



REGIONE PUGLIA
PROVINCIA DI FOGGIA
COMUNE DI FOGGIA



PROGETTO DELL'IMPIANTO SOLARE FOTOVOLTAICO CON INTEGRAZIONE AGRICOLA E DELLE RELATIVE OPERE DI CONNESSIONE DA REALIZZARE NEL COMUNE DI FOGGIA (FG) IN CONTRADA TORRE DI LAMA AL FG. N. 7 PP. N. 101, 239, 447, 449, 451 E FG. N. 9 PP. N. 79, 195, 196, 222, 224, 225, 226, 227, 690, 691, DI POTENZA PARI A 19.359,00 kWp DENOMINATO "TORRE DI LAMA"

PROGETTO DEFINITIVO

RELAZIONE CALCOLI PRELIMINARI STRUTTURE



livello prog.	Codice Istanza VIA/PAUR	Codice Istanza AU	N.Elaborato	DATA	SCALA
PD	c_d643-159763	4WZGYD6	A13	30.03.2021	

REVISIONI

REV.	DATA	DESCRIZIONE	ESEGUITO	VERIFICATO	APPROVATO

RICHIEDENTE

TRINA SOLAR TETI s.r.l.
Piazza Borromeo 14, 20123 Milano



ENTE

IL PROFESSIONISTA INCARICATO

Arch. Luca Antonio Tringali



Sommario

1.	PREMESSA	3
2.	AREA DI INTERVENTO E DESCRIZIONE GENERALE DELL'OPERA	3
3.	NORMATIVE DI RIFERIMENTO	5
4.	ASPETTI GEOTECNICI	5
5.	DESCRIZIONE E CARATTERISTICHE GEOMETRICHE DEL TRACKER	8
6.	VANI ACCESSORI IN C.A. PREFABBRICATI E IN ACCIAIO	11
6.1	Cabine prefabbricate CEP	12
6.1.1	Cabina di Consegna Enel	12
6.1.2	Cabine Trasformatore	14
6.2	Container	16
7	Pali di illuminazione	19
8.	CARATTERISTICHE DEI MATERIALI IMPIEGATI	24
9.	AZIONI SULLE STRUTTURE IN C.A E PARAMETRI SIMICI DI CALCOLO	24
9.1	Regolarità delle strutture e fattore di struttura	24
9.2	Combinazioni delle azioni sulla costruzione	25
9.3	Destinazione d'uso e sovraccarichi variabili dovuto alle azioni antropiche	27
9.4	Modello Di Calcolo	28
9.5	Durabilità	29
9.6	Misura Della Sicurezza	29
9.7	Schematizzazione Della Struttura	29
9.8	Combinazione Di Calcolo	31
9.9	Azioni Agenti Sulle Fondazioni	32
9.10	Parametri sismici	33
10.	ANALISI DEI CARICHI STRUTTURE - TRACKER	37
10.1	Localizzazione dell'intervento	37
10.2	Analisi dei carichi	37
10.2.1	Carichi permanenti G	37
10.2.2	Calcolo delle azione del vento	38
10.2.3	Calcolo delle azioni da neve	42
10.3	Valutazione dell'azione sismica	43

11. CONCLUSIONI.....46

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 19.359,00 kWp, attraverso tecnologia fotovoltaica, denominata "TORRE DI LAMA", che sarà realizzata nel territorio comunale di Foggia (FG) in Contrada Torre di Lama.

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 similare sempre nel rispetto di dimensioni e sistema di inseguimento solare.

Le strutture utilizzate sono quindi rappresentate 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 si trova nel territorio comunale di Foggia (FG), ubicata in Contrada Torre di Lama.

Dal punto di vista cartografico, l'area oggetto dell'indagine, si colloca sulla CTR alla scala **1:10.000**, nella Sezione: **408043**.

Il sito è identificato al catasto del comune di Foggia, sul **foglio di mappa n. 7 - particelle n. 101- 239 - 447 (in parte) – 449 (in parte) – 451 e sul foglio di mappa n.9 particelle n. 79 (in parte) – 195 (in parte)-196 (in parte) – 222 – 224 (in parte) – 225 (in parte) – 226 (in parte)-227 (in parte) -690 - 691**.

L'impianto denominato "TORRE DI LAMA" risiederà su due appezzamenti di terreno posti ad un'altitudine

media di 43.00 m s.l.m, dalla forma poligonale irregolare; dal punto di vista morfologico, i due lotti sono prevalentemente pianeggianti, il lotto 2 presenta un leggero pendio verso nord. Sulle due saranno disposte le strutture degli inseguitori solari orientate secondo l'asse Nord-Sud. Identifichiamo come lotto 1 il terreno posto ad est e di forma più regolare e come lotto 2 il terreno posto ad ovest, come indicato in figura.



Ubicazione delle aree di intervento

Il lotto 1 confina a nord con una strada pubblica, est ed ovest con altre proprietà, mentre sul versante sud il lotto confina con una strada interpoderale. Il confine sud del lotto 2 è segnato da una strada interpoderale, mentre ad est ed ovest il lotto confina con altri terreni agricoli, il confine nord è invece segnato da un canale.

