

REGIONE PUGLIA
PROVINCIA DI LECCE

Comuni:
Galatina e Galatone

Località "Santa Barbara"

PROGETTO DEFINITIVO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO DI PRODUZIONE DI ENERGIA ELETTRICA DA FONTE FOTOVOLTAICA E RELATIVE OPERE DI CONNESSIONE - Potenza nominale **40.278,00 kWp in DC** e potenza in immissione di **34.000,00 kW in AC**

Codice Pratica Regione Puglia IPBXVW8

Sezione 9:

CALCOLI PRELIMINARI STRUTTURE E IMPIANTI

Titolo elaborato:

RELAZIONE DI CALCOLO PRELIMINARE SULLE STRUTTURE

N. Elaborato: 9.1

Scala: -

Committente

Galatina 1 S.r.l.

Via Francesco Scandone,4
Montella (AV) - 83048
P.IVA 03126150642
galatina1@legalmail.it

Amministratore Unico
Geom. Braccia Gerardo Carmine

Progettazione




sede legale e operativa
San Martino Sannita (BN) Località Chianarile snc Area Industriale
sede operativa
Lucera (FG) via Alfonso La Cava 114
P.IVA 01465940623
Azienda con sistema gestione qualità Certificato N. 50 100 11873



Progettista
Dott. Ing. Nicola FORTE




Rev.	Data	Elaborazione	Approvazione	Emissione	DESCRIZIONE
00	Agosto 2022	FB sigla	FB sigla	NF sigla	Emissione Progetto Definitivo
Nome File sorgente	FV.GAL01.C1.PD.9.1.R00.doc	Nome file stampa	FV.GAL01.C1.PD.9.1.R00.pdf	Formato di stampa	A4


	RELAZIONE DI CALCOLO PRELIMINARE SULLE STRUTTURE	Codice Data creazione Data ultima modif. Revisione Pagina	FV.GAL01.C1.PD.9.1 29/08/2022 29/08/2022 00 1 di 22
---	---	---	---

INDICE

1	DESCRIZIONE GENERALE DELL'OPERA	3
1.1	STRUTTURE METALLICHE DI SOSTEGNO DEI PANNELLI FOTOVOLTAICI	3
1.2	CABINA DI RACCOLTA PREFABBRICATA E RELATIVA FONDAZIONE IN OPERA	5
1.3	CABINE DI CAMPO PREFABBRICATE	5
2	NORMATIVA DI RIFERIMENTO	5
3	MATERIALI IMPIEGATI E RESISTENZE DI CALCOLO	7
4	GRANDEZZE GEOTECNICHE	8
5	ANALISI DEI CARICHI	9
6	AZIONI SULLA STRUTTURA	9
6.1	CARICHI PERMANENTI STRUTTURALI	9
6.2	CARICHI PERMANENTI NON STRUTTURALI	9
6.3	CARICHI ACCIDENTALI	10
6.4	AZIONE DEL VENTO	10
6.5	AZIONE DELLA NEVE	11
6.6	AZIONE SISMICA	13
7	DEFINIZIONE DELLE COMBINAZIONI	14
8	MODELLO DI CALCOLO	14
9	METODO DI ANALISI	15
10	PROGETTO E VERIFICA DEGLI ELEMENTI STRUTTURALI	15
10.1	VERIFICHE STRUTTURALI ELEMENTI IN ACCIAIO	15
10.1.1	VERIFICHE SLU	15
10.1.2	VERIFICHE SLE	18
10.2	VERIFICHE STRUTTURALI ELEMENTI IN C.A.	18

	RELAZIONE DI CALCOLO PRELIMINARE SULLE STRUTTURE	Codice Data creazione Data ultima modif. Revisione Pagina	FV.GAL01.C1.PD.9.1 29/08/2022 29/08/2022 00 2 di 22
---	---	---	---

11 CALCOLO DELLA FONDAZIONE	20
11.1 CARICO LIMITE	20
11.2 VERIFICHE GEOTECNICHE	21
12 CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE	22

	RELAZIONE DI CALCOLO PRELIMINARE SULLE STRUTTURE	Codice Data creazione Data ultima modif. Revisione Pagina	FV.GAL01.C1.PD.9.1 29/08/2022 29/08/2022 00 3 di 22
---	---	---	---

1 DESCRIZIONE GENERALE DELL'OPERA

Il progetto riguarda la realizzazione di un impianto fotovoltaico di potenza nominale pari a 34 MW e potenza di picco pari a 40,28 MWp da installare nel comune di Galatina (LE) in località "S. Barbara", e con opere di connessione ricadenti nello stesso territorio comunale e solo marginalmente nel territorio del comune di Galatone.

Proponente dell'iniziativa è la società Galatina 1 S.r.l. con sede a Montella (AV) in Via Francesco Scandone 4.

L'impianto fotovoltaico è costituito da 76720 moduli in silicio policristallino ognuno di potenza pari a 525 Wp. I moduli fotovoltaici sono montati su una struttura in acciaio zincato ancorata al terreno. Tali moduli sono collegati tra di loro in modo da costituire stringhe. L'impianto è organizzato in gruppi di stringhe collegati alle cabine di campo. L'impianto è suddiviso in 4 campi: i campi denominati 1-2-3-4 sono delimitati a Nord/Est dalla SP18 e a Sud/Ovest dalla SP294.

L'energia elettrica viene prodotta da ogni gruppo di moduli fotovoltaici in corrente continua e viene trasmessa all'inverter che provvede alla conversione in corrente alternata. Ogni inverter è posto all'interno di una cabina di campo all'interno della quale è ubicato il trasformatore MT/BT.

Le linee MT in cavo interrato collegheranno fra loro le cabine di campo e quindi proseguiranno alla cabina di raccolta prevista all'interno dell'area campo 4. Dalla cabina di raccolta si svilupperà il collegamento in cavo interrato MT a 30 kV per il trasferimento dell'energia prodotta alla sottostazione di trasformazione di utenza (150/30 kV) prevista all'interno di un'area condivisa con altri produttori che si collegherà in antenna a 150 kV con la futura stazione Terna "Galatina" RTN 380/150 kV da connettere in entra-esce alla linea RTN a 380 kV "Galatina – Taranto Nord".


Le opere previste per la realizzazione del suddetto impianto consistono in:

- Strutture metalliche di sostegno dei pannelli fotovoltaici;
- Cabina di raccolta prefabbricata e relativa fondazione in opera;
- Cabina di campo prefabbricata;

di seguito una vista e descrizione delle opere.

1.1 Strutture metalliche di sostegno dei pannelli fotovoltaici

Per quanto riguarda la sistemazione e l'ancoraggio dei moduli costituenti il generatore fotovoltaico, è previsto l'utilizzo di un sistema di supporto modulare, sviluppato al fine di ottenere un'alta integrazione estetica ad elevata facilità di impiego e di montaggio dei moduli fotovoltaici incorniciati, realizzati in acciaio galvanizzato. Le strutture di sostegno ipotizzate hanno la caratteristica di poter essere infisse nel terreno senza bisogno di alcun tipo di fondazione in calcestruzzo, compatibilmente alle caratteristiche geotecniche del terreno e alle prove penetrometriche che verranno effettuate in fase esecutiva; inoltre, come certificato dal costruttore, le strutture sono in grado di supportare il peso dei moduli anche in presenza di raffiche di vento di elevata velocità, di neve e altri carichi accidentali. L'altezza al mozzo delle strutture è di circa 1,94 m dal suolo; l'angolo di rotazione del mozzo è di $\pm 60^\circ$ rispetto all'orizzontale.

	<p align="center">RELAZIONE DI CALCOLO PRELIMINARE SULLE STRUTTURE</p>	Codice Data creazione Data ultima modif. Revisione Pagina	FV.GAL01.C1.PD.9.1 29/08/2022 29/08/2022 00 4 di 22
---	---	---	---

La struttura portante sarà costituita da colonne verticali infisse nel terreno, un corrente longitudinale e degli arcarecci posti perpendicolarmente al corrente stesso. Tutti gli elementi portanti dovranno essere realizzati in acciaio zincato.

Le struttura a sostegno dei pannelli fotovoltaici si presentano in tale configurazione:

- Tracker da 2x28 moduli;

Il pannello fotovoltaico potrà essere orientato secondo un angolo che va da 0° (pannello orizzontale) a 60° (massima inclinazione).

Nel dettaglio, in questa fase sono stati previsti l'utilizzo per le colonne di profilati omega 250x100x50x6, alle quali sono incernierate dei correnti di sezione scatolare 150x150x5 mm e su quest'ultimi si vincolano le aste di sezione omega 70x50x25x3 che servono da sostegni ai pannelli fotovoltaici.

