terreno sotto fondazione colonne sottostazione	$P_{Sstaz} = V_{PSstaz} \cdot \gamma_{cls} \cdot \gamma_{gst} =$	23,4	kN		
Carico orizzontale su terreno sotto fondazione colonne sottostazione	$F_{HSstaz} =$	8,36	kN		
Resistenza a scorrimento calcolata tramite Ca.li.ffa	$R_{scor} =$	41,07	kN	$\geq F_{HCu}$	Ok
Carico limite calcolato tramite Ca.li.ffa.	$q_{lim} =$	576,84	kN	$\geq F_{VSLU-Cu}$	Ok

CAIFFO 1.3.6 - [Colonne sstaz.clf]

File Carichi Cedimenti Strumenti Aiuto

Teoria statica di base
☐ Terzaghi '43 ☐ Brinch Hansen '70 ☐ EC7-2004 ☐ Roccia
☒ Meyerhof '63 ☐ Vesic '75 ☐ Richards '93 ☐ Greek (EAK2000) ☐ Custom

Sub-teoria per Ny: Standard Limitazioni

☐ Considera combinazioni sismiche per qlim, con:
☒ Soltanto Teoria di base $k_{hi}=0,050 \cdot k_{hk}=0,010 \cdot k_v=\pm 0,005$
 Oltre alla teoria di base includi l'effetto cinematico con: Dati sismici

☐ Maugeri & Novità ☐ Paolucci & Pecker ☐ Cascone & Altri
☐ In alternativa applica Teorie globali (effetti inerziali e cinematici)
☒ Maugeri & Novità ☐ Paolucci & Pecker ☐ Cascone & Altri
☐ Budhu & Al-Kami ☐ Richards & altri

qlt=cu-Nc-sc-dc-ic-qtot

Geometria fondazione-terreno
 Base [B] (m): 0,60 Lunghezza [L] (m): 6,00 Dettaglio superficie rottura Copia grafico
 Profondità [D] (m): 0,20 Incl. base [a] (deg): 0,0
 Incl. pendio [b] (deg): 0,0 Perm [q0] (kPa): 0,00

Parametri caratteristici terreno (premi INVIO per confermare i dati)

Str.	ynat (kN/m³)	ysat (kN/m³)	fi (deg)	c' (kPa)	cu (kPa)	Hstr (m)	Eed (kPa)	Dr
1	18,00	18,00	0,0	0,00	28,00	10,00	0,00	0,00
2	0,00	0,00	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3	0,00	0,00	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4	0,00	0,00	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
5	0,00	0,00	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Parametri di calcolo dello strato equivalente (prof. 2,00 B+D=1,20+0,20 m)

Par.	y (kN/m³)	B	fi (deg)	c' (kPa)	cu (kPa)	F	Eed (kPa)	Dr
Strato eq.	18,00		0,0		28,00		0,00	0,00

Profondità falda (m) 1,00 (dal piano di campagna)

☒ Calcola carico ultimo in Condizioni non drenate

☐ Considera punzonamento con il criterio di:
☒ Terzaghi ☐ Vesic (sabbie) ☐ Vesic (se $l < l_{crit}$)
 $l=0,00 - l_{crit}=12,96$

Sezione/Stratigrafia Vista dall'alto

Piano campagna

Quota falda: 1,00

10,0

Risultati

Combinazione 1 - Statica (proiezione alla base)
 N=18,00 kN - MB=0,00 kNm - ML=32,00 kNm
 HL=0,00 kN - HB=9,00 kN

	c	q	y
Nc, Nq, Ny	5,142		
sc, sq, sy	1,049		
dc, dq, dy	1,067		
lc, lq, ly	0,497		
bc, bq, by			
gc, gq, gy			
pc, pq, py			
ec, eq, ey			

Dimensioni efficaci B' (m): 0,60
 L' (m): 2,44

qtot (kPa): 3,60

Avvisi

qlt (kPa): 83,63 Qult (kN): 122,66 R: 6,815 > R3=2,3

Resistenza a scorrimento (kN): 41,07 R: 4,563 > R3=1,1

Minimo fattore di sicurezza a scorrimento (tra tutte le combinazioni)

Combinazione 1 - Statica (proiezione alla base)
 N=18,00 kN - MB=0,00 kNm - ML=32,00 kNm
 HL=0,00 kN - HB=9,00 kN

qlt (kPa): 83,63 Qult (kN): 122,66 R: 6,815 > R3=2,3

Minimo fattore di sicurezza a scorrimento (tra tutte le combinazioni)

Combinazione 1 - Statica (proiezione alla base)
 N=18,00 kN - MB=0,00 kNm - ML=32,00 kNm
 HL=0,00 kN - HB=9,00 kN

Resistenza a scorrimento (kN): 41,07 R: 4,563 > R3=1,1

Figura 23 – Verifica a carico limite terreno sotto fondazione colonne sottostazione – Comb 1

CALIFFO 1.3.6 - [Colonne staz.cif]

File Carichi Cedimenti Strumenti Aiuto

Teoria statica di base
☐ Terzaghi '43 ☐ Brinch Hansen '70 ☐ EC7-2004 ☐ Roccia
☒ Meyerhof '63 ☐ Vesic '75 ☐ Richards '93 ☐ Greek (EAK2000) ☐ Custom

