

# REGIONE SICILIANA

Provincia di Agrigento

Comuni di FAVARA e AGRIGENTO

PROGETTO:

## IMPIANTO AGRI-VOLTAICO FAVARA 1"

PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO FOTOVOLTAICO DI POTENZA PARI A  
51,72 MWp IN CONTRADA S. BENEDETTO  
nei comuni di FAVARA (AG) e AGRIGENTO"



## PROGETTO DEFINITIVO

COMMITTENTE



**10PIU' ENERGIA SRL**

Via Aldo Moro, 28 - 25043 Breno (BS)

P.I. 04309260984 - PEC: [10piuenergia@pec.it](mailto:10piuenergia@pec.it)

PROGETTAZIONE



**PROTECNA s.r.l.**

via XX Settembre, 25

00062 Bracciano (RM)

PEC: [protecnasrl@pec.it](mailto:protecnasrl@pec.it)

**I Tecnici**

**Dott. Ing. Paolo Lo Biundo**

**Dott. Ing. Francesco Mollame**

ELABORATO

Relazione tecnica e calcoli preliminari delle strutture

| CODICE     | SCALA       | FORMATO   | CODIFICA INTERNA               |
|------------|-------------|-----------|--------------------------------|
| <b>R.6</b> | <b>1:--</b> | <b>A4</b> | <b>R.6_10PN2201PDRrts006R0</b> |

|      |            |                       |         |            |           |
|------|------------|-----------------------|---------|------------|-----------|
|      |            |                       |         |            |           |
|      |            |                       |         |            |           |
| 00   | 30/09/2022 | PRIMA EMISSIONE       | PL      | FM         | AL        |
| REV. | DATA       | DESCRIZIONE REVISIONE | REDATTO | VERIFICATO | APPROVATO |

## Sommario

|       |                                                                                  |    |
|-------|----------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1.    | PREMESSA.....                                                                    | 2  |
| 2.    | AREA DI INTERVENTO E DESCRIZIONE GENERALE DELL'OPERA.....                        | 2  |
| 3.    | NORMATIVE DI RIFERIMENTO .....                                                   | 5  |
| 4.    | ASPETTI GEOTECNICI .....                                                         | 5  |
| 5.    | DESCRIZIONE E CARATTERISTICHE GEOMETRICHE DEL TRACKER .....                      | 7  |
| 6.    | VANI ACCESSORI IN C.A. PREFABBRICATI E IN ACCIAIO .....                          | 11 |
| 6.1   | Cabine prefabbricate CEP .....                                                   | 12 |
| 6.1.1 | Cabina di Consegna Enel (d).....                                                 | 12 |
| 6.1.2 | Cabine di Trasformazione P67 (a).....                                            | 14 |
| 6.2   | Container (b) .....                                                              | 15 |
| 6.3   | Locale Tecnico (c).....                                                          | 15 |
| 6.4   | Cabina MT (e) .....                                                              | 17 |
| 7.    | AZIONI SULLE STRUTTURE IN C.A E PARAMETRI SIMICI DI CALCOLO.....                 | 18 |
| 7.1   | Regolarità delle strutture e fattore di struttura.....                           | 18 |
| 7.2   | Combinazioni delle azioni sulla costruzione .....                                | 18 |
| 7.3   | Destinazione d'uso e sovraccarichi variabili dovuto alle azioni antropiche ..... | 21 |
| 7.4   | Modello Di Calcolo .....                                                         | 22 |
| 7.5   | Durabilità .....                                                                 | 22 |
| 7.6   | Misura Della Sicurezza .....                                                     | 22 |
| 7.7   | Schematizzazione Della Struttura .....                                           | 23 |
| 7.8   | Combinazione Di Calcolo .....                                                    | 24 |
| 7.9   | Azioni Agenti Sulle Fondazioni .....                                             | 25 |
| 7.10  | Parametri sismici .....                                                          | 26 |
| 8.    | ANALISI DEI CARICHI STRUTTURE - TRACKER.....                                     | 28 |
| 8.1   | Localizzazione dell'intervento.....                                              | 28 |
| 8.2   | Analisi dei carichi.....                                                         | 28 |
| 8.2.1 | Carichi permanenti G.....                                                        | 28 |
| 8.2.2 | Calcolo delle azione del vento.....                                              | 29 |
| 8.2.3 | Calcolo delle azioni da neve .....                                               | 33 |
| 8.3   | Valutazione dell'azione sismica .....                                            | 34 |
| 9.    | CONCLUSIONI .....                                                                | 37 |

## 1. PREMESSA

La presente relazione preliminare di calcolo strutturale riguarda il progetto di una centrale di produzione di energia elettrica da fonte energetica rinnovabile avente potenza nominale pari a **51.720,24 kWp**, attraverso tecnologia fotovoltaica, denominata “FAVARA 01 – SAN BENEDETTO”, che sarà realizzata nel territorio comunale di Favara ed Agrigento, provincia di Agrigento, ubicata in Contrada San Benedetto.

La relazione ha lo scopo di definire la geometria degli elementi strutturali di sostegno dei pannelli fotovoltaici e delle fondazioni delle cabine a servizio del progetto per la realizzazione dell’impianto e di fornire indicazioni sulla modalità di calcolo che verrà utilizzata per dimensionare suddetti elementi strutturali.

Resta inteso che le effettive strutture saranno opportunamente calcolate e verificate in sede di progettazione definitiva e che la tipologia individuata potrà essere sostituita con altra simile sempre nel rispetto di dimensioni e sistema di inseguimento solare.

Le strutture utilizzate sono quindi rappresentati da inseguitori solari monoassiali denominati “tracker” con sopra ancorati i moduli fotovoltaici le cui caratteristiche dimensionali e geometriche sono meglio rappresentate nelle pagine seguenti. Tali strutture vengono infisse nel terreno mediante battitura dei montanti e senza utilizzo di calcestruzzo o altro materiale.

Le altre strutture presenti nel progetto sono elementi prefabbricati e/o accessori funzionali pre-assemblati forniti e posati in opera da ditte specializzate e quindi accompagnati da idonea certificazione di conformità anche sotto il profilo strutturale.

## 2. AREA DI INTERVENTO E DESCRIZIONE GENERALE DELL’OPERA

L’area per l’installazione dell’impianto fotovoltaico, denominato “FAVARA 1”, si trova nel territorio comunale di Favara e Agrigento, provincia di Agrigento, ubicata in Contrada San Benedetto.

Dal punto di vista cartografico, l’area oggetto dell’indagine, si colloca sulla CTR alla scala 1:10.000, nella Sezione 636080.

Il sito è identificato al catasto terreni del comune di Favara, sul foglio di mappa n. 21 particelle 11, 421, 422, 423, 67, 71 e 73 e catasto terreni del comune di Agrigento foglio di mappa n. 194 particelle 15, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 28, 33, 34, 45, 55; foglio di mappa 122 particelle 17, 31, 33, 44, 50; foglio di mappa 131 particelle 1, 2, 3, 4, 5, 8, 829.

L'impianto risiederà su appezzamenti di terreno posti ad un'altitudine media di 240 m.s.l.m, diviso in 6 lotti. Il sito è facilmente raggiungibile dalla SP3 e SP189, entrambe collegate alla SS640 Caltanissetta-Agrigento che collega la SS115 a sud con la A19 a nord.

L'estensione complessiva è circa 124,46 ettari per più della metà sarà utilizzata per pastorizia, rimboschimento per stabilizzazione delle zone scoscese e coltivazioni come meglio illustrato nella relazione agronomica.

Non sono presenti sul sito, fenomeni di ombreggiamento, dovuti alla presenza di alberi ad alto fusto o edifici, che possano ostacolare l'irraggiamento diretto durante tutto l'arco della giornata.

La **potenza nominale del generatore fotovoltaico**, data dalla somma delle potenze nominali dei singoli moduli fotovoltaici, è pari a **51.720,24 kWp**, e sulla base di tale potenza è stato dimensionato tutto il sistema.

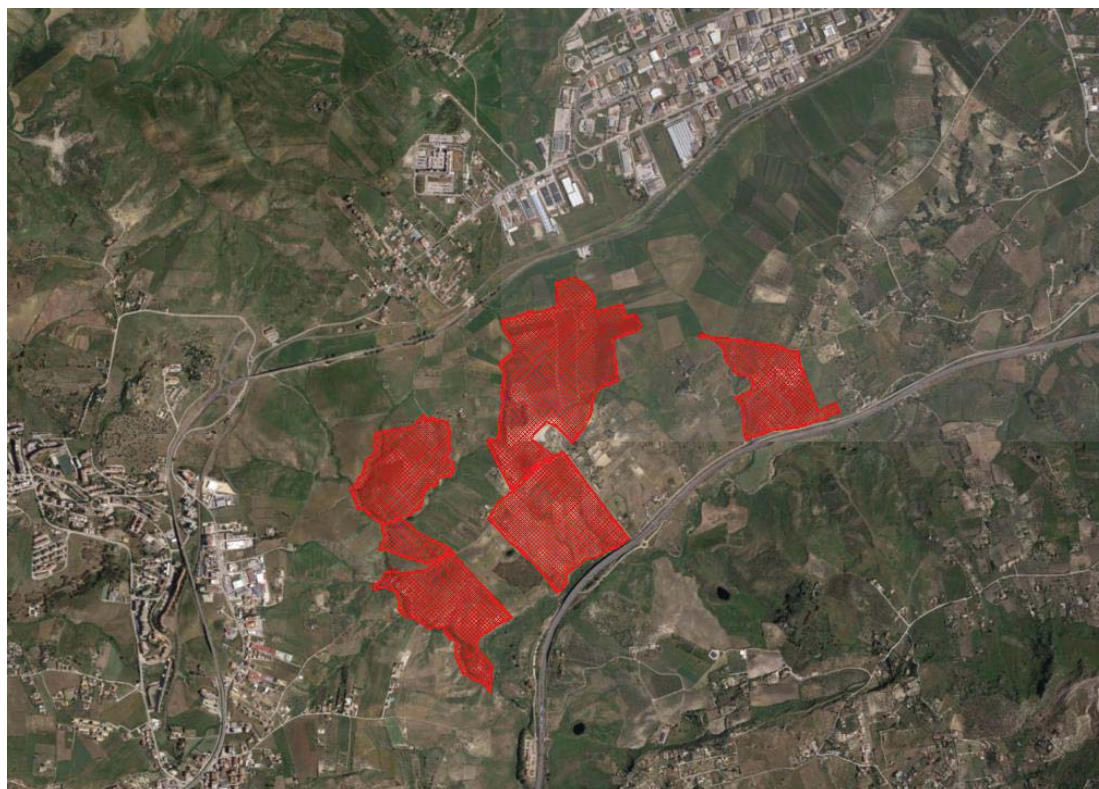


Figura 1 - Inquadramento area di progetto

Per massimizzare la producibilità energetica è previsto l'utilizzo di tracker monoassiali del tipo 2-V fino a 28 moduli.