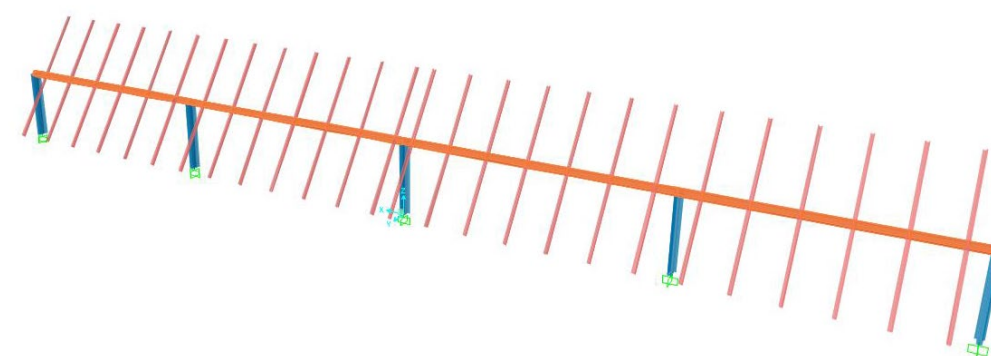


Figura 1 – Vista configurazione 60°_tracker 2x28 moduli

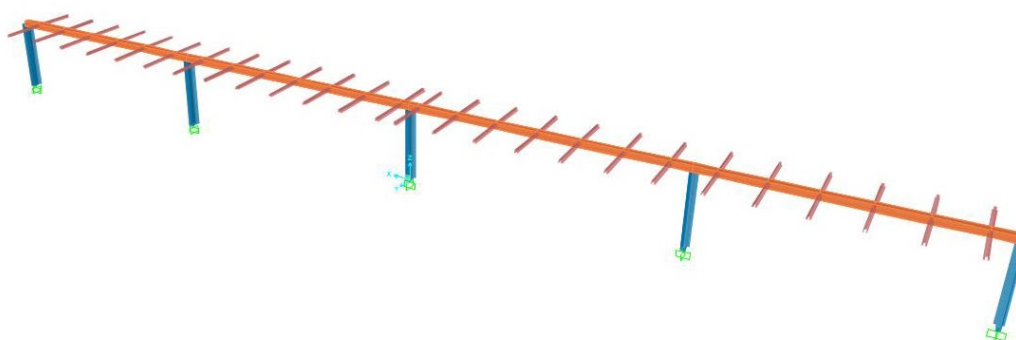



Figura 2 – Vista configurazione 0°_tracker 2x28 moduli

Deve essere specificato che in fase di progettazione esecutiva è necessario verificare la disponibilità dei profili da parte del fornitore ed eventualmente individuare soluzioni in grado di garantire proprietà meccaniche e inerziali adeguate alle prestazioni richieste.

	RELAZIONE DI CALCOLO PRELIMINARE SULLE STRUTTURE	Codice Data creazione Data ultima modif. Revisione Pagina	FV.GAL01.C1.PD.9.1 29/08/2022 29/08/2022 00 5 di 22
---	---	---	---

1.2 Cabina di raccolta prefabbricata e relativa fondazione in opera

La cabina di raccolta consiste in una struttura in calcestruzzo armata di tipo prefabbricata di dimensioni complessive 10.16 x 4.16 x 3.14 m.

Le caratteristiche strutturali effettive di dettaglio della cabina saranno illustrate dal produttore individuato dalla committenza, a valle degli appalti, negli elaborati progettuali da presentare prima dell'inizio dei lavori, in sede di acquisizione di autorizzazione in zona sismica ai sensi dell'articolo 94 del D.P.R.380/2001.

La fondazione è una platea in c.a. in opera di dimensioni 10.76 x 4.76 x 0.60 m con un cunicolo per il passaggio cavi realizzato con pareti alte 2.30 m e spesse 0.30 m e un basamento di dimensioni 7.25 x 1.00 x 0.40 m.

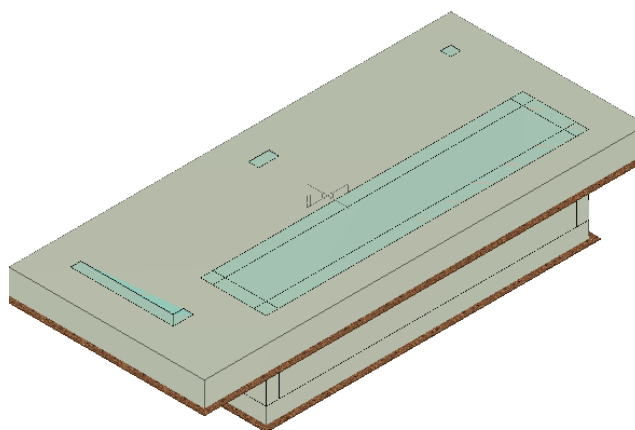


Figura 3 - Vista

1.3 Cabine di campo prefabbricate

La cabina di raccolta consiste in una struttura tipo prefabbricata sia nella parte fondale che in elevazione, le dimensioni complessive sono 6.50 x 2.40 x 3.20 m.

Le caratteristiche strutturali effettive di dettaglio della cabina saranno illustrate dal produttore individuato dalla committenza negli elaborati progettuali da presentare prima dell'inizio dei lavori, in sede di acquisizione di autorizzazione in zona sismica ai sensi dell'articolo 94 del D.P.R.380/2001.

2 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

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


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

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

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

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

Indicazioni progettive per le nuove costruzioni in zone sismiche a cura del Ministero per la Ricerca scientifica - Roma 1981.

	RELAZIONE DI CALCOLO PRELIMINARE SULLE STRUTTURE	Codice Data creazione Data ultima modif. Revisione Pagina	FV.GAL01.C1.PD.9.1 29/08/2022 29/08/2022 00 6 di 22
---	---	---	---

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

“Aggiornamento delle *Norme tecniche per le Costruzioni*”.

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


Circolare 21 gennaio 2019, n. 7 C.S.LL.PP. (G.U. Serie Generale n. 35 del 11/02/2019 - Suppl. Ord. n. 5)

Istruzioni per l'applicazione dell'«Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni"» di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018.

Eurocodice 3 - “*Progettazione delle strutture in acciaio*” - EN 1993-1-1.

CEI 82-74 – “*Metodi di calcolo delle azioni del vento e criteri di dimensionamento di strutture di supporto di moduli fotovoltaici o di collettori solari*” – 2018-02.

CNR-DT 207 R1/2018 – “*Istruzioni per la valutazione delle azioni e degli effetti del vento sulle costruzioni*”.

	RELAZIONE DI CALCOLO PRELIMINARE SULLE STRUTTURE	Codice	FV.GAL01.C1.PD.9.1
		Data creazione	29/08/2022
		Data ultima modif.	29/08/2022
		Revisione	00
		Pagina	7 di 22

3 MATERIALI IMPIEGATI E RESISTENZE DI CALCOLO

Tutti i materiali strutturali impiegati devono essere muniti di marcatura "CE", ed essere conformi alle prescrizioni del "REGOLAMENTO (UE) N. 305/2011 DEL PARLAMENTO EUROPEO E DEL CONSIGLIO del 9 marzo 2011", in merito ai prodotti da costruzione.

Per la realizzazione dell'opera in oggetto saranno impiegati i seguenti materiali:

Tabella 1 - Caratteristiche calcestruzzo

N _{id}	γ _k	α _{T, i}	E	G	C _{Erid}	Stz	R _{ck}	R _{cm}	%R _{ck}	γ _c	f _{cd}	f _{ctd}	f _{ctm}	N	n Ac
	[N/m ³]	[1/°C]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[%]		[N/mm ²]	[N/mm ²]			[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]		
Cls C32/40															
001	25,00	0,000010	33.643	14.018	60	P	40,00	-	0,85	1,5	18,81	1,45	3,72	15	002

LEGENDA:


- N_{id}** Numero identificativo del materiale, nella relativa tabella dei materiali.
- γ_k** Peso specifico.
- α_{T, i}** Coefficiente di dilatazione termica.
- E** Modulo elastico normale.
- G** Modulo elastico tangenziale.
- C_{Erid}** Coefficiente di riduzione del Modulo elastico normale per Analisi Sismica [E_{sisma} = E · C_{Erid}].
- Stz** Tipo di situazione: [F] = di Fatto (Esistente); [P] = di Progetto (Nuovo).
- R_{ck}** Resistenza caratteristica cubica.
- R_{cm}** Resistenza media cubica.
- %R_{ck}** Percentuale di riduzione della R_{ck}
- γ_c** Coefficiente parziale di sicurezza del materiale.
- f_{cd}** Resistenza di calcolo a compressione.
- f_{ctd}** Resistenza di calcolo a trazione.
- f_{ctm}** Resistenza media a trazione per flessione.
- NAC** Identificativo, nella relativa tabella materiali, dell'acciaio utilizzato: [-] = parametro NON significativo per il materiale.