I due siti risultano facilmente accessibili poiché collegati alle Strade Provinciali SP 24 e SP 26 tramite strade pubbliche vicinali e interpoderali.

Le vie di accesso non necessitano di particolari interventi di miglioria; qualora risulti necessario, il produttore si impegnerà a migliorare le condizioni della viabilità a beneficio proprio e dei residenti aventi diritto di passaggio.

L'estensione catastale complessiva del terreno su cui è installato l'impianto misura circa 23,9 ettari, mentre l'area occupata dagli inseguitori (area captante) risulta pari a circa 9,4 ettari, determinando sulla superficie

catastale complessiva assoggettata all'impianto, un'incidenza pari a circa il 39%.

Nel complesso, l'assetto morfologico dell'area circostante si presenta abbastanza omogeneo in quanto si riscontrano zone particolarmente pianeggianti.

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.

Il generatore denominato "TORRE DI LAMA" è suddiviso elettricamente in due impianti distinti denominati rispettivamente "TORRE DI LAMA 1" (il cui numero di rintracciabilità della TICA è 227816419) e "TORRE DI LAMA 2" (il cui numero di rintracciabilità della TICA è T0737329).

La potenza nominale totale del generatore fotovoltaico denominato "TORRE DI LAMA", data dalla somma delle potenze nominali dei singoli moduli fotovoltaici, è pari a 19.359,00 kWp (7.371,00 kWp per "TORRE DI LAMA 1" e 11.988,00 kWp per "TORRE DI LAMA 2"), e sulla base di tale potenza è stato dimensionato tutto il sistema.

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

(stralcio della relazione geologica/geotecnica/idrologica della Dott.ssa Giovanna Amedei, Rodi Garganico,- Novembre 2020)

L'area progettuale si colloca nel Tavoliere Pugliese che, dal punto di vista geologico-strutturale, si configura come un'estesa depressione di origine tettonica interposta tra i rilievi strutturali delle Murge e del Gargano

ed inquadrabile nel sistema di Avanfossa ("Fossa Bradanica") che delimita il margine orientale della catena appenninica.

Per le insite caratteristiche altimetrico - strutturali, quest'area è stata interessata, soprattutto nel Pliocene, da notevoli fenomeni di subsidenza e da un'intensa sedimentazione, seguita da un sollevamento generalizzato su vasta scala innescatosi a partire dal Pleistocene inferiore.

In epoca tardo-pleistocenica ed olocenica ha invece risentito soprattutto delle oscillazioni glacio-eustatiche del livello marino, che hanno dato origine ad una serie di terrazzamenti che rappresentano uno degli elementi geomorfologici caratterizzanti di tutta l'area del Tavoliere.

Nell'area in esame i terreni affioranti sono riferibili al Sistema di Amendola (MLM1): Si tratta di depositi marini sabbiosi o siltoso- sabbiosi di ambiente di spiaggia sommersa, che poggiano in trasgressione sulle argille subappennine, anche se il contatto non è osservabile in affioramento ma ricavabile nel sottosuolo tramite le stratigrafie dei sondaggi. In affioramento lo spessore massimo osservabile è di circa una decina di metri; al di sotto di uno spessore di suolo variabile da qualche decimetro fino ad un paio di metri, questi depositi sono coperti da un discontinuo spessore, da qualche decimetro fino a 3-4 metri, di "crosta" (CIARANFI, 1983). Si tratta di depositi di sabbie calcaree mal classate a granulometria da grossolana a media, a stratificazione poco evidente o massiva, di colore giallo rossastro, in genere irregolarmente cementate; a luoghi, ed in particolare nelle porzioni più superficiali dell'unità, sono presenti intercalazioni di corpi lenticolari di sabbie a grana fine, di silt e di silt argillosi che mostrano tracce fossili di rizoliti.

In base ai fossili presenti l'Età de deposito è riferibile al Pleistocene medio - Pleistocene superiore.

	MLM1	<p>Subsistema di Amendola Depositi marini calcarenitici, sabbiosi o sabbioso-siltosi di ambiente di spiaggia. Generalmente si presentano massivi o mal stratificati ed irregolarmente cementati. Nei corpi sabbiosi si osservano concentrazioni di molluschi marini e/o salmastri; microfaune a bentonici di ambiente litorale. Poggia con limite inconforme sulle argille subappennine ed il limite superiore, inconforme, è rappresentato dalla base di sistemi più recenti (TGF e TLP) o dalla superficie di modellamento attuale. Lo spessore massimo, osservato solo in perforazione arriva a 35-40 m. PLEISTOCENE MEDIO - PLEISTOCENE SUPERIORE?</p>
--	------	--

L'assetto altimetrico del Tavoliere meridionale è connotato da un lento, graduale e progressivo digradare delle quote topografiche da ovest verso est. Infatti, le quote altimetriche passano dai valori massimi di circa 300 metri s.l.m. delle zone dell'entroterra poste ai confini con il Subappennino Dauno ai valori minimi prossimi al l.m. delle zone che si raccordano con la piana costiera antistante il Golfo di Manfredonia. Sui fianchi delle zone dell'entroterra, altimetricamente più elevate, si riconoscono dei ripiani corrispondenti a

terrazzi marini che digradanti verso l'Adriatico.