Le linee in corrente alternata alimentate dagli inverter di uno stesso sottocampo, saranno collegate ad un **quadro elettrico generale di bassa tensione** equipaggiato con **dispositivi di generatore** (tipicamente interruttori automatici di tipo magnetotermico-differenziale) uno per ogni inverter e un interruttore automatico generale di tipo magnetotermico, attraverso il quale verrà realizzato il collegamento con l'avvolgimento di bassa tensione del trasformatore BT/MT.

Per ogni sottocampo si utilizzerà un **trasformatore elevatore**, la cui funzione è quella di innalzare la tensione del generatore fotovoltaico al livello necessario per eseguire il collegamento con la Rete Elettrica di media tensione del Distributore locale (20 kV).



### 3. NORMATIVE DI RIFERIMENTO

- . **D.M 17/01/2018** – *“Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni”*;
- . **Circ. Ministero Infrastrutture e Trasporti 21 gennaio 2019, n. 7**: *“Istruzioni per l’applicazione delle Nuove norme tecniche per le costruzioni di cui al D.M. 17 gennaio 2018”*;
- . **Legge n° 64 del 02/02/1974**: *“Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche”*;
- . **Legge 05/11/1971 n° 1086**: *“Norme per la disciplina delle opere di conglomerato cementizio armato, normale e precompresso ed a strutture metalliche”*;
- . **UNI EN 1090-1**: *“Esecuzione di strutture di acciaio e di alluminio – Parte n 1: Requisiti per la valutazione di conformità dei componenti strutturali”*.

### 4. ASPETTI GEOTECNICI

L’area oggetto di studio, è inquadrato nell’ambito di un’area di montagna altimetricamente ubicata a quote assolute che si aggirano dai 890 metri s.l.m. (area più a monte) ai 650 metri s.l.m. (area più a valle) e caratterizzata da pronunciati valori di acclività nelle sue porzioni in quota (in corrispondenza dei rilievi di “Cozzo Campanaro”, “Cozzo Rovittello”, “Cozzo S. Vincenzo”), mentre nei ristretti limiti del fondo in esame mostra un andamento assimilabile ad un declivio caratterizzato da valori di acclività mediamente non superiori al 15% ÷ 20%, con gradiente altimetrico generale che degrada principalmente in direzione Nord e con pendenze irregolari

L’assetto geologico strutturale dei “Monti di Palermo”, in cui ricade il sito esaminato, risulta dalla sovrapposizione di terreni carbonatici e siliceo-carbonatici che si sono depositati tra il Trias ed il Terziario e che derivano da ambienti paleogeografici di piattaforma carbonatica e di bacino Imerese (Abate B., Catalano R., Renda P., 1982).

Lo stile tettonico che caratterizza il territorio in generale è uno stile a falde di ricoprimento.

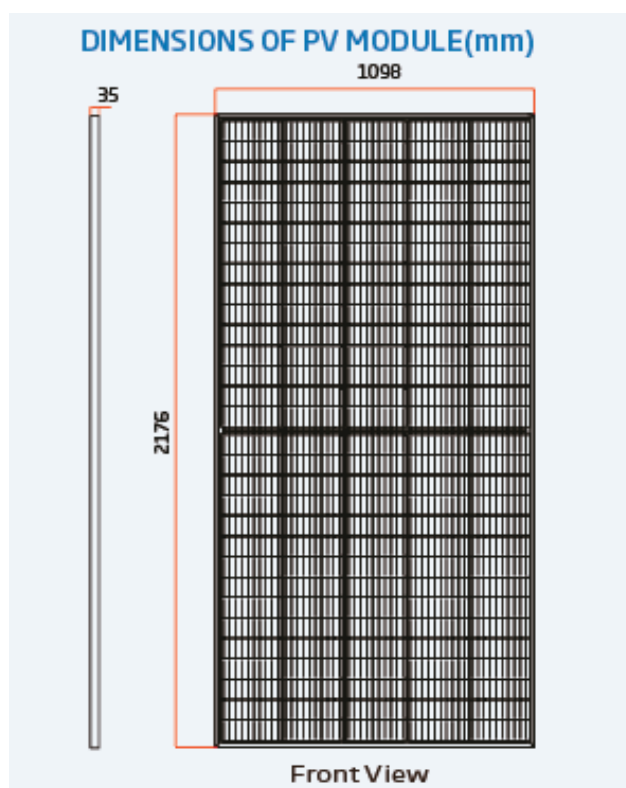
L’evoluzione tettonica è stata caratterizzata da due fasi tettoniche plicative terziarie a movimento traslativo, che hanno portato alla formazione di diverse Unità Stratigrafiche Strutturali, a cui è seguita una fase tettonica disgiuntiva quaternaria che ha comportato il sollevamento dell’edificio strutturale dell’area.

Tutto ciò ha determinato tra le varie Unità frequenti contatti anomali e, in generale, rapporti di giacitura spesso molto complicati, risultato di un impilamento di unità alloctone.

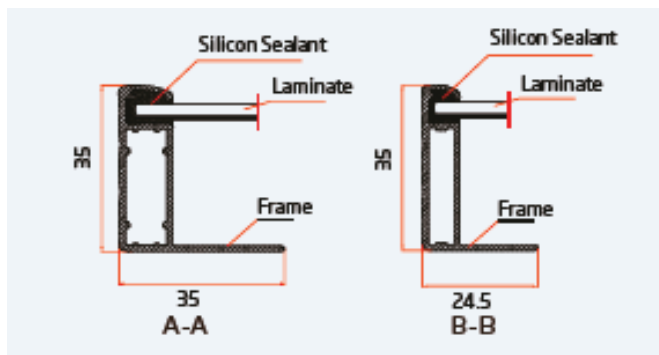
Quella affiorante nell'area d'intervento, deriva dalla deformazione del Bacino Numidico e si è messa in posto con un movimento orientato da nord verso sud.

## 5. DESCRIZIONE E CARATTERISTICHE GEOMETRICHE DEL TRACKER

I moduli fotovoltaici previsti nel sito di progetto sono i Vertex e hanno dimensioni di 1098 mm x 2176 mm; questi ultimi sono montati su profili omega collegati al sistema di sostegno ad inseguimento solare monoassiale denominato tracker. I moduli sono montati sulla struttura lungo il lato lungo su due file ed hanno la possibilità di ruotare nella direzione Est-Ovest con inclinazione massima di  $\pm 55^\circ$  in modo da ottimizzare la produzione di energia elettrica.



*Dettagli del pannello fotovoltaico*

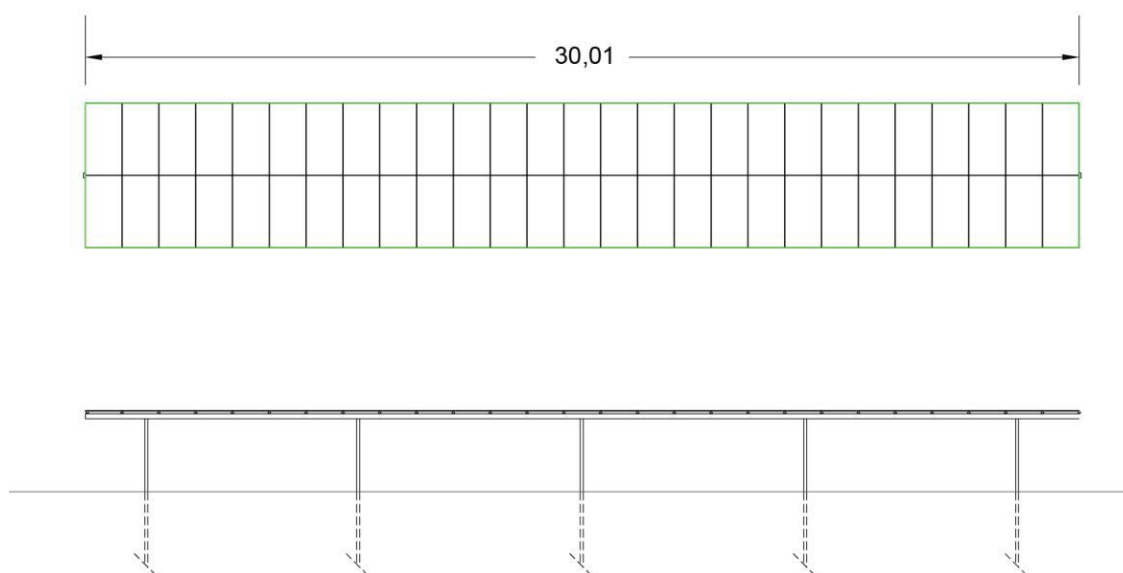


La struttura di sostegno è costituita da profilati metallici in acciaio opportunamente dimensionati; i profili omega si attestano orizzontalmente ad un'altezza di circa 2,45 m in fase di riposo, mentre in fase di esercizio raggiungono una quota massima di circa 4,18 metri di altezza rispetto alla quota del terreno. L'asse di rotazione del tracker è uno scatolare in acciaio e il suo movimento è generato dalla presenza di un attuatore.

Tale struttura orizzontale viene appoggiata a pilastri in acciaio di forma regolare ed infissi nel terreno ad una profondità variabile in funzione delle caratteristiche litologiche del suolo.

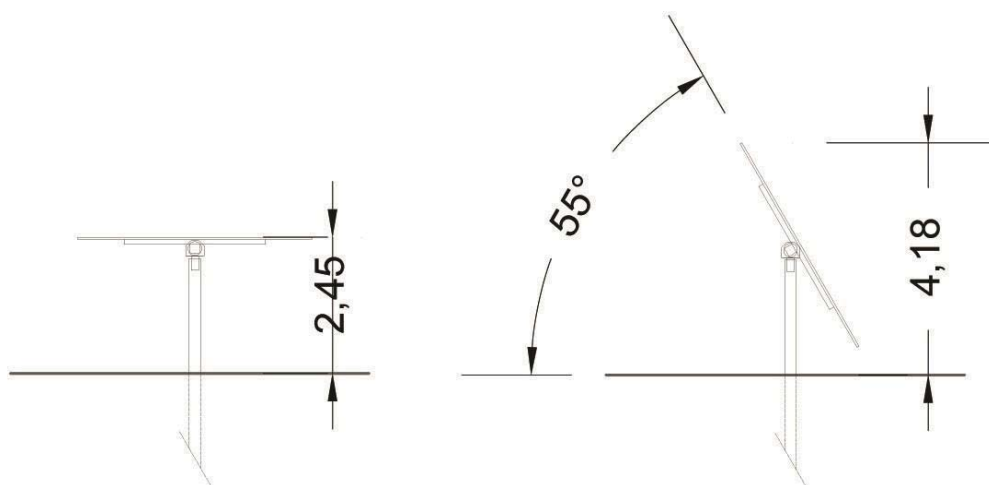
Sarà posizionata una tipologia di tracker:

- Tracker da 54 moduli (2V\*27), di dimensioni in pianta di 30,01 x 4,4 m circa;



*Vista in pianta nella configurazione orizzontale e Prospetto longitudinale*





*Prospetti laterali dei tracker nelle due configurazioni*

L'intera struttura di sostegno del tracker rappresenta lo schema statico che verrà utilizzato per il calcolo e la verifica degli elementi strutturali in fase definitiva.