Tabella 2 - Caratteristiche acciaio

N _{id}	γ _k	α _{T, i}	E	G	Stz	f _{yk,1} / f _{yk,2}	f _{tk,1} / f _{tk,2}	f _{yd,1} / f _{yd,2}	f _{td}	γ _s	γ _{M1}	γ _{M2}	γ _{M3,SLV}	γ _{M3,SLE}	γ _{M7} NCnt	Cnt
	[N/m ³]	[1/°C]	[N/mm ²]	[N/mm ²]		[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]							
S275																
003	78 500	0,000012	210,00	80 769	P	275,00 255,00	430 410	261,90 242,86	-	1,05	1,05	1,25	-	-	-	-
S355																
004	78 500	0,000012	210,00	80 769	P	355,00 335,00	510 470	338,10 319,05	-	1,05	1,05	1,25	-	-	-	-
Acciaio B450C - (B450C)																
005	78 500	0,000010	210,00	80 769	P	450,00 -	-	391,30 -	-	1,15	-	-	-	-	-	-

LEGENDA:

- N_{id}** Numero identificativo del materiale, nella relativa tabella dei materiali.
- γ_k** Peso specifico.
- α_{T, i}** Coefficiente di dilatazione termica.
- E** Modulo elastico normale.
- G** Modulo elastico tangenziale.
- Stz** Tipo di situazione: [F] = di Fatto (Esistente); [P] = di Progetto (Nuovo).
- f_{tk,1}** Resistenza caratteristica a Rottura (per profili con t ≤ 40 mm).
- f_{tk,2}** Resistenza caratteristica a Rottura (per profili con 40 mm < t ≤ 80 mm).
- f_{td}** Resistenza di calcolo a Rottura (Bulloni).
- γ_s** Coefficiente parziale di sicurezza allo SLV del materiale.
- γ_{M1}** Coefficiente parziale di sicurezza per instabilità.
- γ_{M2}** Coefficiente parziale di sicurezza per sezioni tese indebolite.
- γ_{M3,SLV}** Coefficiente parziale di sicurezza per scorrimento allo SLV (Bulloni).
- γ_{M3,SLE}** Coefficiente parziale di sicurezza per scorrimento allo SLE (Bulloni).
- γ_{M7}** Coefficiente parziale di sicurezza pre-carico di bulloni ad alta resistenza (Bulloni - NCnt = con serraggio NON controllato; Cnt = con serraggio controllato). [-] = parametro NON significativo per il materiale.
- f_{yk,1}** Resistenza caratteristica allo snervamento (per profili con t ≤ 40 mm).
- f_{yk,2}** Resistenza caratteristica allo snervamento (per profili con 40 mm < t ≤ 80 mm).
- f_{yd,1}** Resistenza di calcolo (per profili con t ≤ 40 mm).

	RELAZIONE DI CALCOLO PRELIMINARE SULLE STRUTTURE	Codice	FV.GAL01.C1.PD.9.1
		Data creazione	29/08/2022
		Data ultima modif.	29/08/2022
		Revisione	00
		Pagina	8 di 22

$f_{y,d,z}$ Resistenza di calcolo (per profili con $40 \text{ mm} < t \leq 80 \text{ mm}$).
NOTE [-] = Parametro non significativo per il materiale.

Le strutture dei tracker sono costituite nella maggior parte delle componenti da profilati sagomati a freddo, la circolare n. 7 del 21 gennaio 2019 al paragrafo C.4.2.12.1.1 consente di prendere in esame, per tali elementi, un valore incrementato della tensione di snervamento; nel caso in esame è stata presa in esame una tensione di snervamento pari a 383 MPa per i profilati a omega delle colonne, per il corrente un valore pari a 302 MPa e per gli arcarecci un valore di tensione di snervamento pari a 316 MPa.

4 GRANDEZZE GEOTECNICHE

Come specificato nella relazione geologica preliminare per la definizione della successione stratigrafica del terreno, nonché per risalire alle caratteristiche geologiche e morfologiche dell'area in esame, ci si è basati sulla base dei dati ottenuti dai sondaggi geognostici pregressi effettuati in aree adiacenti al sito in esame, sulle osservazioni dirette di campagna, opportunamente completate dai dati e sulle notizie ricavate dalla cartografia ufficiale, dalla letteratura tecnico-scientifica e della banca dati del Servizio Geologico d'Italia.

Dal punto di vista geologico-litostratigrafico, gran parte dell'impianto insiste su sabbie calcaree poco cementate e sabbie argillose grigio-azzurre (Q¹-P³), e parzialmente sui calcari dolomitici e dolomie grigio-nocciola, a fatturazione irregolare, calcari grigi spesso vacuolari (C7-6).

Nel primo caso, la situazione litostratigrafica e geomeccanica presenta, tre complessi principali di terreno:

1° Complesso, più superficiale, con spessore medio di 0.40 metri, costituito da terreno vegetale, rosso brunastro, di natura limoso-argilloso-sabbiosa, dotato delle seguenti caratteristiche geotecniche:

Riferimento	γ kN/m ³	φ °	C' kN/m ²	Cu kN/m ²
da letteratura	16.00	20.00	10.00	30.00

2° Complesso, con spessore medio di 2.50 metri, costituito da sabbie calcaree, limoso argillose, poco cementate, giallastre dotato delle seguenti caratteristiche geotecniche:

Riferimento	γ kN/m ³	φ °	C' kN/m ²	Cu kN/m ²
da letteratura	17.00	30.00	20.00	50.00

3° Complesso, oltre la profondità media di 3.00 metri, costituito da calcarenite, generalmente porosa, fratturate ed alterate, giallastre, dotato delle seguenti caratteristiche geotecniche:


Riferimento	γ kN/m ³	φ °	C' kN/m ²	Cu kN/m ²
Letteratura	19.00	38.00	35.00	100.00

Nel secondo caso la situazione litostratigrafica e geomeccanica presenta tre complessi principali di terreno:

1° Complesso, più superficiale, con spessore medio di 0.40 metri, costituito da terreno vegetale, rosso brunastro, di natura limoso-argilloso-sabbiosa, dotato delle seguenti caratteristiche geotecniche:

Riferimento	γ kN/m ³	φ °	C' kN/m ²	Cu kN/m ²
da letteratura	16.00	20.00	10.00	30.00

2° Complesso, con spessore medio di 8.50 metri, costituito da calcare vacuolare, di colore bianco

	RELAZIONE DI CALCOLO PRELIMINARE SULLE STRUTTURE	Codice	FV.GAL01.C1.PD.9.1
		Data creazione	29/08/2022
		Data ultima modif.	29/08/2022
		Revisione	00
		Pagina	9 di 22

grigiastro, dotato delle seguenti caratteristiche geotecniche:

<i>Riferimento</i>	γ kN/m ³	φ °	C' MPa	Cu MPa
S1 C2 7.00 m PE Latiano-Mesagne	24.80	53.10	4.43	22.30

3° Complesso, oltre la profondità media di 9.00 metri, costituito da calcare compatto micritico, colore biancastro, dotato delle seguenti caratteristiche geotecniche:

<i>Riferimento</i>	γ kN/m ³	φ °	C' MPa	Cu MPa
S1 C3 13.50 m PE Latiano-Mesagne	24.10	52.50	1.23	23.53

5 ANALISI DEI CARICHI

La valutazione dei carichi è stata effettuata in accordo con le disposizioni del punto 3.1 del D.M. 2018. In particolare, è stato fatto utile riferimento alle Tabelle 3.1.I del D.M. 2018, per i pesi propri dei materiali.

La valutazione dei carichi permanenti è effettuata sulle dimensioni definitive.

6 AZIONI SULLA STRUTTURA

Le azioni sulla struttura in esame sono valutate in accordo al capitolo 3 del D.M. 2018. In particolare, sono presenti:

- Carichi permanenti strutturali e non strutturali;
- Azione del vento;
- Azione da neve;
- Azione sismica.

Le azioni così ottenute sono opportunamente combinate tra loro in base alle combinazioni di carico indicate dalla norma di riferimento e riportate in dettaglio al §7 della presente. Da queste si ottengono i valori di progetto delle sollecitazioni da impiegare successivamente nelle verifiche. I calcoli e le verifiche sono condotti con il metodo semiprobabilistico degli stati limite secondo le indicazioni del D.M. 2018.