Un'altra caratteristica saliente del Tavoliere meridionale è data dal reticolo idrografico, il quale risulta localmente costituito da corsi d'acqua che scorrono secondo una direzione ortogonale alla linea di costa. Si tratta di una rete idrografica ben definita, costituita da corsi d'acqua che manifestano un regime prevalentemente torrentizio, eccezion fatta per il Fiume Ofanto, che è a regime perenne. Detti corsi d'acqua incidono i depositi quaternari creando un reticolo a tratti anche fitto e gerarchizzato che recapita le acque integralmente verso il Golfo di Manfredonia.

Le portate medie dei torrenti sono assai esigue, con un regime fortemente irregolare, caratterizzato da magre estive e da piene autunnali- invernali, che in passato hanno dato luogo a rovinose inondazioni.

Nell'area di progettazione dal punto di vista geomorfologico non è stata rilevata la presenza di gradini morfologici di altezza significativa.

La morfologia del territorio è decisamente pianeggiante, con quote topografiche media di circa 43 metri s.l.m. con un leggero pendio degradate verso nord in corrispondenza del lotto n. 2; le evidenze geomorfologiche, analizzate principalmente attraverso l'esame di foto aeree, hanno consentito di accertare che l'area è caratterizzata dalla presenza di orli di scarpate fluviali che permettono di distinguere i terrazzi fluviali recenti rispetto a quelli antichi. Tale distinzione risulta importante in quanto i terrazzi antichi non sono comunemente soggetti a esondazioni neanche nel corso di eventi di grande entità al contrario dei terrazzi recenti che, con diversa frequenza, possono essere inondati ed essere interessati dalla dinamicad'alveo (mobilità laterale).

In relazione agli aspetti geomorfologici e a possibili dissesti superficiali e profondi, la conformazione della zona non fa emergere situazioni che possano modificare l'attuale stato di equilibrio dei luoghi. La consultazione della Cartografia PAI (Piano di Assetto Idrogeologico) evidenzia, invece, una diversa situazione per i due Lotti di intervento:

- Il Lotto n. 1, infatti, non presenta alcun vincolo di natura geomorfologica ed idraulica, confermando appieno lo status di stabilità rilevato sui luoghi;
- Il Lotto n. 2, invece, dal punto di vista geomorfologico rientra in PG1 (Pericolosità media e moderata) sottoposta al Titolo III – Assetto Geomorfologico – Articolo 15 Aree a pericolosità geomorfologica media e moderata (PG1) delle NTA le quali all'art. 1 testualmente recitano *“sono consentiti tutti gli intervent previsti dagli strumenti di governo del territorio purché l'intervento garantisca la sicurezza, non determini condizioni di instabilità e non modifichi negativamente le condizioni ed i processi geomorfologici nell'area e nella zona*

potenzialmente interessata dall'opera e dalle sue pertinenze".

Attesa la compatibilità dell'intervento con gli strumenti di governo previsti, la realizzazione del progetto non condiziona in alcun modo le principali caratteristiche geomorfologiche per i seguenti motivi:

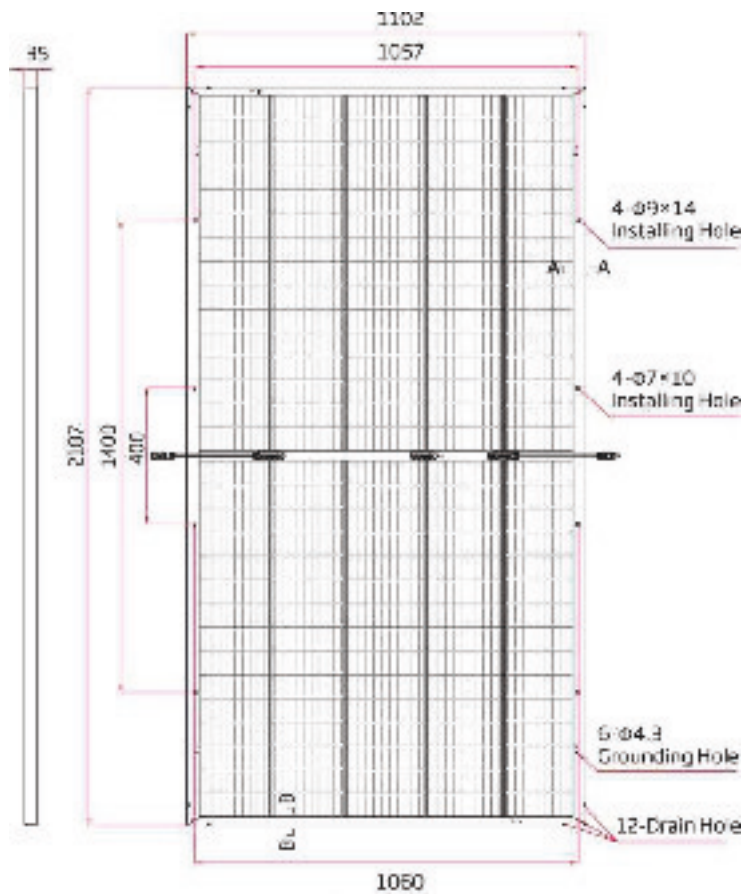
- 1) L'intervento non determina condizioni di instabilità e non modifica negativamente le condizioni ed i processi geomorfologici nell'area e nella zona interessata dal progetto e dalle sue pertinenze;
- 2) Non verrà eseguito alcun scavo se non quelli strettamente necessari per il posizionamento delle fondazioni;
- 3) La committenza si impegna sin da ora a trasmettere uno studio di compatibilità geologica e geotecnica che ne analizzi compiutamente gli effetti sulla stabilità dell'area interessata in condizioni di pre e post operam.