Verranno inoltre studiate le due configurazioni di calcolo:

- configurazione  $\alpha = 55,0^\circ$
- configurazione  $\alpha = 0,0^\circ$

## 6. VANI ACCESSORI IN C.A. PREFABBRICATI E IN ACCIAIO

Vengono di seguito descritte le caratteristiche dei vani accessori facente parte dell'impianto di produzione.

E' prevista la realizzazione di:

- n. **3** Cabine di Trasformazione di tipo p67 (secondo i cataloghi CEP srl), ognuna delle quali alloggerà un trasformatore BT/MT, di dimensioni **6,76x2.48x3,00** m;
- n.**3** locali di conversione di tipo container box 20', in cui verranno distribuiti gli inverter, di dimensioni **6,00x3,00x3,00** m;
- n.**1** edificio prefabbricato per l'alloggio del locale tecnico di dimensioni **5,50x4,00x3,07** m;

- d) n.1 Cabina di Consegna ENEL e contatori UTIF (box consegna ENEL) di dimensioni **2,48x6,70x2,76m**; Il box di consegna sarà conforme alla **DK5600**, e servirà per alloggiare le apparecchiature di misura e manovra di e-Distribuzione spa.
- e) n.1 edificio prefabbricato per alloggiamento del quadro di media tensione generale di dimensioni **2,48x5,82x2,55 m**;

Tutti i vani accessori poggeranno su piastre di fondazioni in c.a. di dimensioni variabili che saranno opportunamente dimensionate in fase di progettazione definitiva.

### 6.1 Cabine prefabbricate CEP

I box prefabbricati CEP, destinati a cabine elettriche di trasformazione per Enti distributori e per utenti privati, sono identificati come monoblocchi tridimensionali prefabbricati a unico getto in conglomerato cementizio armato vibrato.

la struttura dei box è realizzata utilizzando un calcestruzzo Rck 400 Kg/cm<sup>2</sup> – C 32/40, confezionato in stabilimento mediante centrale di betonaggio automatica e additivato con idonei fluidificanti e impermealizzanti; ciò permette di ottenere adeguata protezione contro le infiltrazioni d'acqua per capillarità e protezione dall'esterno. L'armatura è realizzata con rete elettrosaldata a doppia maglia, irrigidita agli angoli dalle barre a doppio T, onde conferire al manufatto una struttura monolitica e gabbia equipotenziale di terra omogenea su tutta la struttura (gabbia di Faraday).

I box sono rifiniti sia internamente che esternamente con pitture murali plastiche idrorepellenti costituite da resine sintetiche p, polvere di quarzo, ossidi e coloranti additivi al fine di assicurarne la resistenza agli agenti atmosferici.

#### 6.1.1 Cabina di Consegna Enel (d)

Il prefabbricato adibito a Cabina di consegna ENEL è una Cabina elettrica modello **Dg. 2092 tipo A Ed. 03** avente le seguenti dimensioni:

Larghezza: 2,48 m

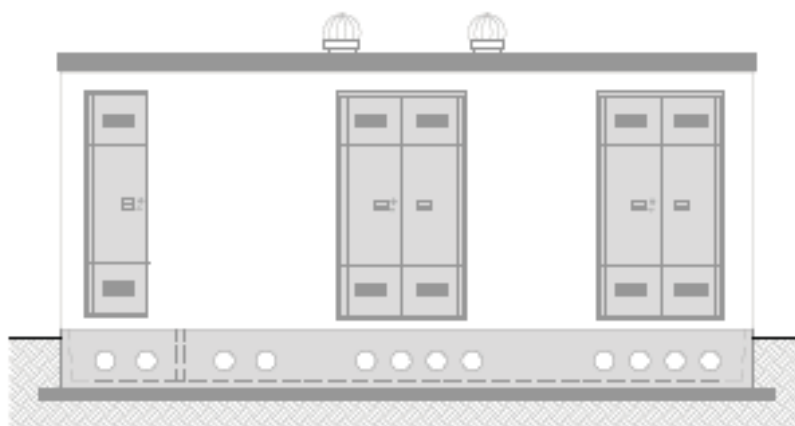
Lunghezza: 6,7 m

Altezza: 2,76 m

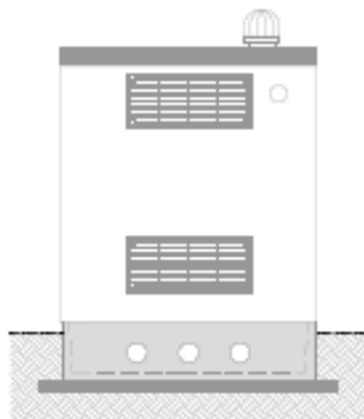
Superficie complessiva: 16,61 m<sup>2</sup>



*Pianta della cabina*



*Prospetto longitudinale*



*Prospetto trasversale*

### 6.1.2 Cabine di Trasformazione P67 (a)

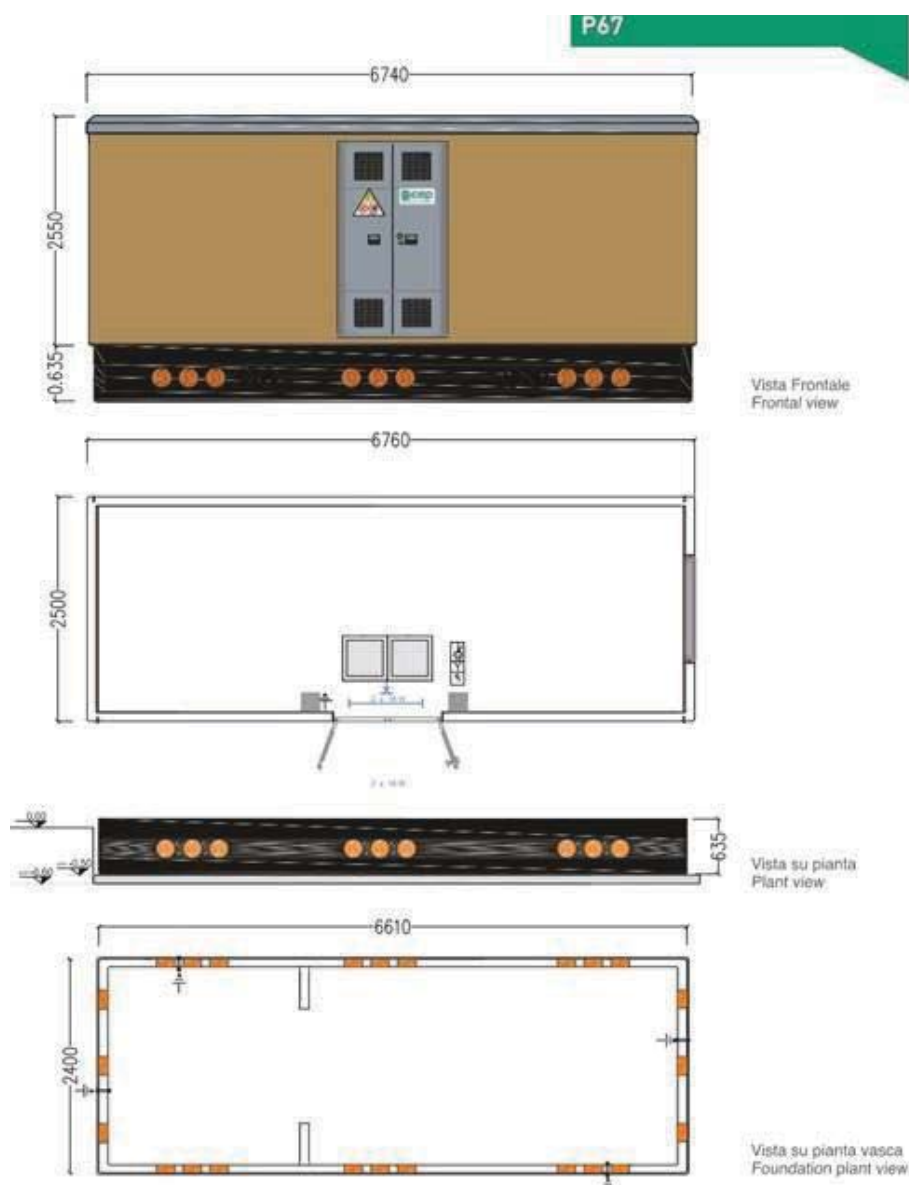
La **Cabina di Trasformazione** alloggerà N.1 trasformatore BT/MT da 2000 kVA e avrà le seguenti dimensioni:

Larghezza: 2,48 m

Lunghezza: 6,76 m

Altezza: 3,00 m

Superficie complessiva: 16,76 m<sup>2</sup>



## 6.2 Container (b)

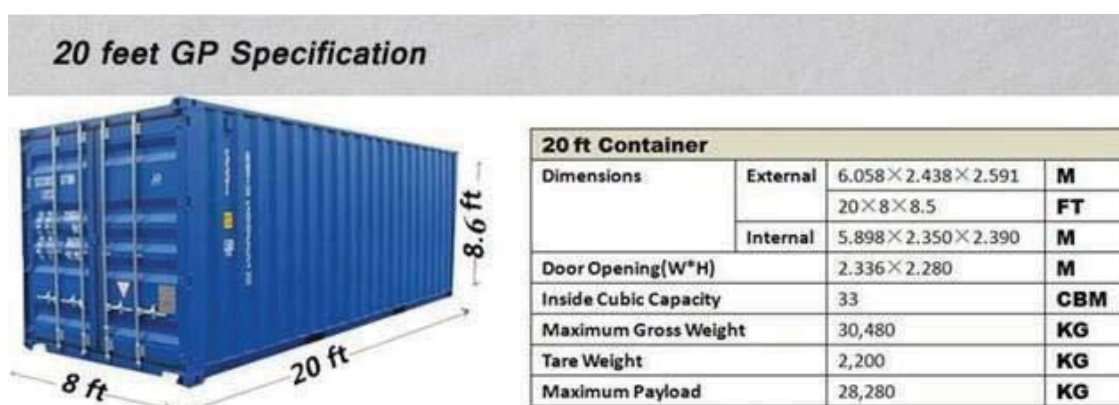
I Container all'interno dell'impianto saranno **Container 20' BOX** adibiti a Locale Inverter contenente 8 inverter SUNGROW SG250HX e avranno le seguenti dimensioni:

Larghezza: 3,00 m

Lunghezza: 6,00 m

Altezza: 3,00 m

Superficie complessiva: 18,00 m<sup>2</sup>



## 6.3 Locale Tecnico (c)

L'edificio prefabbricato per l'alloggio del locale tecnico avrà le seguenti dimensioni:

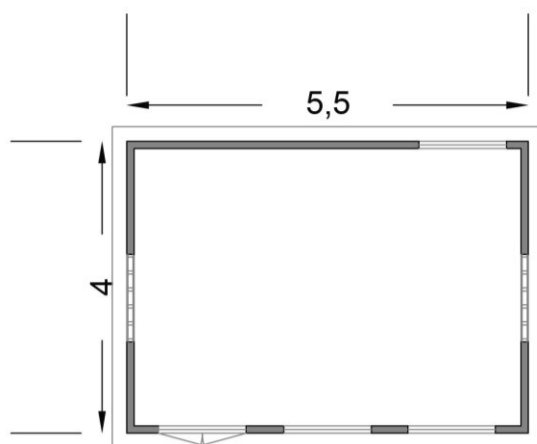
Larghezza: 4,00m

Lunghezza: 5,50 m

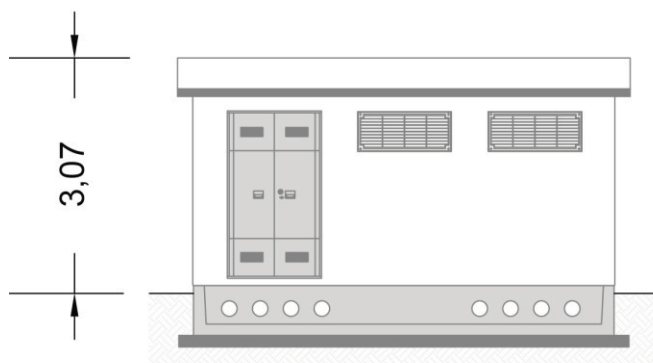
Altezza: 3,07 m

Superficie complessiva: 22,00 m<sup>2</sup>

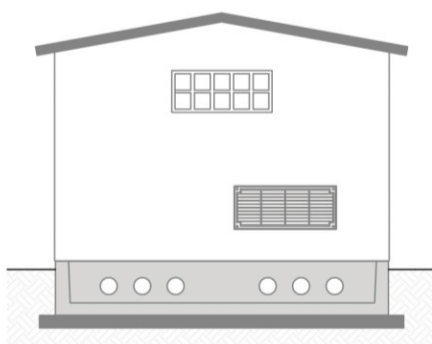




*Pianta della cabina*



*Prospetto longitudinale*



*Prospetto trasversale*

#### 6.4 Cabina MT (e)

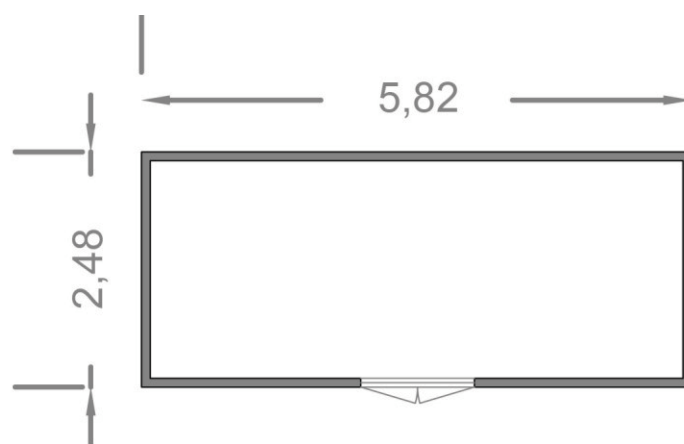
L'edificio prefabbricato per alloggiamento del quadro di media tensione generale avrà le seguenti dimensioni:

Larghezza: 2,48 m;

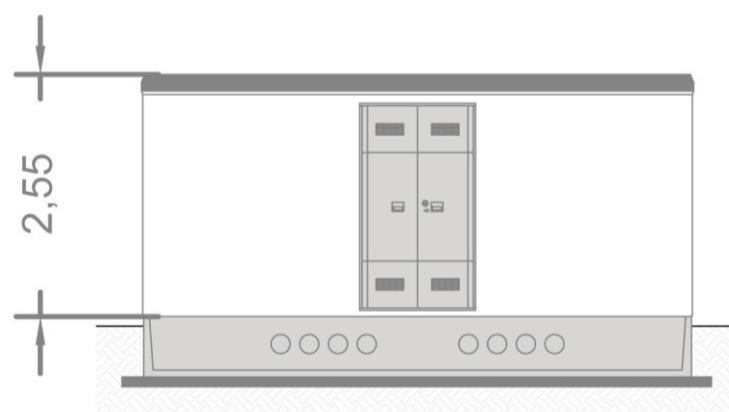
Lunghezza: 5,82 m

Altezza: 2,55 m

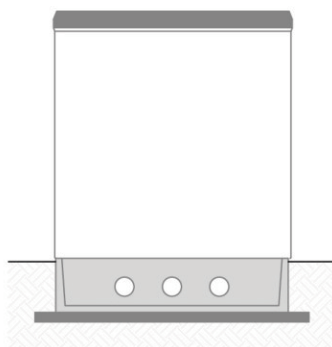
Superficie complessiva: 14,43 m<sup>2</sup>



*Pianta della cabina*



*Prospetto longitudinale*



*Prospetto trasversale*

## 7. AZIONI SULLE STRUTTURE IN C.A E PARAMETRI SIMICI DI CALCOLO

### 7.1 Regolarità delle strutture e fattore di struttura

Il fattore di struttura da adottare per il calcolo è quello associato alle strutture intelaiate in acciaio ( $q = 1,5$ ), mentre per le verifiche geotecniche delle opere di fondazioni si fa riferimento a strutture non dissipative, come previsto dalle NTC18. Trattandosi quindi di fondazioni superficiali, progettate in campo elastico, il fattore di struttura  $q$  sarà automaticamente determinato e pari a 1. Le fondazioni, dovendo essere progettate per rimanere in campo elastico, non necessiteranno quindi di specifiche armature per ottenere un comportamento duttile.

Tutte le strutture sono considerate regolari così come previsto dalle regole delle NTC18.

### 7.2 Combinazioni delle azioni sulla costruzione

Le azioni definite come al paragrafo 2.5.1 delle NTC 2018, dovranno essere combinate in accordo a quanto definito al paragrafo 2.5.3 delle stesse NTC, applicando i seguenti coefficienti di combinazione:

| Categoria/Azione variabile                                                | $\gamma_{0j}$ | $\gamma_{1j}$ | $\gamma_{2j}$ |
|---------------------------------------------------------------------------|---------------|---------------|---------------|
| Categoria A Ambienti ad uso residenziale                                  | 0,7           | 0,5           | 0,3           |
| Categoria B Uffici                                                        | 0,7           | 0,5           | 0,3           |
| Categoria C Ambienti suscettibili di affollamento                         | 0,7           | 0,7           | 0,6           |
| Categoria D Ambienti ad uso commerciale                                   | 0,7           | 0,7           | 0,6           |
| Categoria E Biblioteche, archivi, magazzini e ambienti ad uso industriale | 1             | 0,9           | 0,8           |
| Categoria F Rimesse e parcheggi (per autoveicoli di peso $\leq 30$ kN)    | 0,7           | 0,7           | 0,6           |

|                                                                   |     |     |     |
|-------------------------------------------------------------------|-----|-----|-----|
| Categoria G Rimesse e parcheggi (per autoveicoli di peso > 30 kN) | 0,7 | 0,5 | 0,3 |
| Categoria H Coperture                                             | 0   | 0   | 0   |
| Vento                                                             | 0,6 | 0,2 | 0   |
| Neve (a quota . 1000 m s.l.m.)                                    | 0,5 | 0,2 | 0   |
| Neve (a quota > 1000 m s.l.m.)                                    | 0,7 | 0,5 | 0,2 |
| Variazioni termiche                                               | 0,6 | 0,5 | 0   |

*Tabella 1: Valori dei coefficienti di combinazione (Tabella 2.5.I del D.M. 2018)*

I valori dei coefficienti parziali di sicurezza  $\gamma_{Gi}$  e  $\gamma_{Qj}$  da utilizzare nelle calcolazioni sono definiti nelle NTC 2018 al paragrafo 2.6.1- Tab. 2.6.I.

Le prestazioni attese nei confronti delle azioni sismiche dovranno essere verificate agli stati limite, sia di esercizio che ultimi individuati riferendosi alle prestazioni della costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali e gli impianti.

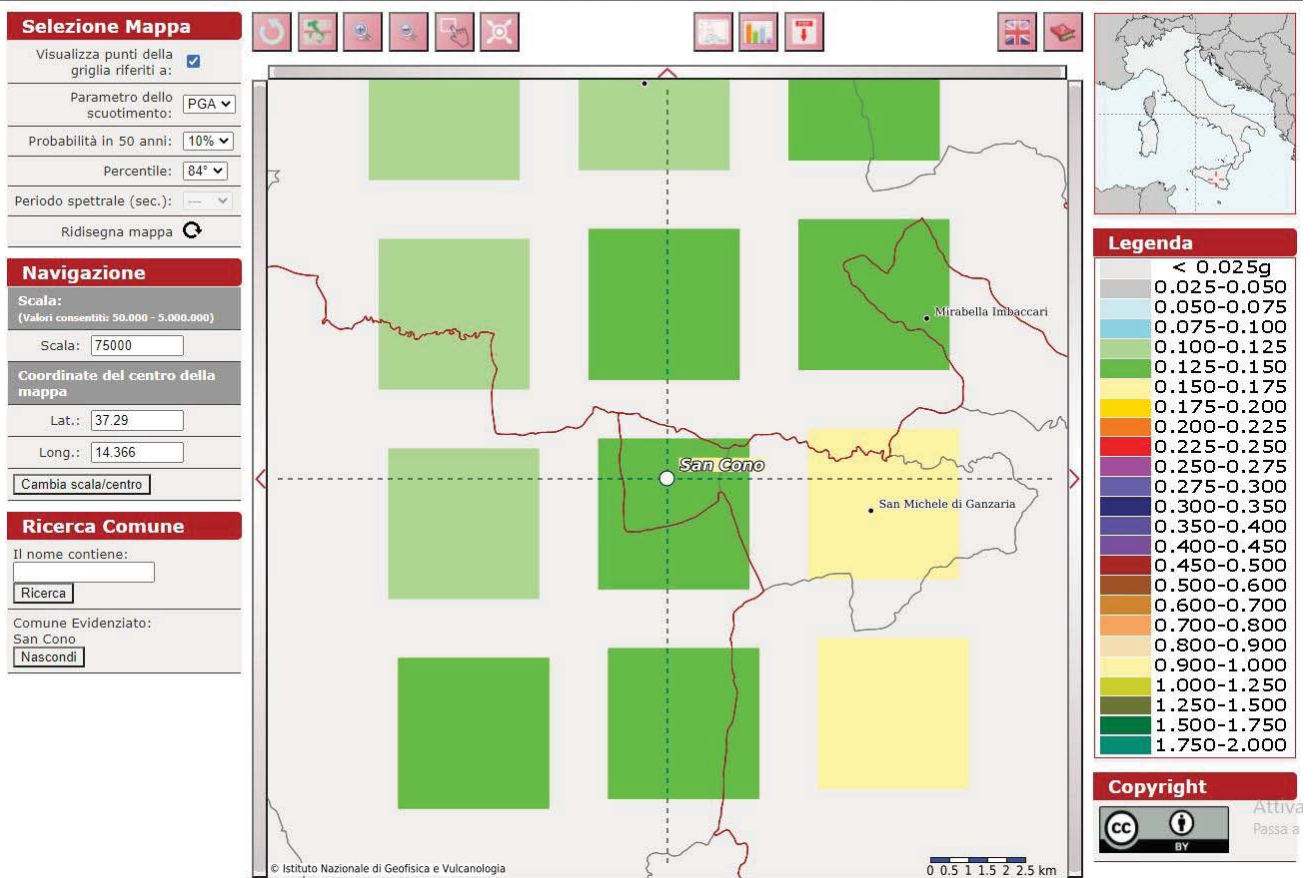
Gli stati limite di esercizio sono:

- *Stato Limite di Operatività (SLO);*
- *Stato Limite di Danno (SLD).*
- *Gli stati limite ultimi sono:*
- *Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV);*
- *Stato Limite di prevenzione del Collasso (SLC).*

Le NTC 2018 indicano che l'azione sismica sia caratterizzata da 3 componenti traslazionali, due orizzontali contrassegnate da X ed Y ed una verticale contrassegnata da Z, considerate tra di loro indipendenti, ed in funzione del tipo di analisi adottata, mediante una delle seguenti rappresentazioni:

- *accelerazione massima attesa in superficie;*
- *accelerazione massima e relativo spettro di risposta attesi in superficie;*
- *accelerogramma*

## Modello di pericolosità sismica MPS04-S1



Parametri di pericolosità sismica del sito di intervento

L'azione in superficie dovrà essere assunta come agente su tali piani. Le due componenti ortogonali indipendenti che descrivono il moto orizzontale saranno caratterizzate dallo stesso spettro di risposta.

L'accelerazione massima e lo spettro di risposta della componente verticale attesa in superficie, in assenza di documentazione potranno essere determinati sulla base dell'accelerazione massima e dello spettro di risposta delle due componenti orizzontali.

Per la definizione delle forme spettrali (spettri elastici e spettri di progetto), in conformità ai dettami del NTC 2018 § 3.2.3. vanno definiti i seguenti termini:

- Vita Nominale;
- Classe d'Uso IV
- Categoria del suolo;
- Coefficiente Topografico;
- Latitudine e longitudine del sito oggetto di edificazione;
- Fattore di struttura  $q$ .

Tali valori sono stati utilizzati da apposita procedura informatizzata che, a partire dalle coordinate del sito oggetto di intervento (sistema di coordinate UTM WGS 84 geografiche) fornisce i parametri di pericolosità

sismica da considerare ai fini del calcolo strutturale.

Le verifiche delle prestazioni saranno effettuate per le azioni derivanti dalla neve e dal vento secondo quanto previsto al cap. 3 del DM 17.01.18 e della Circolare del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti del 21 gennaio 2019 n. 7 per un periodo di ritorno coerente alla classe della struttura ed alla sua vita utile .

### 7.3 Destinazione d'uso e sovraccarichi variabili dovuto alle azioni antropiche

Per la determinazione dell'entità e della distribuzione spaziale e temporale dei sovraccarichi variabili si dovrà fare riferimento alla tabella del D.M. 14.01.2018 in funzione della destinazione d'uso.

I carichi variabili comprendono i carichi legati alla destinazione d'uso dell'opera; i modelli di tali azioni possono essere costituiti da:

- carichi verticali uniformemente distribuiti  $q_k$  [kN/m<sup>2</sup>]
- carichi verticali concentrati  $Q_k$  [kN]
- carichi orizzontali lineari  $H_k$  [kN/m]

Tabella 2: Valori dei carichi di esercizio per le diverse categorie di edifici (Tabella 3.1.II del D.M. 2008)

| Cat.                                                                                                                                                 | Ambienti                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | $q_k$<br>[kN/m <sup>2</sup> ] | $Q_k$<br>[kN]        | $H_k$<br>[kN/m]                                |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|----------------------|------------------------------------------------|
| A                                                                                                                                                    | Ambienti ad uso residenziale.<br>Sono compresi in questa categoria i locali di abitazione e relativi servizi, gli alberghi. (ad esclusione delle aree suscettibili di affollamento)                                                                                                                                                                                                                                                                                               | 2,00                          | 2,00                 | 1,00                                           |
| B                                                                                                                                                    | Uffici.<br>Cat. B1 Uffici non aperti al pubblico<br>Cat. B2 Uffici aperti al pubblico                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 2,00<br>3,00                  | 2,00<br>2,00         | 1,00<br>1,00                                   |
| C                                                                                                                                                    | Ambienti suscettibili di affollamento<br>Cat. C1 Ospedali, ristoranti, caffè, banche, scuole<br>Cat. C2 Balconi, ballatoi e scale comuni, sale convegni, cinema, teatri, chiese, tribune con posti fissi<br>Cat. C3 Ambienti privi di ostacoli per il libero movimento delle persone, quali musei, sale per esposizioni, stazioni ferroviarie, sale da ballo, palestre, tribune libere, edifici per eventi pubblici, sale da concerto, palazzetti per lo sport e relative tribune | 3,00<br>4,00<br>5,00          | 2,00<br>4,00<br>5,00 | 1,00<br>2,00<br>3,00                           |
| D                                                                                                                                                    | Ambienti ad uso commerciale.<br>Cat. D1 Negozi<br>Cat. D2 Centri commerciali, mercati, grandi magazzini, librerie...                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | 4,00<br>5,00                  | 4,00<br>5,00         | 2,00<br>2,00                                   |
| E                                                                                                                                                    | Biblioteche, archivi, magazzini e ambienti ad uso industriale.<br>Cat. E1 Biblioteche, archivi, magazzini, depositi, laboratori manifatturieri<br>Cat. E2 Ambienti ad uso industriale, da valutarsi caso per caso                                                                                                                                                                                                                                                                 | $\geq 6,00$<br>—              | 6,00<br>—            | 1,00*<br>—                                     |
| F-G                                                                                                                                                  | Rimesse e parcheggi.<br>Cat. F Rimesse e parcheggi per il transito di automezzi di peso a pieno carico fino a 30 kN<br>Cat. G Rimesse e parcheggi per transito di automezzi di peso a pieno carico superiore a 30 kN: da valutarsi caso per caso                                                                                                                                                                                                                                  | 2,50<br>—                     | 2 x 10,00<br>—       | 1,00**<br>—                                    |
| H                                                                                                                                                    | Coperture e sottotetti<br>Cat. H1 Coperture e sottotetti accessibili per sola manutenzione<br>Cat. H2 Coperture praticabili<br>Cat. H3 Coperture speciali (impianti, eliporti, altri) da valutarsi caso per caso                                                                                                                                                                                                                                                                  | 0,50<br>—<br>—                | 1,20<br>—<br>—       | 1,00<br>secondo categoria di appartenenza<br>— |
| * 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 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                               |                      |                                                |

I valori nominali e/o caratteristici  $q_k$ ,  $Q_k$  ed  $H_k$  di riferimento sono riportati nella Tab. 3.1.II. delle NTC 2018. In presenza di carichi verticali concentrati  $Q_k$  essi sono stati applicati su impronte di carico appropriate all'utilizzo ed alla forma dell'orizzontamento, in generale con forma dell'impronta di carico quadrata pari a 50 x 50 mm.

#### 7.4 Modello Di Calcolo

I modelli di calcolo da utilizzare saranno quelli esplicitamente richiamati nel D.M. 17.01.2018 ed in particolare:

- *analisi elastica lineare per il calcolo delle sollecitazioni derivanti da carichi statici;*
- *analisi dinamica modale con spettri di progetto per il calcolo delle sollecitazioni di progetto dovute all'azione sismica;*
- *analisi degli effetti del 2° ordine quando significativi;*
- *verifiche sezionali agli s.l.u. per le sezioni in c.a. utilizzando il legame parabola rettangolo per il calcestruzzo ed il legame elastoplastico incrudente a duttilità limitata per l'acciaio.*

Per quanto riguarda le azioni sismiche ed in particolare per la determinazione del fattore di struttura, dei dettagli costruttivi e le prestazioni sia agli SLU che allo SLD si farà riferimento al D.M. 17.01.18 e alla circolare del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti del 21 gennaio 2019, n. 7 che è stata utilizzata come norma di dettaglio.

#### 7.5 Durabilità

Per garantire la durabilità delle strutture saranno prese in considerazione opportuni stati limite di esercizio (SLE) in funzione dell'uso e dell'ambiente in cui le strutture dovranno essere utilizzate limitando sia gli stati tensionali che, nel caso delle opere in calcestruzzo, l'ampiezza delle fessure.

Inoltre per garantire la durabilità, così come tutte le prestazioni attese, sarà posta adeguata cura nelle previsioni sia nell'esecuzione che nella manutenzione e gestione della struttura prevedendo tutti gli accorgimenti utili alla conservazione delle caratteristiche fisiche e dinamiche dei materiali e delle strutture. La qualità dei materiali e le dimensioni degli elementi sono stati previsti in coerenza con tali obiettivi.

#### 7.6 Misura Della Sicurezza

Il metodo di verifica della sicurezza adottato sarà quello degli Stati Limite (SL) prevedendo due insiemi di verifiche rispettivamente per gli stati limite ultimi SLU e gli stati limite di esercizio SLE.



La sicurezza sarà quindi garantita progettando i vari elementi resistenti in modo da assicurare che la loro resistenza di calcolo sia sempre maggiore della corrispondente domanda in termini di azioni di calcolo.

## 7.7 Schematizzazione Della Struttura

La struttura sarà modellata con il metodo degli elementi finiti utilizzando vari elementi di libreria specializzati per schematizzare i vari elementi strutturali.

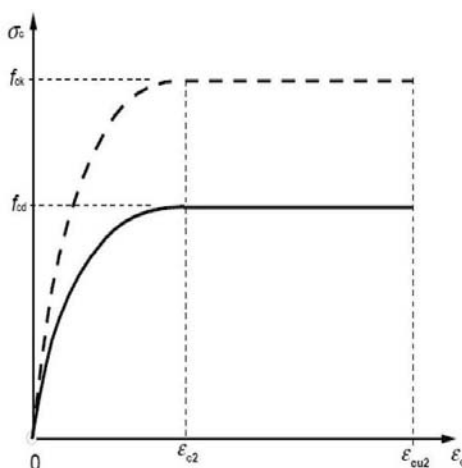
Nel modello si terranno in conto i disassamenti tra i vari elementi strutturali schematizzandoli come vincoli cinematici rigidi.