6.1 Carichi permanenti strutturali

Il peso proprio degli elementi strutturali in acciaio e in c.a. è stato portato in considerazione automaticamente dal programma di calcolo nella modellazione geometrica della struttura, le azioni permanenti gravitazionali associate ai pesi propri dei materiali strutturali sono derivate dalle dimensioni geometriche e dai pesi dell'unità di volume dei materiali con cui sono realizzate le parti strutturali della costruzione.

Per le fondazioni delle cabine si è tenuto in conto il peso delle opere sovrastanti che, a vantaggio di sicurezza, è stato considerato analogo per tutte le opere fondali e pari a **25000 N/m²**.

6.2 Carichi permanenti non strutturali

Peso proprio dei pannelli fotovoltaici, ognuno dei quali avente peso di **283 N**.

	RELAZIONE DI CALCOLO PRELIMINARE SULLE STRUTTURE	Codice Data creazione Data ultima modif. Revisione Pagina	FV.GAL01.C1.PD.9.1 29/08/2022 29/08/2022 00 10 di 22
---	---	---	--

6.3 Carichi Accidentali

Per le opere fondali delle cabine si è assunto un carico accidentale pari a **6000 N/m²** (cat. E – aree ad uso industriale, tab. 3.1.II del D.M. 2018).

6.4 Azione del vento

La pressione del vento è data dall'espressione:

$$p = q_r \cdot C_e \cdot C_p \cdot C_d \quad (\text{relazione 3.3.4 - D.M. 2018});$$

dove

q_r : la pressione cinetica di riferimento data dall'espressione:

$$q_b = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_r^2 \quad (\text{relazione 3.3.6 - D.M. 2018});$$

con:

ρ : densità dell'aria (assunta pari a 1,25 kg/m³);

v_r : velocità di riferimento del vento (in m/s), data da (Eq. 3.3.2 - D.M. 2018):

$$v_r = v_b \cdot C_r, \text{ con:}$$

α_R : coefficiente dato dalla seguente relazione:

$$c_r = 0,75 \cdot \sqrt{1 - 0,2 \cdot \ln \left[-\ln \left(1 - \frac{1}{T_R} \right) \right]} \quad (\text{relazione 3.3.3 - D.M. 2018});$$

v_b : velocità di riferimento del vento associata ad un periodo di ritorno di 50 anni, data da: $v_b = v_{b,0} \cdot C_a$

dove:

C_a è il coefficiente di altitudine fornito dalla relazione:

$$C_a = 1 \quad \text{per } a_s \leq a_{0a} = 1 + k_s (a_s/a_0 - 1) \quad \text{per } a_0 < a_s \leq 1500 \text{ m}$$

$v_{b,0}$, a_0 , k_s : parametri forniti dalla Tab. 3.3.I del §3.3.2 D.M. 2018 a_s : altitudine sul livello del mare (m.s.l.m) del sito ove sorge la costruzione;

T_R : periodo di ritorno espresso in anni.

C_e : coefficiente di esposizione, che per altezza sul suolo (z) non maggiori di 200 m è dato dalla formula:

$$\begin{aligned} C_e(z) &= k_r^2 \cdot c_t \cdot \ln(z/z_0) \cdot [7 + c_t \cdot \ln(z/z_0)] & \text{per } z \geq z_{\min} \\ C_e(z) &= C_e(z_{\min}) & \text{per } z < z_{\min} \end{aligned} \quad (\text{relazione 3.3.7 - D.M. 2018});$$

dove:


k_r , z_0 , z_{\min} : parametri forniti dalla Tab. 3.3.II del par. 3.3.7 D.M. 2018 (*funzione della categoria di esposizione del sito e della classe di rugosità del terreno*);

c_t : coefficiente di topografia (assunto pari ad 1).

C_p : coefficiente di forma (o coefficiente aerodinamico), funzione della tipologia e della geometria della costruzione e del suo orientamento rispetto alla direzione del vento (cfr. § 3.3.8 - D.M. 2018).

C_d : coefficiente dinamico (assunto pari ad 1; par. 3.3.9 - D.M. 2018).

Per la valutazione del coefficiente di forma (o pressione) si è fatto riferimento alle indicazioni della norma CEI 82-74, secondo la quale in presenza di pannelli con inclinazione maggiore di 60°, si fa riferimento alla trattazione usata per le insegne e i tabelloni e pertanto si assume un valore di C_f pari a 1,8.

	RELAZIONE DI CALCOLO PRELIMINARE SULLE STRUTTURE	Codice	FV.GAL01.C1.PD.9.1
		Data creazione	29/08/2022
		Data ultima modif.	29/08/2022
		Revisione	00
		Pagina	11 di 22

Per il caso in esame:

Tabella 3 - calcolo pressione del vento

Località	Galatina - Puglia						
altitudine sito (m)	75						
zona	$v_{b,0}$ (m/s)	a_0 (m)	k_s	c_a	V_b (m/s)		
3	27	500	0,37	1	27,0		
	rugosità	esposizione	k_r	z_0 (m)	z_{min} (m)		
	D	II	0,19	0,05	4		
VELOCITA' RIFERIMENTO	Tr (anni)	c_r		V_r (m/s)	q_r (N/m ²)		
	50	1		27,0	456,29		
opera	h costruzione (m)	angolo (°)	γ_{EF}	C_e	$C_p=C_{f_i}$	C_d	p (N/m ²)
pannelli fotovoltaico	1,942	0	0,8	1,80	0,2	1	131
	1,942		0,8	1,80	-0,5	1	-329
pannelli fotovoltaico	4,160	55	-	1,80	1,8	1	1479
	4,160		-	1,80	-1,8	1	-1479

6.5 Azione della neve

Il carico da neve è stato calcolato seguendo le prescrizioni del §3.4 del D.M. 2018 e le integrazioni della Circolare 2019 n. 7. Il carico da neve, calcolato come di seguito riportato, è stato combinato con le altre azioni variabili definite al §2.5.3, ed utilizzando i coefficienti di combinazione della Tabella 2.5.I del D.M. 2018. Il carico da neve superficiale da applicare sulle coperture è stato stimato utilizzando la relazione [cfr. §3.4.1 D.M. 2018]:

$$q_s = q_{sk} \cdot \mu_i \cdot C_{E'} \cdot C_t$$

dove:

- q_{sk} è il valore di riferimento del carico della neve al suolo, in [kN/m²]. Tale valore è calcolato in base alla posizione ed all'altitudine (a_s) secondo quanto indicato alla seguente tabella;

Tabella 4 - Valori di riferimento del carico della neve al suolo, q_{sk} (cfr. §3.4.2 D.M. 2018)

Zona	$a_s \leq 200$ m	$a_s > 200$ m
I – Alpina	$q_{sk} = 1,50$ kN/m ²	$q_{sk} = 1,39 [1+(a_s/728)^2]$ kN/m ²
I – Mediterranea	$q_{sk} = 1,50$ kN/m ²	$q_{sk} = 1,35 [1+(a_s/602)^2]$ kN/m ²
II	$q_{sk} = 1,00$ kN/m ²	$q_{sk} = 0,85 [1+(a_s/481)^2]$ kN/m ²
III	$q_{sk} = 0,60$ kN/m ²	$q_{sk} = 0,51 [1+(a_s/481)^2]$ kN/m ²


**Mappa delle zone di carico della neve
[cfr. Fig. 3.4.1 D.M. 2018].**
Zone di carico della neve

I - Alpina: Aosta, Belluno, Bergamo, Biella, Bolzano, Brescia, Como, Cuneo, Lecco, Pordenone, Sondrio, Torino, Trento, Udine, Verbano-Cusio-Ossola, Vercelli, Vicenza

I - Mediterranea: Alessandria, Ancona, Asti, Bologna, Cremona, Forlì-Cesena, Lodi, Milano, Modena, Monza Brianza, Novara, Parma, Pavia, Pesaro e Urbino, Piacenza, Ravenna, Reggio Emilia, Rimini, Treviso, Varese

II: Arezzo, Ascoli Piceno, Avellino, Bari, Barletta-Andria-Trani, Benevento, Campobasso, Chieti, Fermo, Ferrara, Firenze, Foggia, Frosinone, Genova, Gorizia, Imperia, Isernia, L'Aquila, La Spezia, Lucca, Macerata, Mantova, Massa Carrara, Padova, Perugia, Pescara, Pistoia, Prato, Rieti, Rovigo, Savona, Teramo, Trieste, Venezia, Verona