Il vincolo idraulico, invece, di tipo medio e alto lambisce le particelle dove è previsto il posizionamento dei pannelli fotovoltaici che saranno disposti, comunque, ad una distanza e in modo tale da non interferire con le aree a rischio. Tale vincolo è dato dalla presenza del Torrente Celone, che per il suo regime spiccatamente "torrentizio" determina rischi di inondazione per ampie superfici morfologicamente più depresse e situate nelle adiacenze degli assi di drenaggio principali e secondari;

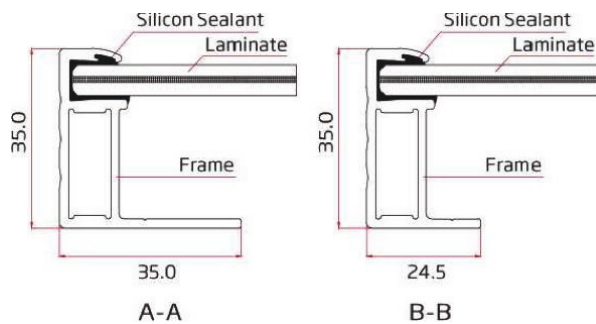
Infine In base alle recenti NCT 2018 il suolo è classificabile come terreno di "Categoria C", con una pendenza topografica media inferiore ai 15°, pertanto riferibile ad una categoria di tipo T1.

5. DESCRIZIONE E CARATTERISTICHE GEOMETRICHE DEL TRACKER

I moduli fotovoltaici previsti nel sito di progetto sono i Vertex 475-505 W e hanno dimensioni di 1102 mm x 2187 mm; questi ultimi sono montati su profili omega collegati al sistema di sostegno ad inseguimento solare monoassiale ovvero un tracker SP160 LIZA. 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.



Back View



Dettagli del pannello fotovoltaico

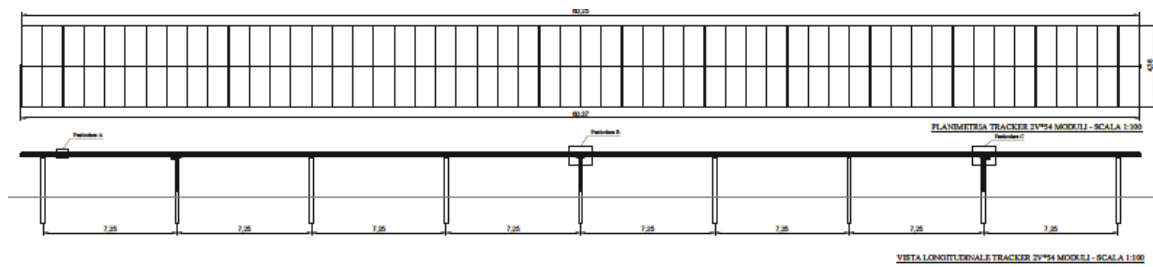
La struttura di sostegno è costituita da profilati metallici in acciaio opportunamente dimensionati; i profili omega si attestano orizzontalmente ad un'altezza di circa 2,30 m in fase di riposo, mentre in fase di esercizio raggiungono una quota massima di circa 4,11 metri di altezza rispetto alla quota del terreno. L'asse di rotazione del tracker è uno scatolare in acciaio e il suo movimento è generato dalla presenza di 3 attuatori.

Tale struttura orizzontale viene appoggiata a pilastri in acciaio di forma regolare ed infissi nel terreno ad

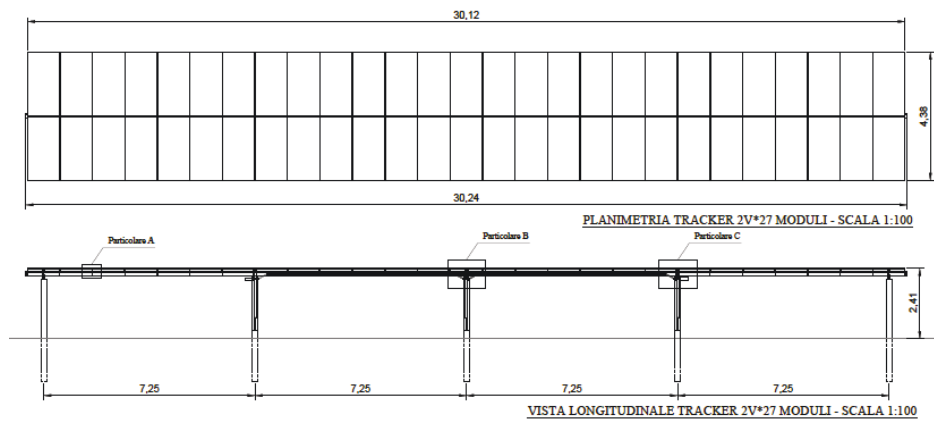
una profondità variabile in funzione delle caratteristiche litologiche del suolo.