Le sollecitazioni derivanti dalle azioni sismiche saranno ottenute sia con da analisi statiche equivalenti che con da analisi dinamiche modali.

I vincoli tra i vari elementi strutturali e con il terreno saranno modellati in maniera congruente al reale comportamento strutturale.

Il modello di calcolo terrà conto dell'interazione suolo-struttura schematizzando le fondazioni superficiali (con elementi plinto, trave o piastra) su suolo elastico alla Winkler.

Per le verifiche sezionali saranno utilizzati i seguenti legami:



*Legame costitutivo di progetto del calcestruzzo*

Il valore  $\epsilon_{cu2}$  nel caso di analisi non lineari è stato valutato in funzione dell'effettivo grado di confinamento esercitato dalle staffe sul nucleo di calcestruzzo.





## 7.8 Combinazione Di Calcolo

In particolare, ai fini delle verifiche degli stati limite, sono state definite le seguenti combinazioni delle azioni (Cfr. al § 2.5.3 NTC 2018):

- Nelle combinazioni per SLE, saranno omessi i carichi  $Q_{kj}$  dal momento che hanno un contributo favorevole

ai fini delle verifiche e, se del caso, i carichi G2.

Altre combinazioni saranno considerate in funzione di specifici aspetti (p. es. fatica, ecc.), ove nelle formule il simbolo “+” è da intendersi “combinato con”.

I valori dei coefficienti parziali di sicurezza  $\gamma_{Gi}$  e  $\gamma_{Qj}$  sono stati desunti dalle norme (Cfr. § 2.6.1, Tab. 2.6.I).

#### Per le combinazioni sismiche:

Nel caso delle costruzioni civili e industriali le verifiche agli stati limite ultimi o di esercizio devono essere effettuate per la combinazione dell'azione sismica con le altre azioni (Cfr. § 2.5.3 form. 3.2.16 delle NTC 2018)

Gli effetti dell'azione sismica saranno valutati tenendo conto delle masse associate ai carichi gravitazionali (form. 3.2.17).

I valori dei coefficienti  $\gamma_2$  j saranno desunti dalle norme (Cfr. Tabella 2.5.I) La struttura sarà progettata così che il degrado nel corso della sua vita nominale, con manutenzione ordinaria, non pregiudichi le sue prestazioni in termini di resistenza, stabilità e funzionalità, portandole al di sotto del livello richiesto dalle presenti norme.

Le misure di protezione contro l'eccessivo degrado sono stabilite con riferimento alle previste condizioni ambientali.

La protezione contro l'eccessivo degrado si otterrà con un'opportuna scelta dei dettagli, dei materiali e delle dimensioni strutturali, con l'utilizzo, ove necessario, dell'applicazione di sostanze o ricoprimenti protettivi, nonché con l'adozione di altre misure di protezione attiva o passiva.

### **7.9 Azioni Agenti Sulle Fondazioni**

Per la valutazione preliminare delle azioni di progetto (Ed) in fondazione si sono utilizzate due combinazioni delle azioni:

#### Per quanto riguarda le azioni verticali:

- *SLU (combinazione fondamentale):*
- $Ed = \gamma_{G1} * G1$
- *SLU + SISMA (combinazione sismica) SLV:*
- $Ed = E + G1 = G1 * kv + G1$

#### Per quanto riguarda le azioni orizzontali:

- *combinazione sismica SLV (taglio sismico)*
- $Ed = G1 * khi$

In cui:

- *Ed azione di progetto*
- *G1 peso proprio degli elementi strutturali*
- *yG1 coefficiente parziale di sicurezza (A1, A2 - punto 2.6.1 delle NTC 2018 etab.2.6.1)*
- *E azione sismica*
- *Kv ordinata dello spettro di progetto delle componenti verticali in corrispondenza del periodo fondamentale T1*
- *Khi ordinata dello spettro di progetto delle componenti orizzontali in corrispondenza del periodo fondamentale T1*

Considerando solo le fondazioni principali e di dimensioni rilevanti si ottiene la tabella 6 riportante i carichi unitari sulle fondazioni.

Per le combinazioni delle azioni Ed di cui sopra si è utilizzato l'Approccio normativo 2 (punto 2.6.1 delle NTC 2008):

$$(A1+M1+R3) - (STR + GEO)$$

Con:

- *A = Azioni yF (oppure yE oppure yG)*
- *M = resistenza dei materiali (terreno) yM*
- *R = resistenza globale del sistema yR*

Inoltre per le azioni sismiche E, dagli spettri di progetto dell'allegato 2 si sono calcolati i valori di kv e khi con le seguenti assunzioni:

- *Fattore di struttura q = 1*
- *Altezza media delle strutture = 3 m*
- *Periodo fondamentale T1=0,17s*

## 7.10 Parametri sismici

(stralcio della relazione geologico-tecnica del Dott. Geol. Ignazio Giuffrè, Termini Imerese (PA) - Marzo 2021)

L' Ordinanza n. 3274/2005 del Presidente del Consiglio dei Ministri ripresa e completata con la OPCM n. 3519/2006, integrata con le NTC 2008 e le NTC 2018 ha introdotto la nuova normativa tecnica in materia di progettazione antisismica, che ci adegua allo standard europeo (Eurocodice 8).

Infatti nel caso in cui si ha contezza delle condizioni stratigrafiche e delle proprietà dei terreni, si può fare riferimento a un approccio semplificato che si basa sulla classificazione del sottosuolo in funzione dei valori

della velocità di propagazione delle onde di taglio,  $V_S$ , ottenuti mediante specifiche prove.

La classificazione del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità

$$V_{S,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{S,i}}}$$

equivalente di propagazione delle onde di taglio,  $V_{S,eq}$  (in m/s), definita dall'espressione:

con:

- $h_i$  spessore dell'  $i$  – esimo strato;
- $V_{S,i}$  velocità delle onde di taglio nell'  $i$ -esimo strato;
- $N$  numero di strati;
- $H$  profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da  $V_S$  non inferiore a 800 m/s.

Per le fondazioni superficiali, la profondità del substrato è riferita al piano di imposta delle stesse, mentre per le fondazioni su pali è riferita alla testa dei pali. Nel caso di opere di sostegno di terreni naturali, la profondità è riferita alla testa dell'opera.

Per muri di sostegno di terrapieni, la profondità è riferita al piano di imposta della fondazione.

Per depositi con profondità  $H$  del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio  $V_{s,eq}$  è definita dal parametro  $V_{s,30}$ , ottenuto ponendo  $H = 30$  m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

Le categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato sono di seguito rappresentate:

| Tabella 3.2.II – Categorie di sottosuolo |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Categoria                                | Descrizione                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| A                                        | Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m.                                                                                                                                                                                     |
| B                                        | Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $N_{SPT,30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina).      |
| C                                        | Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < N_{SPT,30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < c_{u,30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina). |
| D                                        | Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 180 m/s (ovvero $N_{SPT,30} < 15$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} < 70$ kPa nei terreni a grana fina).                 |
| E                                        | Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m, posti sul substrato di riferimento (con $V_s > 800$ m/s).                                                                                                                                                                                                                                                                       |

Fig. 4: Classificazione sismica terreno

Per qualsiasi condizione di sottosuolo non classificabile nelle categorie precedenti, è necessario predisporre specifiche analisi di risposta locale per la definizione delle azioni sismiche.

## 8. ANALISI DEI CARICHI STRUTTURE - TRACKER

Un'accurata valutazione dei carichi è un requisito imprescindibile di una corretta progettazione, in particolare per le costruzioni realizzate in zona sismica.

Essa, infatti, è fondamentale ai fini della determinazione delle forze sismiche, in quanto incide sulla valutazione delle masse e dei periodi propri della struttura dai quali dipendono i valori delle accelerazioni (ordinate degli spettri di progetto).

La valutazione dei carichi e dei sovraccarichi è stata effettuata in accordo con le disposizioni del Decreto Ministero Infrastrutture Trasporti 17 gennaio 2018 ("Norme tecniche per le Costruzioni").

La valutazione dei carichi permanenti è effettuata sulle dimensioni definitive.

## 8.1 Analisi dei carichi

I carichi vengono suddivisi secondo la nuova classificazione fornita dal D.M.17/01/2018 in :

- a) permanenti G;
- b) variabili Q;
- e) sismici E.

### 8.2.1 Carichi permanenti G

Nel modello di calcolo i carichi sono generati in automatico tramite le caratteristiche geometriche degli elementi e la definizione del materiale acciaio. I carichi permanenti portati dipendono, invece, dalle dimensioni del pannello fotovoltaico e dal peso del meccanismo di rotazione del tracker.

### 8.2.2 Calcolo delle azione del vento

Nella Circolare del C.S.LL.PP. n.7 del 21.01.2019, la stima dei coefficienti aerodinamici  $c_p$ , contiene sostanziali differenze rispetto alla Circolare n.617 del 2009.

Nel documento, infatti, sono presenti diverse metodologie per ricavare i  $c_p$  e differenziandoli per varie tipologie edilizie. Tra queste tipologie è stata scelto di assimilare il tracker ad una tettoia (C3.3.8.2) non essendo presenti in normativa riferimenti a queste particolari tipologie di strutture e data la reale somiglianza costruttiva.

In particolare i coefficienti aerodinamici sono definiti in funzione della direzione del vento (ortogonale o parallela) e delle dimensioni dell'elemento. Inoltre, la trattazione è differenziata per coperture piane , a falda singola o doppia, ecc..

Al paragrafo C3.3.8.2, vengono forniti i criteri per valutare le azioni globali del vento sulle coperture in cui lo spazio sottostante non sia delimitato in maniera permanente da pareti. In tale paragrafo l'azione del vento sulle tettoie è schematizzata attraverso forze  $F$  risultanti dal campo di pressioni sulla superficie della falda della tettoia, dirette ortogonalmente ad essa. Tali forze dipendono dalla pressione cinetica, dai nuovi coefficienti di forza  $c_F$  , dalla superficie della falda e dalla sua altezza, e sono applicate in punti diversi a seconda della tipologia di tettoia.