III: Agrigento, Brindisi, Cagliari, Caltanissetta, Carbonia-Iglesias, Caserta, Catania, Catanzaro, Cosenza, Crotone, Enna, Grosseto, Latina, Lecce, Livorno, Matera, Medio Campidano, Messina, Napoli, Nuoro, Ogliastra, Olbia-Tempio, Oristano, Palermo, Pisa, Potenza, Ragusa, Reggio Calabria, Roma, Salerno, Sassari, Siena, Siracusa, Taranto, Terni, Trapani, Vibo Valentia, Viterbo

- μ_i è il coefficiente di forma della copertura, funzione dell'inclinazione della falda (α) e della sua morfologia (vedi tabelle seguenti);

Tabella 5 - Valori dei coefficienti di forma per falde piane (cfr. Tab. 3.4.II D.M. 2018 e Tab. C3.4.I Circolare 2019 n. 7)

Coefficiente di forma	$0^\circ \leq \alpha \leq 30^\circ$	$30^\circ < \alpha < 60^\circ$	$\alpha \geq 60^\circ$
μ_1	0,8	$0,8(60-\alpha) / 30$	0,0
μ_2	$0,8 + 0,8 \cdot \alpha / 30$	1,6	-

Tabella 6 - Valori dei coefficienti di forma per coperture cilindriche (cfr. §C3.4.3.3.1 Circolare 2019 n. 7)

Angolo di tangenza delle coperture cilindriche, β	Coefficiente di forma, μ_3
per $\beta > 60^\circ$	$\mu_3 = 0$
per $\beta \leq 60^\circ$	$\mu_3 = 0.2 + 10 h / b \leq 2.0$

- C_E è il coefficiente di esposizione, funzione della topografia del sito (si veda la seguente tabella);

Tabella 7 - Valori di C_E per diverse classi di esposizione (cfr. Tab. 3.4.I D.M. 2018)

Topografia	Descrizione	C_E
Battuta dai venti	Aree pianeggianti non ostruite esposte su tutti i lati, senza costruzioni o alberi più alti	0,9
Normale	Aree in cui non è presente una significativa rimozione di neve sulla costruzione prodotta dal vento, a causa del terreno, altre costruzioni o alberi	1,0
Riparata	Aree in cui la costruzione considerata è sensibilmente più bassa del circostante terreno o circondata da costruzioni o alberi più alti	1,1

- C_t è il coefficiente termico, cautelativamente posto pari ad 1 (cfr. §3.4.4 D.M. 2018).

Poiché anche il carico neve è funzione dell'inclinazione della superficie su cui si deposita, ovvero dell'inclinazione dei pannelli fotovoltaici, avremo le seguenti due situazioni limite:

- Per $\alpha = 0^\circ$ avremo : $q_s = 0.43 \text{ kN/m}^2$
- Per $\alpha = 60^\circ$ avremo : $q_s = 0.07 \text{ kN/m}^2$

	RELAZIONE DI CALCOLO PRELIMINARE SULLE STRUTTURE	Codice	FV.GAL01.C1.PD.9.1
		Data creazione	29/08/2022
		Data ultima modif.	29/08/2022
		Revisione	00
		Pagina	13 di 22

6.6 Azione sismica

L'azione sismica è stata valutata in conformità alle indicazioni riportate al §3.2 del D.M. 2018 "Norme tecniche per le Costruzioni". Si riportano di seguito le coordinate geografiche del sito rispetto al Datum **ED50**:

Tabella 8 - Coordinate sito

Latitudine	Longitudine	Altitudine
[°]	[°]	[m]
40.196797	18.114586	75

L'opera in oggetto è stata progettata per una **Vita Nominale** pari a **50** e per **Classe d'Uso** pari a **2**.

In base alle indagini geognostiche effettuate si è classificato il **suolo** di fondazione di **categoria A**, cui corrispondono i seguenti valori per i parametri necessari alla costruzione degli spettri di risposta orizzontale e verticale:

Tabella 9 - Parametri di pericolosità sismica

Stato Limite	a_g/g	F_0	T_c^* [s]	C_c	T_B [s]	T_c [s]	T_D [s]	S_s
SLO	0.0145	2.396	0.160	1.00	0.053	0.160	1.658	1.00
SLD	0.0194	2.392	0.214	1.00	0.071	0.214	1.678	1.00
SLV	0.0522	2.382	0.514	1.00	0.171	0.514	1.809	1.00
SLC	0.0668	2.494	0.548	1.00	0.183	0.548	1.867	1.00

Si è inoltre assunto il **Coefficiente di Amplificazione Topografica** (S_T) pari a **1.00**. Le strutture in esame sono state progettate in classe di duttilità "**NON Dissipativa**". Gli spettri utilizzati sono riportati nella successiva figura.

Grafico degli Spettri di Risposta

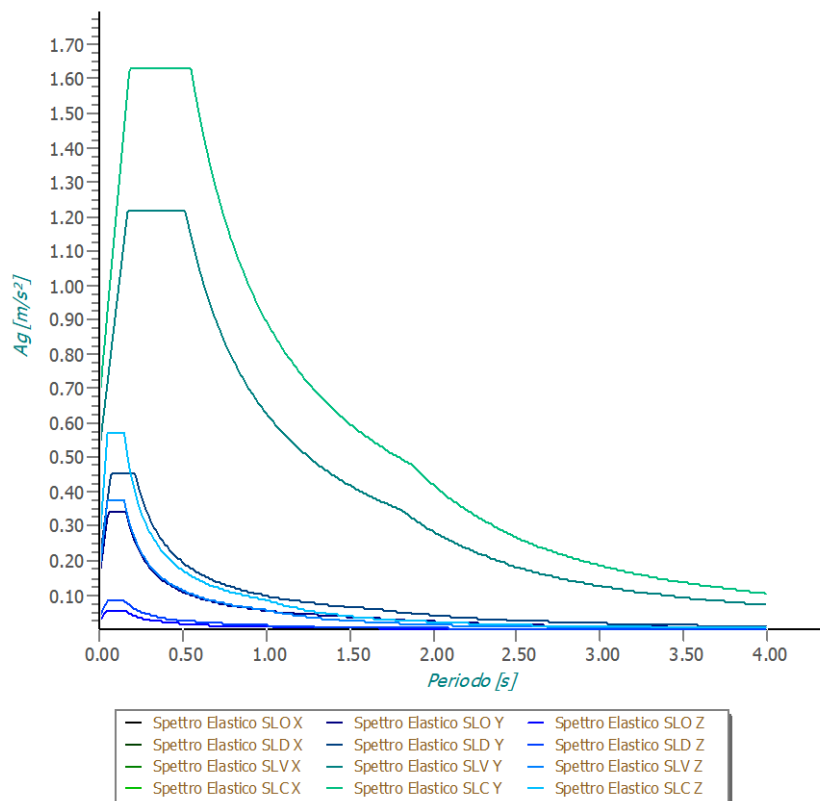



Figura 4 - Grafico spettri

	RELAZIONE DI CALCOLO PRELIMINARE SULLE STRUTTURE	Codice Data creazione Data ultima modif. Revisione Pagina	FV.GAL01.C1.PD.9.1 29/08/2022 29/08/2022 00 14 di 22
---	---	---	--

7 DEFINIZIONE DELLE COMBINAZIONI

Le azioni sulla costruzione sono state combinate secondo le regole previste dalla normativa vigente. Le combinazioni previste sono destinate al controllo di sicurezza della struttura ed alla verifica degli spostamenti e delle sollecitazioni.

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

Combinazione fondamentale SLU

$$\gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{G2} \cdot G_2 + \gamma_P \cdot P + \gamma_{Q1} \cdot Q_{k1} + \gamma_{Q2} \cdot \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \gamma_{Q3} \cdot \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots$$

Combinazione caratteristica (rara) SLE

$$G_{1k} + G_{2k} + P + Q_{k1} + \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots$$

Combinazione frequente SLE

$$G_{1k} + G_{2k} + P + \psi_{11} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot Q_{k3} + \dots$$

Combinazione quasi permanente SLE

$$G_{1k} + G_{2k} + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot Q_{k3} + \dots$$

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

$$E + G_{1k} + G_{2k} + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \dots$$

Le verifiche strutturali e geotecniche sono state effettuate in conformità agli approcci previsti dal D.M.2018 applicando gli opportuni coefficienti richiesti dalle specifiche verifiche.

8 MODELLO DI CALCOLO

Le verifiche strutturali preliminari sono state condotte utilizzando un modello di calcolo composto da elementi beam, simulanti il comportamento delle membrature componenti.