Saranno posizionati due tipologie di tracker:

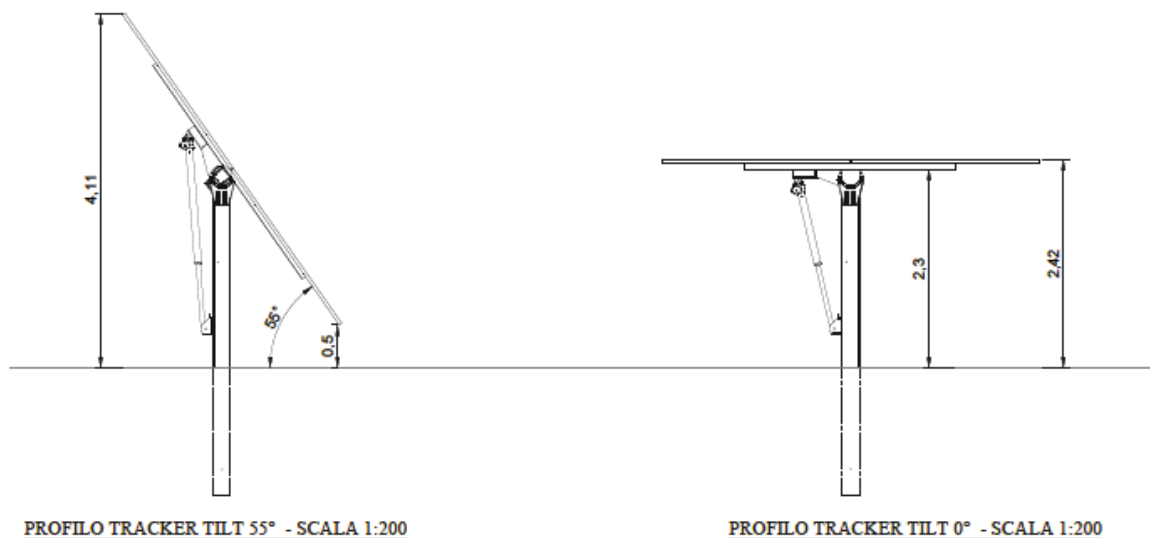
- Tracker da 54 moduli (2V*27), di dimensioni in pianta di 30,12x4,38 m;
- Tracker da 108 moduli (2V*54), di dimensioni in pianta di 60,25x4,38 m.



Vista dall'alto e in prospettiva del tracker da 108 moduli nella configurazione orizzontale



Vista dall'alto e in prospettiva del tracker da 54 moduli nella configurazione orizzontale



Proiezione laterale 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.

Lo studio sarà effettuato sul tracker da 108 moduli poichè di dimensioni maggiori rispetto a quello da 54; i due modelli mantengono comunque gli stessi elementi strutturali e le stesse distanze di interasse tra questi ultimi. 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. **2** Cabine di consegna ENEL aventi dimensioni di **6,7x2.50x2,55** m circa;
- n. **1** Cabina Trasformatore avente dimensioni di **6,74x2.50x2,55** m circa;
- n. **4** Cabine Trasformatore aventi dimensioni di **4,48x2.50x2,55** m circa.
- n. **8** Container 40' HIGH CUBE aventi dimensioni di **12,20x2.43x2,90** m circa;

- n. **7** Container 20' BOX aventi dimensioni di **6,05 x2.43x2,60** m circa;

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/cm² – 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