Sub-teoria per Ny: Standard Limitazioni

☐ Considera combinazioni sismiche per qlim, con:
☒ Soltanto Teoria di base $k_{hi}=0,050-k_{hk}=0,010-k_v=\pm 0,005$
 Oltre alla teoria di base includi l'effetto cinematico con: Dati sismici

☐ Maugeri & Novità ☐ Paolucci & Pecker ☐ Cascone & Altri
☐ In alternativa applica Teorie globali (effetti inerziali e cinematici)
☒ Maugeri & Novità ☐ Paolucci & Pecker ☐ Cascone & altri
☐ Budhu & Al-Karni ☐ Richards & altri

qlt=cu-Nc-sc-dc-ic+qtot

Geometria fondazione-terreno
 Base [B] (m): 0,60 Lunghezza [L] (m): 6,00 Dettaglio superficie rottura Copia grafico
 Profondità [D] (m): 0,20 Incl. base [a] (deg): 0,0
 Incl. pendio [b] (deg): 0,0 Perm [q0] (kPa): 0,00

Parametri caratteristici terreno (premi INVIO per confermare i dati)

Str.	ynat (kN/m³)	ysat (kN/m³)	fi (deg)	c' (kPa)	cu (kPa)	Hstr (m)	Eed (kPa)	Dr
1	18,00	18,00	0,0	0,00	28,00	10,00	0,00	0,00
2	0,00	0,00	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3	0,00	0,00	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4	0,00	0,00	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
5	0,00	0,00	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Parametri di calcolo dello strato equivalente (prof. 2,00 B+D=1,20+0,20 m)

Par.	y (kN/m³)	B	fi (deg)	c' (kPa)	cu (kPa)	F	Eed (kPa)	Dr
Strato eq.	18,00		0,0		28,00		0,00	0,00

Profondità falda (m) 1,00 (dal piano di campagna)

☒ Calcola carico ultimo in Condizioni non drenate

☐ Considera punzonamento con il criterio di:
☒ Terzaghi ☐ Vesic (sabbie) ☐ Vesic (se $l_r < l_{r_crit}$)
 $l_r=0,00 - l_{r_crit}=12,96$

Sezione/Stratigrafia Vista dall'alto
 Piano campagna
 Quota falda: 1,00
 0,60 10,0

Risultati
 Combinazione 2 - Statica (proiezione alla base)
 N=24,00 kN - MB=0,00 kNm - ML=0,00 kNm
 HL=0,00 kN - HB=0,00 kN

	c	q	y
Nc, Nq, Ny	5,142		
sc, sq, sy	1,020		
dc, dq, dy	1,067		
ic, iq, iy	1,000		
bc, bq, by			
gc, gq, gy			
pc, pq, py			
ec, eq, ey			


Dimensioni efficaci
 B' (m): 0,60
 L' (m): 6,00

qtot (kPa)
 3,60

Avvisi

qlt (kPa): 160,23 Qult (kN): 576,84 R: 24,035 > R3=2,3
 Resistenza a scivolamento (kN): 100,80 R: infinito > R3=1,1
 Minimo fattore di sicurezza qlt (tra tutte le combinazioni)
 Combinazione 1 - Statica (proiezione alla base)
 N=18,00 kN - MB=0,00 kNm - ML=32,00 kNm
 HL=0,00 kN - HB=9,00 kN
 qlt (kPa): 83,63 Qult (kN): 122,66 R: 6,815 > R3=2,3
 Minimo fattore di sicurezza a scivolamento (tra tutte le combinazioni)
 Combinazione 1 - Statica (proiezione alla base)
 N=18,00 kN - MB=0,00 kNm - ML=32,00 kNm
 HL=0,00 kN - HB=9,00 kN
 Resistenza a scivolamento (kN): 41,07 R: 4,563 > R3=1,1

Figura 24 – Verifica a carico limite terreno sotto fondazione colonne sottostazione – Comb 2

	ID Documento Committente H_054_FV_00045_BCR	Pagina 39 / 37
		Numero Revisione
		00A

14 Conclusioni

Nella presente relazione sono stati introdotti i criteri per la progettazione delle opere e dei componenti strutturali di impianto.

Dall'analisi dei risultati ottenuti risulta che le verifiche condotte con il D.M. 17.01.2018 sono a favore di sicurezza e soddisfano ogni prescrizione della normativa vigente; pertanto, la struttura così progettata è atta a sopportare i carichi di progetto sopra menzionati.

Si rimanda alla fase esecutiva il dimensionamento definitivo delle opere descritte precedentemente, precisando che le strutture della sottostazione sono correlate ai dati esecutivi di trasformatore e pali; i dettagli, quindi, dei dimensionamenti sono resi disponibili in fase di progettazione esecutiva. Tutte le assunzioni fatte in questa sede, per la preliminare determinazione dei carichi agenti, sono basate su strutture esistenti e con caratteristiche dimensionali, materiali e di peso simili a quelle che saranno utilizzate per realizzazione delle opere di progetto.