Nel dettaglio, il modello di calcolo impiegato prevede dei vincoli di incastro alla base delle colonne verticali, i correnti orizzontali collegati alla testa delle colonne verticali, sono state muniti, alle estremità degli stessi di vincolo a cerniera, mentre gli arcarecci si sono considerati incastrati al corrente orizzontale.

Il modello della struttura viene creato automaticamente dal codice di calcolo, individuando i vari elementi strutturali e fornendo le loro caratteristiche geometriche e meccaniche.

Si precisa che per ogni tracker si sono impiegati due modelli di calcolo strutturale. Uno che schematizza l'angolo di inclinazione dei pannelli fotovoltaici $\alpha=0^\circ$ (pannello orizzontale), e uno che schematizza l'angolo di inclinazione $\alpha=60^\circ$ (inclinazione massima).

Le fondazioni delle cabine sono state modellate come platee su di un letto di molle alla Winkler, sulle quali sono stati applicati i carichi mediante azioni distribuite.

La modellazione del materiale degli elementi in c.a. segue la classica teoria dell'elasticità lineare; per cui il materiale è caratterizzato oltre che dal peso specifico, da un modulo elastico (E) e un modulo tagliante (G).

	RELAZIONE DI CALCOLO PRELIMINARE SULLE STRUTTURE	Codice Data creazione Data ultima modif. Revisione Pagina	FV.GAL01.C1.PD.9.1 29/08/2022 29/08/2022 00 15 di 22
---	---	---	--

La possibile fessurazione degli elementi in c.a. è stata tenuta in conto nel modello considerando un opportuno decremento del modulo di elasticità e del modulo di taglio, nei limiti di quanto previsto dalla normativa vigente per ciascuno stato limite.

Gli elementi di **fondazione** sono modellati assumendo un comportamento elastico-lineare sia a trazione che a compressione.

9 METODO DI ANALISI

Nel modello in esame è stata condotta un'analisi dinamica lineare tenendo conto delle azioni gravitazionali che sono state applicate al modello geometrico mediante forze concentrate e distribuite.

10 PROGETTO E VERIFICA DEGLI ELEMENTI STRUTTURALI

La verifica degli elementi allo SLU – SLV avviene col seguente procedimento:

- si costruiscono le combinazioni non sismiche in base al D.M. 2018, ottenendo un insieme di sollecitazioni;
- si costruiscono le combinazioni sismiche in base al D.M. 2018 secondo quanto indicato nel §2.5.3, relazione (2.5.5) del D.M. 2018, ottenendo un ulteriore insieme di sollecitazioni;
- per sollecitazioni semplici (flessione retta, taglio, etc.) si individuano i valori minimo e massimo, tra tutte le combinazioni, con cui progettare o verificare l'elemento considerato; per sollecitazioni composte (presso-flessione retta/deviata) vengono eseguite le verifiche per tutte le possibili combinazioni e solo a seguito di ciò si individua quella che ha originato il minimo coefficiente di sicurezza.

10.1 Verifiche strutturali elementi in acciaio

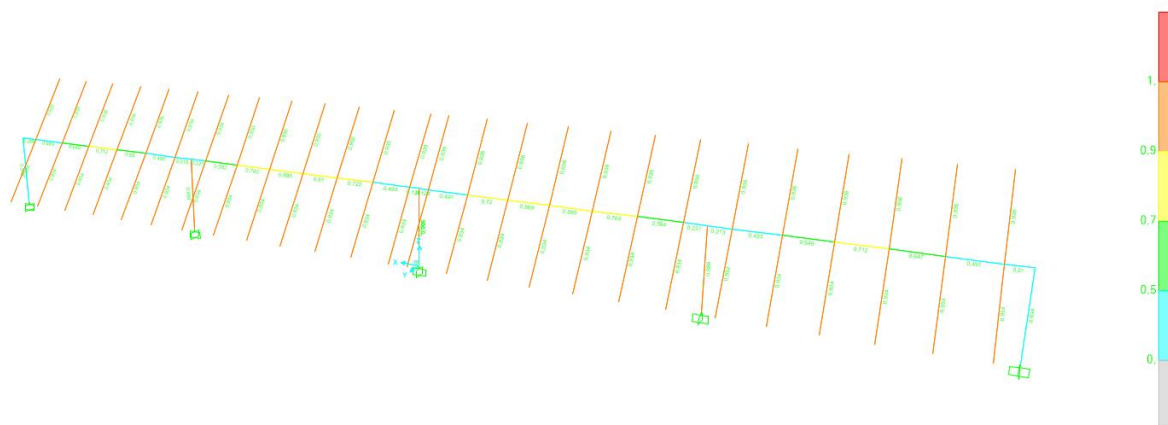
La progettazione delle membrature è avvenuta in modo da soddisfare le verifiche richieste per gli SLU e per gli SLE mediante l'ausilio del codice di calcolo. Le verifiche condotte sulle sezioni sono sotto riportate:

10.1.1 Verifiche SLU

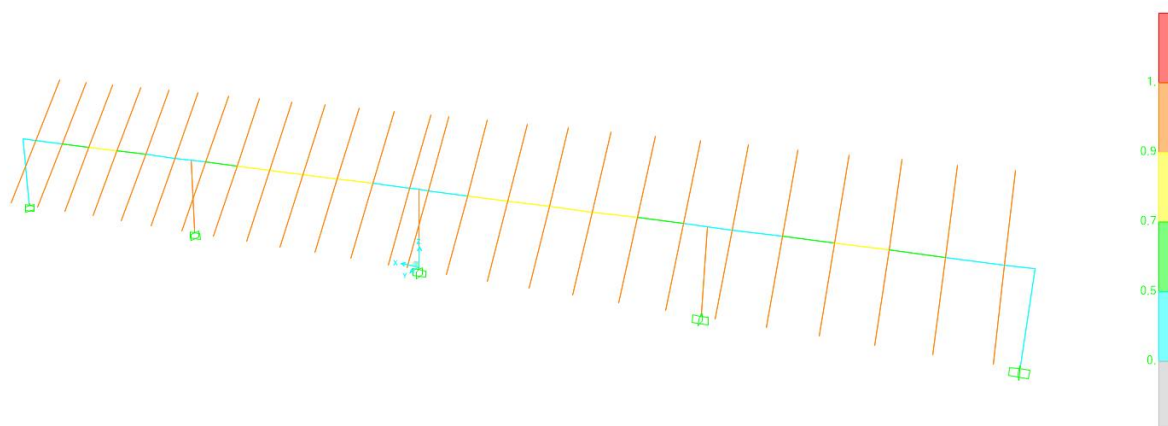
- Flessione: in accordo con § 4.2.4.1.2 del D.M. 17/01/2018;
- Taglio: in accordo con § 4.2.4.1.2 del D.M. 17/01/2018;
- Instabilità: in accordo con § 4.2.4.1.2 del D.M. 17/01/2018;
- Verifica a ribaltamento;

Di seguito una rappresentazione grafica dei risultati maggiormente significativi. I coefficienti di sicurezza sono espressi in termini di rapporto domanda/capacità, pertanto, la verifica è soddisfatta se si verifica la condizione $CS < 1$.

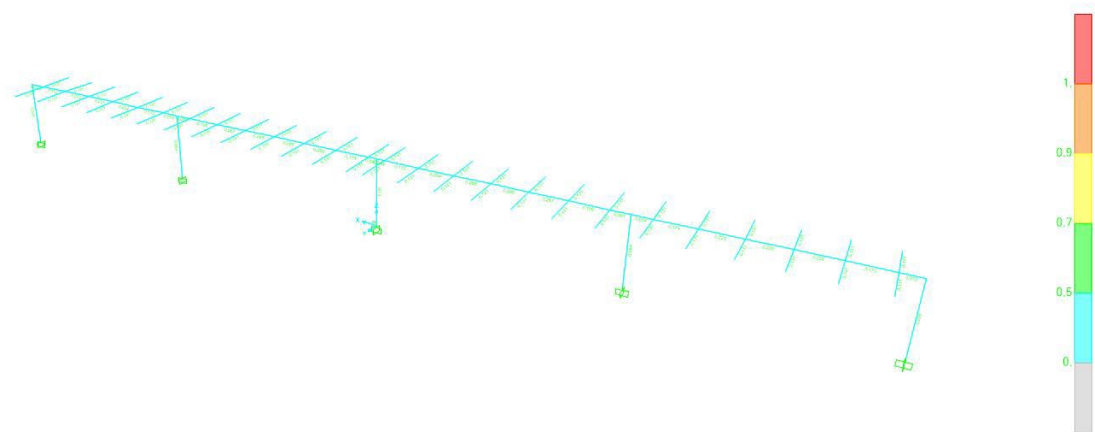
Steel P-M Interaction Ratios (Italian NTC 2018)