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

Larghezza: 2,5 m

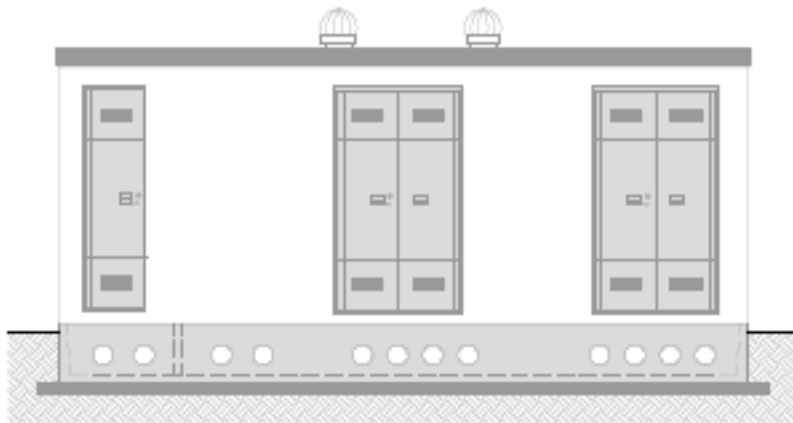
Lunghezza: 6,7 m

Altezza: 2,55 m

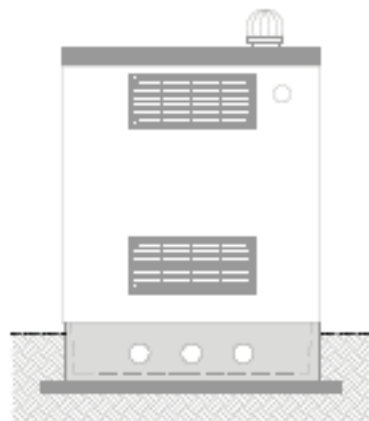
Superficie complessiva: 16,75 m²



Pianta della cabina



Prospetto longitudinale



Prospetto trasversale

6.1.2 Cabine Trasformatore

Le Cabine Trasformatore saranno di due tipi:

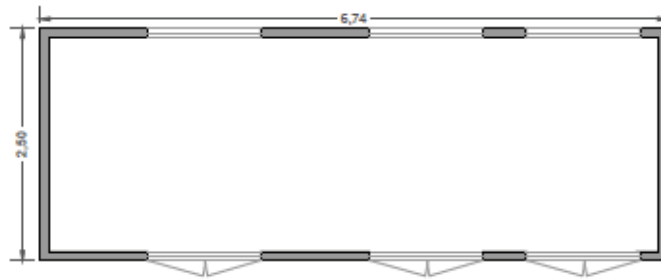
- **P67** aventi le seguenti dimensioni:

Larghezza: 2,5 m

Lunghezza: 6,7 m

Altezza: 2,55 m

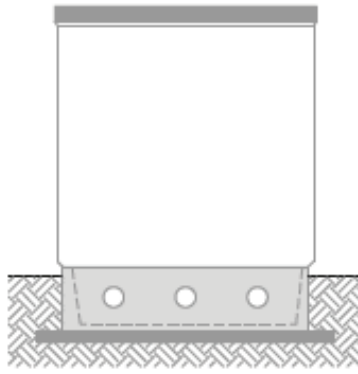
Superficie complessiva: 16,75 m²



Pianta della cabina



Prospetto longitudinale



Prospetto trasversale

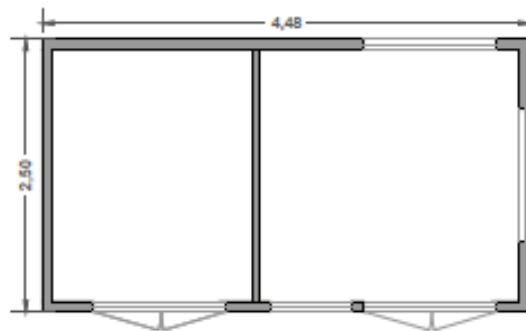
- **P44** aventi le seguenti dimensioni:

Larghezza: 2,5 m

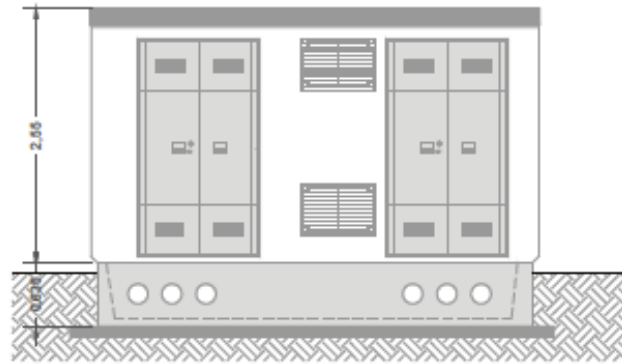
Lunghezza: 4,53 m

Altezza: 2,55 m

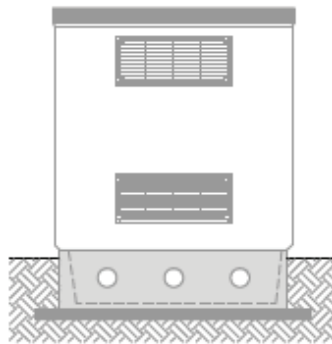
Superficie complessiva: 11,32 m²



Pianta della cabina



Prospetto longitudinale



Prospetto trasversale

6.2 Container

I Container all'interno dell'impianto saranno di due tipi:

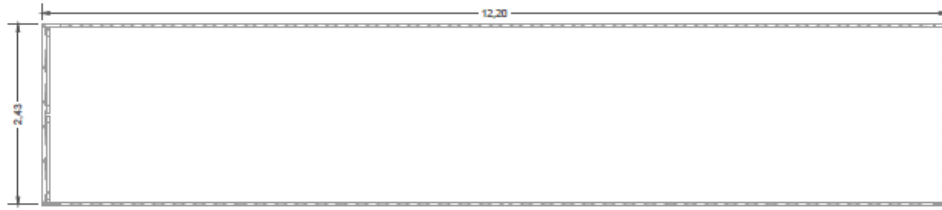
- **Container 40' HIGH CUBE** adibito a Locale inverter e Locale Tecnico/Deposito