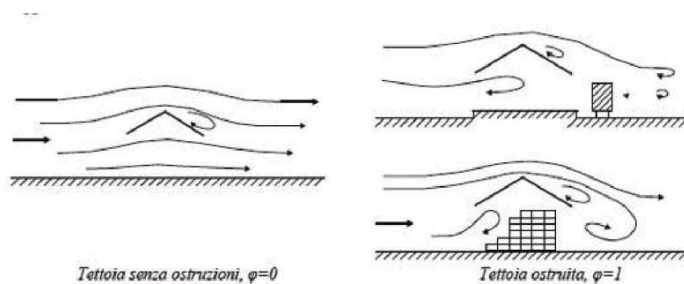
Nella Circolare viene introdotto il coefficiente di bloccaggio  $\Phi$  definito come il rapporto tra l'area esposta al vento di una eventuale ostruzione presente al di sotto della tettoia e l'area totale della superficie

ortogonale alla direzione del vento al di sotto della tettoia:

$\Phi=0$  assenza di ostruzioni al di sotto della tettoia (tettoia libera)

$\Phi=1$  lo spazio al di sotto della tettoia è completamente ostruito

Differenze di flusso d'aria per tettoie con  $\Phi=0$  e  $\Phi=1$ :



E' importante osservare che le azioni aerodinamiche esercitate del vento sulle tettoie dipendono fortemente dal grado di bloccaggio in quanto la presenza di un'ostruzione, anche soltanto sul lato sottovento, impedisce il passaggio dell'aria al di sotto della tettoia

La Tabella C3.3.XV e la relativa Figura C.3.3.21 riportano i valori dei coefficienti di forza per le tettoie a

semplice falda con vento agente perpendicolarmente alla linea di colmo. I valori dei coefficienti di forza sono espressi in funzione del grado di bloccaggio  $\Phi$  e dell'inclinazione della falda. Per valori intermedi di  $\Phi$  è ammessa una interpolazione lineare tra i valori relativi ai casi di  $\Phi=0$  e  $\Phi=1$ .

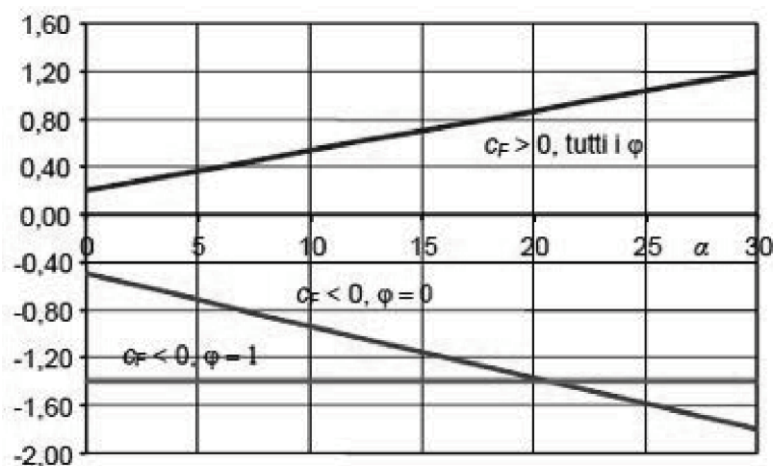


Figura C3.3.21 - Coefficienti di pressione complessiva per tettoie a semplice falda

Tabella C3.3.XV - Coefficienti di forza per tettoie a semplice falda

|                 |                             |                                    |
|-----------------|-----------------------------|------------------------------------|
| Valori positivi | Tutti i valori di $\varphi$ | $c_F = +0,2 + \alpha/30$           |
| Valori negativi | $\varphi = 0$               | $c_F = -0,5 - 1,3 \cdot \alpha/30$ |
|                 | $\varphi = 1$               | $c_F = -1,4$                       |

La forza F è data dalla formula:

$$F = q_p \cdot L_2 \cdot c_F$$

$q_p$  = pressione cinetica di picco

$L_2$  = superficie della tettoia a cui è applicata la forza

$c_F$  = coefficiente di forza

Per il calcolo della tettoia la Circolare raccomanda che si considerino le condizioni di carico più gravose tra quelle riportate in figura:



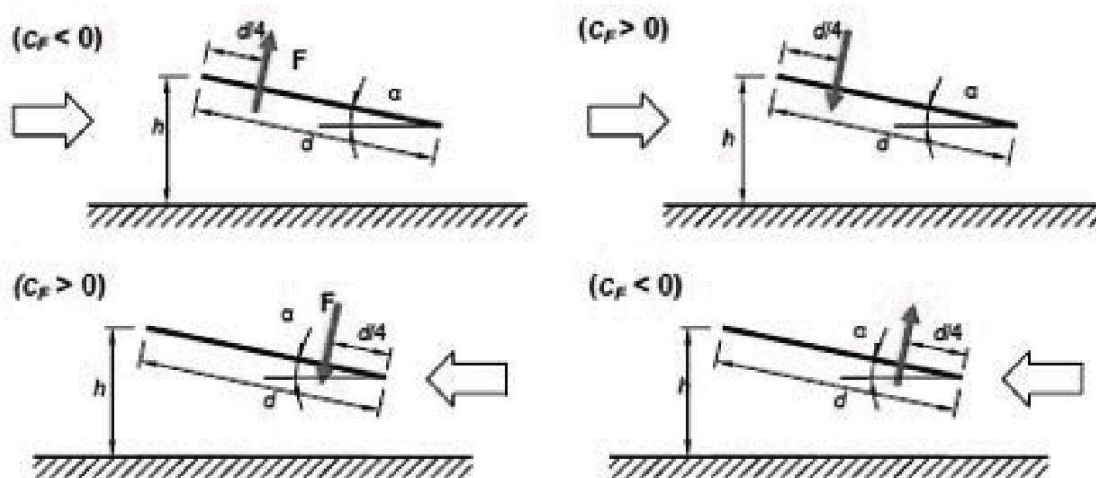


Figura C3.3.22 - Tettoie a semplice falda: posizione del punto di applicazione della forza risultante in

funzione della direzione di provenienza del vento e della direzione della forza

La pressione cinetica di picco  $q_p$  viene calcolata con la

seguente formula:  $q_p = q_b * c_e$

$q_b$  = pressione cinetica

di riferimento  $c_e$  =

coefficiente di

esposizione

la pressione cinetica di riferimento  $q_b$  è pari a:

$$q_b = \frac{1}{2} \rho v_b^2$$

$V_b$  = Velocità di riferimento del vento (in m/s)

$\rho$  = densità dell'aria assunta convenzionalmente costante pari a 1,25 Kg/m<sup>3</sup>

La verifica è stata effettuata considerando due modelli di calcolo, ovvero un tracker nella sua configurazione orizzontale  $\alpha = 0,0^\circ$  e uno nella configurazione di inclinazione massima  $\alpha = \pm 55^\circ$ .

Nelle due configurazioni del tracker in esercizio, ovvero orizzontale e a  $55^\circ$ , la velocità verrà considerata in modo differente in quanto l'impianto è dotato di un anemometro che posiziona i pannelli ad  $\alpha = 0,0^\circ$  una volta rilevata una velocità pari a 50 km/h = 13,89 m/s. Il calcolo verrà

dunque effettuato con la massima velocità di progetto soltanto per la configurazione dei pannelli in orizzontale.

Zona vento = 4

Velocità base della zona,  $V_{b.o} = 28 \text{ m/s}$

(Tab. 3.3.I) Altitudine base della zona,

$A_o = 500 \text{ m}$  (Tab. 3.3.I)

Altitudine del

sito,  $A_s = 600 \text{ m}$

$K_a = 0,360$  (Tab.

3.3.I)

Velocità di riferimento,  $V_b = V_{b.o} (1 + K_a (A_s/A_o - 1))$

$= 30,02 \text{ m/s}$  Periodo di ritorno,  $T_r = 50 \text{ anni}$

$C_r = 1$  per  $T_r = 50 \text{ anni}$

Velocità riferita al periodo di ritorno di progetto,  $V_r = V_b C_r = 30,02 \text{ m/s}$

Classe di rugosità del terreno: D

[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,...)]

Esposizione: Cat. II - Entroterra fino a 750 m

di altitudine (  $K_r = 0,20$ ;  $Z_o = 0,10 \text{ m}$ ;  $Z_{min}$

$= 5 \text{ m}$  )

Coefficiente di esposizione,  $C_e = 1,71$

Infine dunque le due velocità

considerate saranno:  $V_b = 14 \text{ m/s}$  per

$\alpha = \pm 55^\circ$

$V_b = 27 \text{ m/s}$  per  $\alpha = 0,0^\circ$

per la configurazione a)  $\pm 55^\circ$  e  $V_b =$

$$14 \text{ m/s si ha: } q_b = \frac{1}{2} * 1.25 * (14 \text{ m/s})^2$$

$$= 12,2 \text{ daN/m}^2$$

$$q_p = 12,2 \text{ daN/m}^2 * 1,71$$

$$= 21 \text{ daN/m}^2 \text{ le forze}$$

concentrate F saranno

pari a:

$$F1(c_f < 0, \Phi=0) = 21 \text{ daN/m}^2 * 131 \text{ m}^2 * (-2,88)$$

$$= 7923 \text{ daN con } c_f = -0,5 - 1,3 * 55/30 = -$$

$$2,88$$

e

$$F2(c_f > 0, \text{ tutti i } \Phi) = 21 \text{ daN/m}^2 * 131 \text{ m}^2 * (2,03) =$$

$$5584,5 \text{ daN con } c_f = +0,2 + 55/30 = 2,03$$

dividendo le due forze F1 ed F2 per il numero delle aste del modello otteniamo le forze f1 ed f2

applicate direttamente sulle aste:

$$f1 = 7923 \text{ daN} / 28 = 283 \text{ daN}$$

$$f2 = 5584,5 \text{ daN} / 28 = 199,5 \text{ daN}$$

per la configurazione b) 0° e Vb =

$$30,02 \text{ m/s si ha: } q_b = \frac{1}{2} * 1.25$$

$$* (30,02 \text{ m/s})^2 = 56 \text{ daN/m}^2$$

$$q_p = 56 \text{ daN/m}^2 * 1,71 =$$

$$96 \text{ daN/m}^2 \text{ le forze}$$

concentrate F saranno

pari a:

$$F1(c_f < 0, \Phi=0) = 96 \text{ daN/m}^2 * 131 \text{ m}^2 * (-0,5) = 6288 \text{ daN}$$

$$\text{con } c_f = -0,5$$

$$F2(c_f > 0, \text{ tutti i } \Phi) = 96 \text{ daN/m}^2 * 131 \text{ m}^2 * (+0,2)$$

$$= 2515,2 \text{ daN con } c_f = +0,2$$

dividendo le due forze F1 ed F2 per il numero delle aste del modello otteniamo le forze f1 ed f2

applicate direttamente sulle aste:

$$f1 = 6288 \text{ daN} / 28 = 224,6 \text{ daN}$$

$$f2 = 2515,2 \text{ daN} / 28 = 89 \text{ daN}$$

### 8.2.3 Calcolo delle azioni da neve

Il carico statico viene determinato in base alla seguente espressione:

$$q_s = \mu_i^\circ \cdot q_{sk}^\circ \cdot C_e^\circ \cdot C_t$$

dove:

$\mu_i$  e' il coefficiente di forma sulla copertura;

$q_{sk}$  e' il valore caratteristico di riferimento del carico neve al suolo [kN/m<sup>2</sup>], per un periodo di ritorno  $T_r$  di 50 anni;

$C_e$  e' il coefficiente di esposizione;  $C_t$  e' il coefficiente termico.