Figura 5 - coefficienti di sicurezza verifica di instabilità configurazione 60°_tracker 2x28 moduli

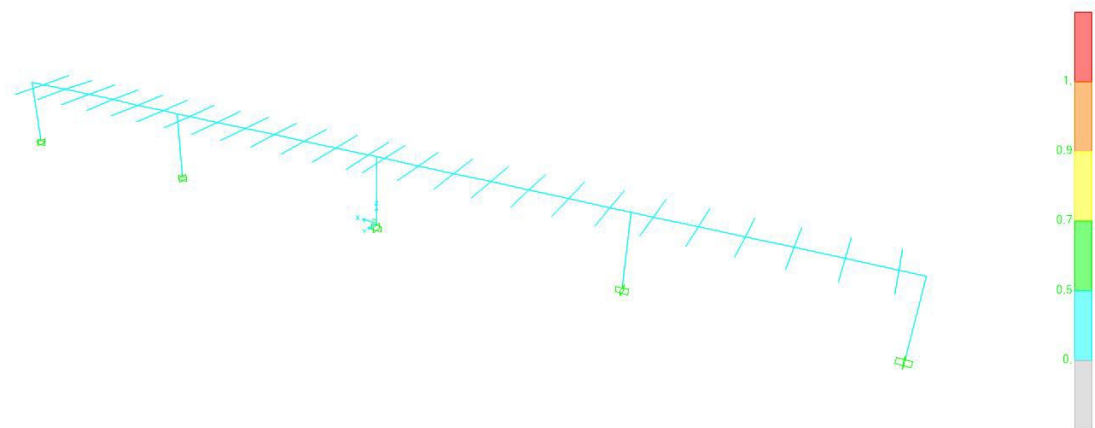
Identify All Steel Shear Failure (Italian NTC 2018)


Figura 6 - coefficienti di sicurezza verifica a taglio configurazione 60°_tracker 2x28 moduli

Steel P-M Interaction Ratios (Italian NTC 2018)


Figura 7 - coefficienti di sicurezza verifica di instabilità configurazione 0°_tracker 2x28 moduli

Identify All Steel Shear Failure (Italian NTC 2018)


Figura 8 - coefficienti di sicurezza verifica a taglio configurazione 0°_tracker 2x28 moduli

Ai fini di valutare la stabilità complessiva della struttura, è stata eseguita la verifica di stabilità sotto l'azione del vento delle strutture a sostegno dei pannelli fotovoltaici.

La verifica è stata condotta nell'ipotesi della configurazione più gravosa, ovvero tracker con inclinazione di 60°, in modo tale da massimizzare l'azione stabilizzante dovuta alla spinta del vento. Il contributo stabilizzante è rappresentato dal peso dei pannelli, delle strutture portanti e dal peso del volume di terreno coinvolto nel meccanismo di instabilità.

Tabella 10 - verifica ribaltamento

M_{rib} (Nm)	F_{stab} (N)	b_{stab} (m)	$F_{stab\ terreno}$ (N)	b_{stab} (m)	M_{stab} (Nm)	CS
231843	52186	0,125	238495	1,87	392795	1,69

	RELAZIONE DI CALCOLO PRELIMINARE SULLE STRUTTURE	Codice Data creazione Data ultima modif. Revisione Pagina	FV.GAL01.C1.PD.9.1 29/08/2022 29/08/2022 00 18 di 22
---	---	---	--

10.1.2 Verifiche SLE

Gli spostamenti devono essere verificati per garantire la funzionalità dell'opera, pertanto, è stata eseguita una verifica di deformabilità in accordo con §4.2.4.2 del D.M. 17/01/2018.

Per gli spostamenti verticali del corrente orizzontale delle strutture del fotovoltaico si assume un limite pari a $L/200$, ovvero:

- $\delta_{v,amm} = \frac{6853}{200} = 34mm;$

Le verifiche condotte hanno evidenziato i seguenti risultati per le varie configurazioni:

- *Tracker_28 moduli:*
 - Configurazione 60°: spostamento massimo di 6.85mm, ovvero un coefficiente di sicurezza pari a $CS(\text{capacità}/\text{domanda}) = 4.96;$
 - Configurazione 0°: spostamento massimo di 9.15mm, ovvero un coefficiente di sicurezza pari a $CS(\text{capacità}/\text{domanda}) = 3.71;$

10.2 Verifiche strutturali elementi in C.A.

La progettazione delle armature è avvenuta in modo da soddisfare le verifiche richieste per gli SLU (statici e sismici) e per gli SLE (statici e sismici) mediante l'ausilio del codice di calcolo. Le verifiche condotte sulle sezioni sono sotto riportate:

Verifiche SLU - SLV

- Flessione: in accordo con § 4.1.2.3.4.2 del D.M. 17/01/2018

Verifiche SLE - SLD

- Fessurazione: in accordo con §4.1.2.2.4 del D.M. 17/01/2018
- Limitazione delle tensioni: in accordo con §4.1.2.2.5 del D.M. 17/01/2018

Di seguito una rappresentazione grafica dei risultati maggiormente significativi. I coefficienti di sicurezza sono espressi in termini di rapporto capacità/domanda, pertanto, la verifica è soddisfatta se si verifica la condizione $CS > 1$.

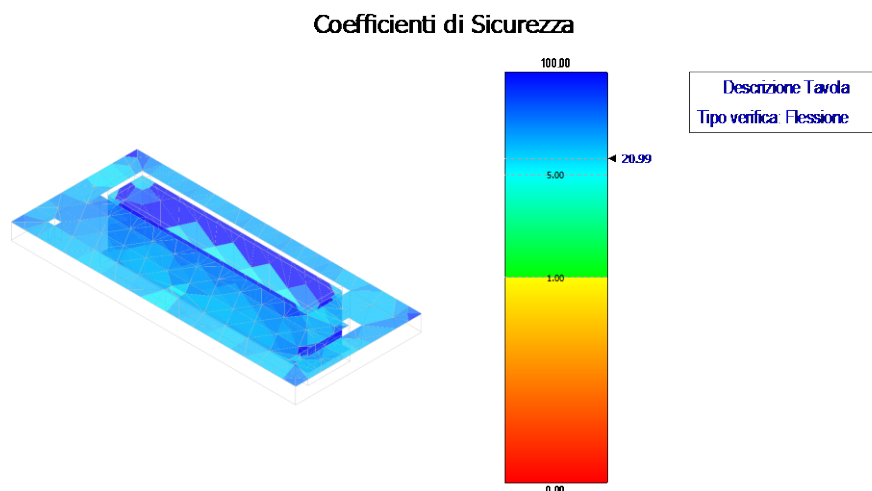


Figura 9 - verifica a flessione - fondazione cabina di raccolta

	RELAZIONE DI CALCOLO PRELIMINARE SULLE STRUTTURE	Codice Data creazione Data ultima modif. Revisione Pagina	FV.GAL01.C1.PD.9.1 29/08/2022 29/08/2022 00 19 di 22
---	---	---	--