Larghezza: 2,43 m

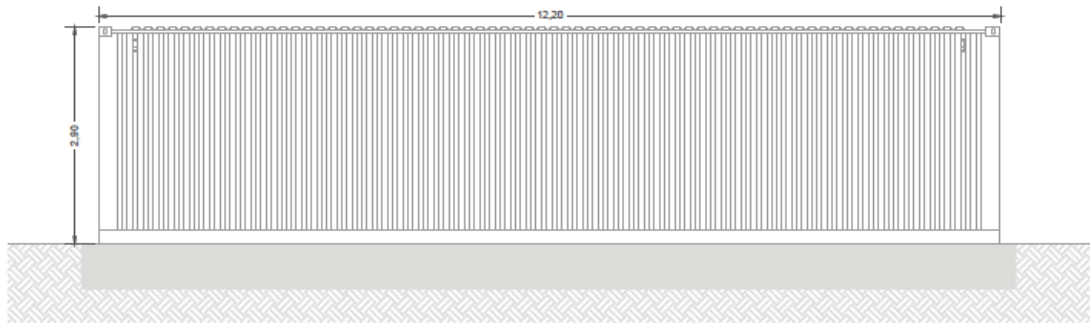
Lunghezza: 12,20 m

Altezza: 2,90 m

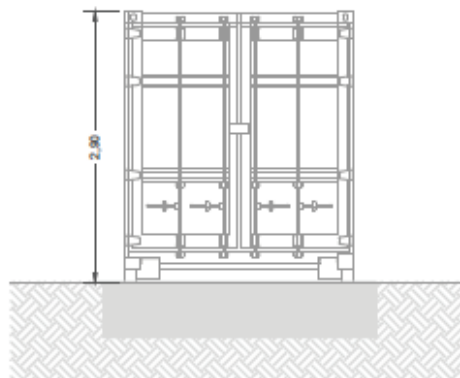
Superficie complessiva: 29,65 m²



Pianta del container



Prospetto longitudinale



Prospetto trasversale

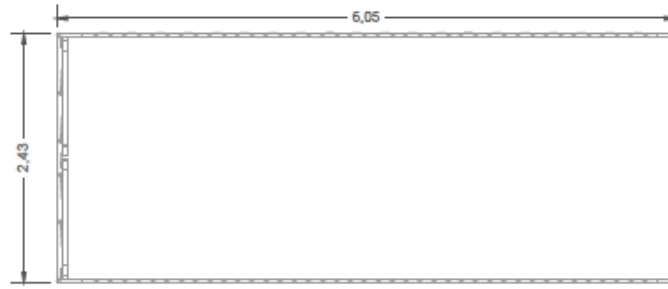
- **Container 20' BOX** adibito a Locale inverter, Locale MT Utente e Locale Tecnico/Deposito

Larghezza: 2,43 m

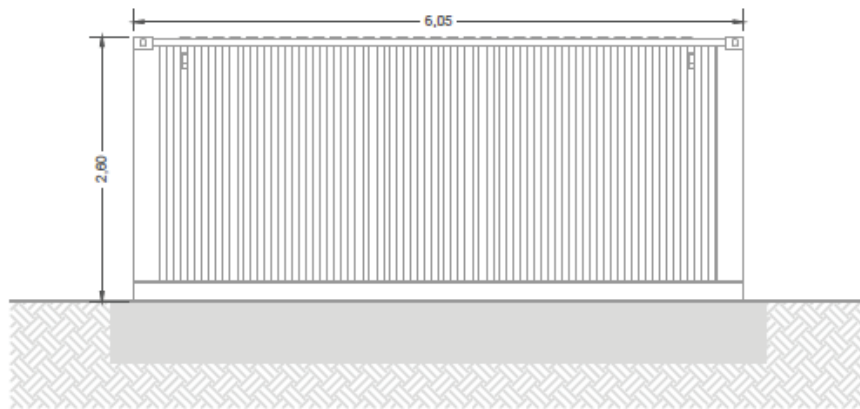
Lunghezza: 6,05 m

Altezza: 2,60 m

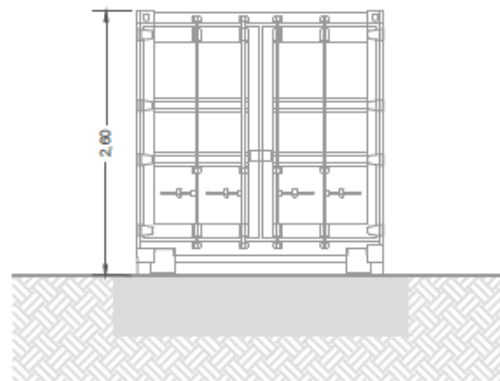
Superficie complessiva: 14,70 m²



Pianta del container



Prospetto longitudinale



Prospetto trasversale

7 Pali di illuminazione

Il progetto dell'impianto di illuminazione all'interno del campo fotovoltaico sarà definito nel dettaglio in fase di progettazione definitiva; Ci limiteremo in questa fase a descrivere il metodo di calcolo utilizzato per la verifica di pali ancorati al terreno mediante plinti di fondazione.