#### **Carico da neve per la configurazione $\alpha = 55,0^\circ$**

Zona Neve = III

Periodo di ritorno,

$T_r = 50$  anni  $C_{tr} = 1$

per  $T_r = 50$  anni

$C_e$  (coeff. di esposizione al vento) = 0,90

Valore caratteristico del carico al suolo =  $q_{sk} C_e C_{tr} =$

117 daN/mq Copertura ad una falda:

Angolo di inclinazione della

falda  $\alpha = 55,0^\circ$   $m_1 = 0,13 \Rightarrow$

$Q_1 = 16$  daN/mq

#### **Carico da neve per la configurazione $\alpha = 0^\circ$**

Zona Neve = III

Periodo di ritorno,

$T_r = 50$  anni  $C_{tr} = 1$

per  $T_r = 50$  anni

$C_e$  (coeff. di esposizione al vento) = 0,90

Valore caratteristico del carico al suolo =  $q_{sk} C_e C_{tr} = 117 \text{ daN/mq}$

Copertura ad una falda:

Angolo di inclinazione della

falda  $\alpha = 0,0^\circ$   $m_1 = 0,80 \Rightarrow$

$Q_1 = 94 \text{ daN/mq}$

### 8.3 Valutazione dell'azione sismica

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.

Allo stato attuale, la pericolosità sismica su reticolo di riferimento nell'intervallo di riferimento è fornita dai dati pubblicati sul sito <http://esse1.mi.ingv.it/>. Per punti non coincidenti con il reticolo di riferimento e periodi di ritorno non contemplati direttamente si opera come indicato nell'allegato alle NTC (rispettivamente media pesata e interpolazione).

L'azione sismica viene definita in relazione ad 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):

**Categoria**

**sottosuolo**

**: C Classe**

**d'uso IV**

## Parametri e punti dello spettro di risposta orizzontale per lo stato SLV

### Parametri indipendenti

| STATO LIMITE | SLV     |
|--------------|---------|
| $a_g$        | 0,165 g |
| $F_o$        | 2,385   |
| $T_c$        | 0,517 s |
| $S_s$        | 1,464   |
| $C_c$        | 1,306   |
| $S_T$        | 1,000   |
| $q$          | 2,400   |

### Parametri dipendenti

|        |         |
|--------|---------|
| $S$    | 1,464   |
| $\eta$ | 0,417   |
| $T_B$  | 0,225 s |
| $T_C$  | 0,675 s |
| $T_D$  | 2,258 s |

### Espressioni dei parametri dipendenti

$$S = S_s \cdot S_T \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.5})$$

$$\eta = \sqrt{10/(5 + \xi)} \geq 0,55; \quad \eta = 1/q \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.6; §. 3.2.3.5})$$

$$T_B = T_c / 3 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.8})$$

$$T_c = C_c \cdot T_c \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.7})$$

$$T_D = 4,0 \cdot a_g / g + 1,6 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.9})$$

### Espressioni dello spettro di risposta (NTC-08 Eq. 3.2.4)

$$0 \leq T < T_B \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left[ \frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_o} \left( 1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$$

$$T_B \leq T < T_C \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o$$

$$T_C \leq T < T_D \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left( \frac{T_C}{T} \right)$$

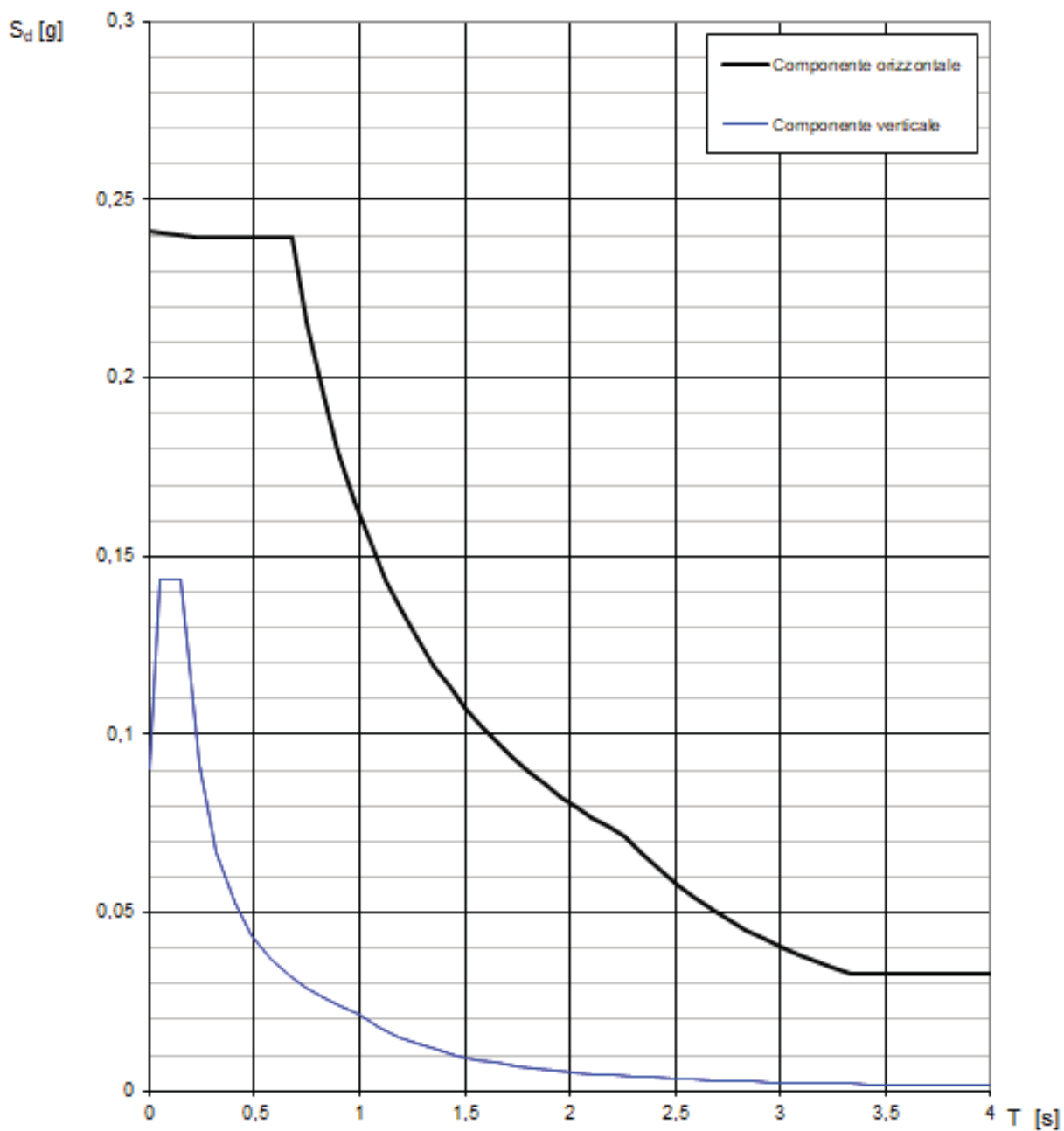
$$T_D \leq T \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left( \frac{T_C \cdot T_D}{T^2} \right)$$

Lo spettro di progetto  $S_d(T)$  per le verifiche agli Stati Limite Ultimi è ottenuto dalle espressioni dello spettro elastico  $S_e(T)$  sostituendo  $\eta$  con  $1/q$ , dove  $q$  è il fattore di struttura. (NTC-08 § 3.2.3.5)

### Punti dello spettro di risposta

|                  | T [s] | Se [g] |
|------------------|-------|--------|
|                  | 0,000 | 0,241  |
| $T_B \leftarrow$ | 0,225 | 0,240  |
| $T_C \leftarrow$ | 0,675 | 0,240  |
|                  | 0,750 | 0,215  |
|                  | 0,825 | 0,196  |
|                  | 0,901 | 0,179  |
|                  | 0,976 | 0,166  |
|                  | 1,052 | 0,154  |
|                  | 1,127 | 0,143  |
|                  | 1,203 | 0,134  |
|                  | 1,278 | 0,126  |
|                  | 1,353 | 0,119  |
|                  | 1,429 | 0,113  |
|                  | 1,504 | 0,107  |
|                  | 1,580 | 0,102  |
|                  | 1,655 | 0,098  |
|                  | 1,730 | 0,093  |
|                  | 1,806 | 0,089  |
|                  | 1,881 | 0,086  |
|                  | 1,957 | 0,083  |
|                  | 2,032 | 0,080  |
|                  | 2,108 | 0,077  |
|                  | 2,183 | 0,074  |
| $T_D \leftarrow$ | 2,258 | 0,072  |
|                  | 2,341 | 0,067  |
|                  | 2,424 | 0,062  |
|                  | 2,507 | 0,058  |
|                  | 2,590 | 0,054  |
|                  | 2,673 | 0,051  |
|                  | 2,756 | 0,048  |
|                  | 2,839 | 0,045  |
|                  | 2,922 | 0,043  |
|                  | 3,005 | 0,040  |
|                  | 3,088 | 0,038  |
|                  | 3,171 | 0,036  |
|                  | 3,254 | 0,034  |
|                  | 3,337 | 0,033  |
|                  | 3,419 | 0,033  |
|                  | 3,502 | 0,033  |
|                  | 3,585 | 0,033  |
|                  | 3,668 | 0,033  |
|                  | 3,751 | 0,033  |
|                  | 3,834 | 0,033  |
|                  | 3,917 | 0,033  |
|                  | 4,000 | 0,033  |

### Spettri di risposta (componenti orizz. e vert.) per lo stato li SLV



La verifica dell'idoneità del programma, l'utilizzo dei risultati da esso ottenuti sono onere e responsabilità esclusiva dell'utente. Il Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici non potrà essere ritenuto responsabile dei danni risultanti dall'utilizzo dello stesso.

## 9. CONCLUSIONI

Rinviando alla progettazione definitiva la verifica strutturale dei tracker secondo i dettami delle NTC2018 e vista la natura dell'opera, le azioni significative per il dimensionamento delle strutture di sostegno degli inseguitori solari sono rappresentate dalla distribuzione dei carichi derivanti dalle azioni del vento. Altre azioni minori e certamente non dimensionanti, sono rappresentate dal peso proprio delle strutture, dal carico da neve e dalle azioni dinamiche indotte dalle sollecitazioni sismiche.

Le sollecitazioni derivanti da dette azioni risultano secondarie all'analisi strutturale rispetto alle azioni dinamiche indotte dal vento, visto soprattutto la trascurabile massa dei moduli che ricopre un ruolo determinante nelle verifiche statiche e dinamiche da sisma.

Per ciò che riguarda le restanti componenti minori, quali container e cabine, si rimandano alla fase di progettazione definitiva le verifiche della sicurezza strutturale delle relative fondazioni su piastra in c.a. e le verifiche geotecniche dei pali infissi dei tracker.