Coefficienti di Sicurezza

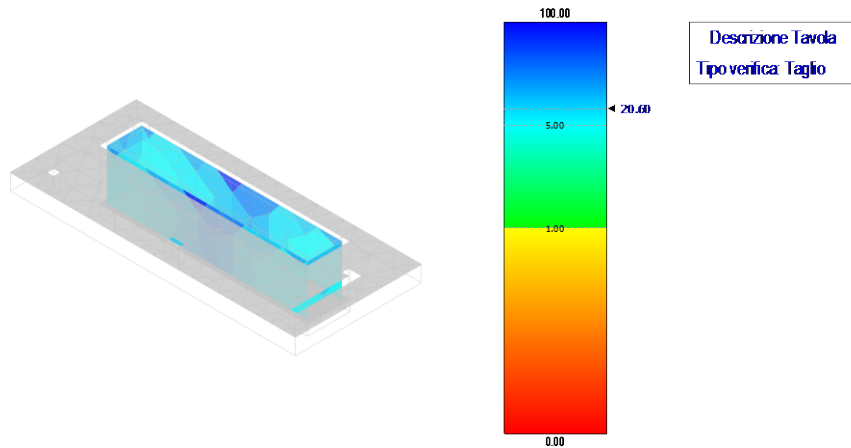


Figura 10 - verifica a taglio – fondazione cabina di raccolta

Coefficienti di Sicurezza

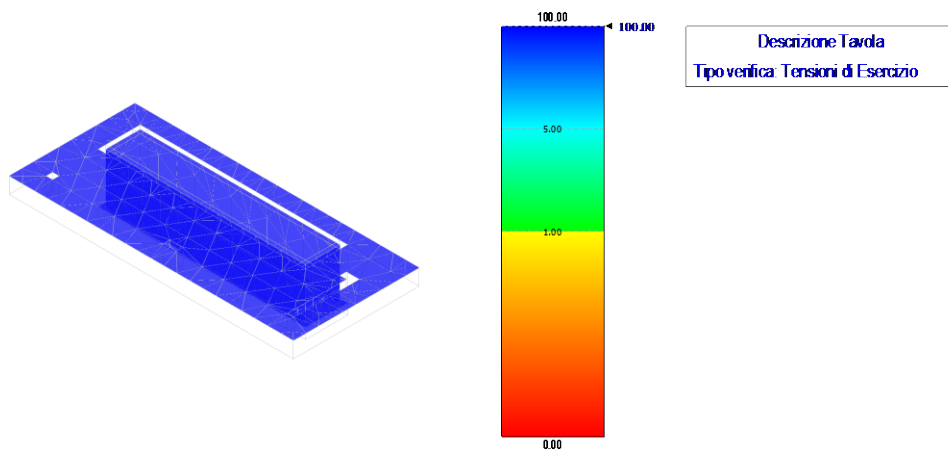


Figura 11 – tensioni di esercizio - fondazione cabina di raccolta

Coefficienti di Sicurezza

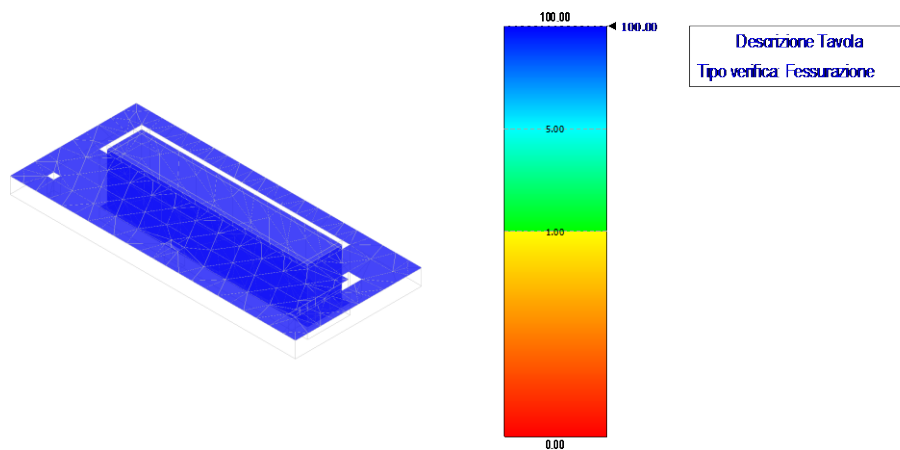



Figura 12 – verifica a fessurazione - fondazione cabina di raccolta

	RELAZIONE DI CALCOLO PRELIMINARE SULLE STRUTTURE	Codice	FV.GAL01.C1.PD.9.1
		Data creazione	29/08/2022
		Data ultima modif.	29/08/2022
		Revisione	00
		Pagina	20 di 22

11 CALCOLO DELLA FONDAZIONE

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

Tabella 11 - Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni - Tabella 6.2.I del D.M. 2018

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

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

Tabella 12 - Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno - Tabella 6.2.II del D.M. 2018

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

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

Tabella 13 - Coefficienti parziali γ_R per le verifiche agli stati limite ultimi di fondazioni superficiali - Tabella 6.4.I del D.M. 2018

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

I valori dei parametri geotecnici impiegati nel calcolo sono stati desunti dalla relazione geologica.

11.1 Carico limite

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

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

in cui:


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

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

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

D = profondità del piano di posa della fondazione;

B' = larghezza ridotta della suola di fondazione;

	RELAZIONE DI CALCOLO PRELIMINARE SULLE STRUTTURE	Codice	FV.GAL01.C1.PD.9.1
		Data creazione	29/08/2022
		Data ultima modif.	29/08/2022
		Revisione	00
		Pagina	21 di 22

L = lunghezza della fondazione;

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

N_c, N_q, N_γ = fattori di capacità portante;

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

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

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

e_B = eccentricità parallela al lato di dimensione B ;

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

e_L = eccentricità parallela al lato di dimensione L ;

con $B' \leq L'$.

11.2 Verifiche geotecniche

Per le varie tipologie di fondazioni sono di seguito riportati i risultati sotto forma di grafici sintetici. I coefficienti di sicurezza sono espressi in termini di rapporto capacità/domanda, pertanto la verifica è soddisfatta se si verifica la condizione $CS > 1$.

Di seguito i risultati maggiormente significativi:

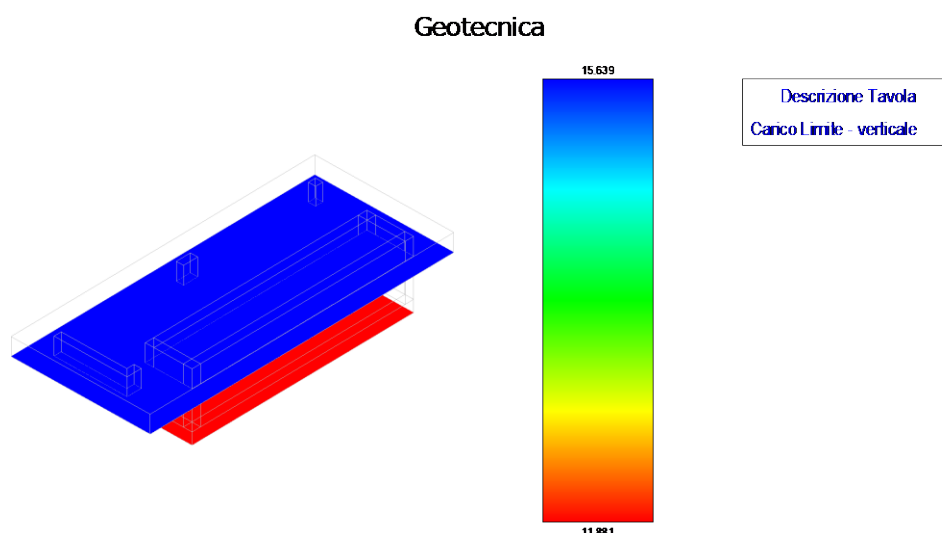


Figura 13 - carico limite - cabina di raccolta

Per quanto concerne il sistema terreno-fondazione, l'opera in esame prevede che le strutture metalliche verticali siano infisse nel terreno, pertanto, le verifiche sono condotte in accordo a quanto specificato dal § 6.4.3.1 del D.M. 17/01/2018 per gli SLU per le fondazioni profonde. Al fine di poter utilizzare le classiche formule statiche per i pali infissi, la sezione dei profili impiegati per le colonne verticali viene ricondotta ad un palo equivalente il cui perimetro della sezione è uguale al perimetro della sezione della colonna verticale.

Dai risultati dell'analisi si ottengono i seguenti risultati per verifiche a carichi verticali e trasversali:

Tabella 14 - carico limite verticale

$N_{d,comp}$ [kN]	$N_{d,traz}$ [kN]	$R_{d,tot}$ [kN]	$R_{lat,traz}$ [kN]	CS_{totale}	$CS_{trazione}$
37,48	-9,05	37,5	-25,8	1,00	2,86


	RELAZIONE DI CALCOLO PRELIMINARE SULLE STRUTTURE	Codice Data creazione Data ultima modif. Revisione Pagina	FV.GAL01.C1.PD.9.1 29/08/2022 29/08/2022 00 22 di 22
---	---	---	--

Tabella 15 - carico limite orizzontale

infissione [m]	F_e [kN]	F_d [kN]	CS
2,5	32,29	35,89	1,11

La profondità di infissione che soddisfa le verifiche è pari a **250 cm**.

In fase di progettazione esecutiva, la lunghezza di infissione delle colonne verticali potrà essere ottimizzata prescrivendo delle prove di carico su pali pilota. Qualora la profondità di infissione desunta anche dalle prove fosse “significativa” si valuterà l’adozione di un altro tipo di fondazione.

12 CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

L’opera sopra descritta è conforme ai requisiti prestazionali richiesti dalle vigenti Norme Tecniche per le Costruzioni, D.M. del 17/01/2018. **Ulteriori indicazioni e aspetti saranno analizzati nella fase esecutiva del progetto e comunque prima dell’inizio dei lavori in sede di acquisizione di autorizzazione in zona sismica ai sensi dell’articolo 94 del D.P.R.380/2001.**