Le verifiche verranno eseguite sia sul palo che sul plinto, il quale verrà dimensionato secondo quanto stabilito dal D.M. 17/01/2018 Aggiornamento delle *“Norme Tecniche sulle Costruzioni”* e dalla Circolare 21 Gennaio 2019 n.7 C.S.LL.PP. *Istruzioni per l'applicazione dell'«Aggiornamento delle “Norme tecniche per le costruzioni”»* di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018; per il calcolo dell'azione del vento è stato fatto riferimento alla CNR-DT 207 R1/2018 *“Istruzioni per la valutazione delle azioni e degli effetti del vento sulle costruzioni”*.

Azioni di Progetto

Le azioni di progetto prese in conto per la verifica dell'opera in oggetto sono:

- carichi permanenti (pesi propri dei materiali strutturali, carichi permanenti non strutturali)
- azione del vento
- azione sismica

Di seguito si riportano in dettaglio le azioni considerate.

Carichi permanenti

I carichi permanenti da considerare nelle verifiche di resistenza e stabilità sono rappresentati dai pesi propri degli elementi strutturali e non strutturali.

Azione del vento

Il vento esercita una duplice azione sull'elemento in esame:

- un'azione concentrata, agente sulla sommità del palo, causata dalla pressione esercitata dal vento sull'apparecchio illuminante;
- un'azione distribuita, agente lungo tutto lo sviluppo del palo, causata dalla pressione esercitata dal vento sulla superficie del palo stesso.

il calcolo verrà effettuato secondo i punti seguenti:

- 1) valutazione della velocità e della pressione cinetica del vento;
- 2) valutazione dell'azione concentrata del vento sulla sommità del palo;
- 3) valutazione dell'azione distribuita del vento lungo lo sviluppo del palo ;

1) Valutazione della velocità e della pressione cinetica del vento

La determinazione della pressione cinetica di picco avviene tramite la formula:

$$q_p = (1/2) \cdot \rho \cdot v_b^2 \cdot c_e \cdot c_p$$

dove:

- c_e = coefficiente di esposizione;
- c_p = coefficiente di forma;
- v_b = velocità base di riferimento s.l.m.;
- ρ = densità dell'aria;

2) Valutazione dell'azione concentrata del vento sulla sommità del palo

La forza concentrata esercitata dal vento sulla sommità del palo sarà calcolata mediante la relazione seguente:

$$F_X = q_p(\bar{z}) \cdot L^2 \cdot c_{FX}$$

in cui:

- q_p = pressione cinetica di picco del vento;
- z = altezza di riferimento associata al coefficiente di forza;
- L = lunghezza di riferimento su cui agisce la pressione del vento;
- c_{FX} = coefficiente di forza secondo la direzione X;

L'area di riferimento L^2 sarà assunta pari alla proiezione sul piano verticale dell'apparecchio di illuminazione posto sulla sommità del palo. Il coefficiente di forza sarà valutato in fase di progettazione.

3) Valutazione dell'azione distribuita del vento lungo lo sviluppo del palo

La forza distribuita esercitata dal vento lungo lo sviluppo del palo può essere calcolata mediante la relazione seguente:

$$f_x(z) = q_p(z) \cdot l \cdot c_{fx}$$

in cui:

- q_p = pressione cinetica di picco del vento;
- z = quota sul suolo;
- l = dimensione di riferimento associata al coefficiente di forza;
- c_{fx} = coefficiente di forza.

Azione sismica

La vita nominale di un'opera strutturale V_N è intesa come il numero di anni nel quale la struttura, purchè soggetta alla manutenzione ordinaria, deve potere essere usata per lo scopo al quale è destinata.

Le azioni sismiche su ciascuna costruzione vengono valutate in relazione ad un periodo di riferimento V_R che si ricava, per ciascun tipo di costruzione, moltiplicandone la vita nominale V_N per il coefficiente d'uso C_U :

$$V_R = V_N \cdot C_U$$

Il valore del coefficiente d'uso C_U è definito al variare della classe d'uso.

L'azione sismica sul palo di illuminazione verrà considerata mediante l'applicazione di una forza statica equivalente alla forza indotta dall'azione sismica, in sommità del palo. Il periodo del modo di vibrare principale nella direzione in esame, T_1 , verrà valutato utilizzando la seguente formula:

$$T_1 = C_1 \cdot H^{3/4}$$

La forza da applicare in sommità del palo sarà pari a:

$$F_h = S_d(T_1) \cdot W \cdot \lambda / g$$

dove $S_d(T_1)$ è l'ordinata dello spettro di risposta di progetto, W è il peso complessivo della struttura, λ è un coefficiente pari a 1 nel caso in esame, e g è l'accelerazione di gravità.

Verifiche di sicurezza

Lo schema di calcolo adottato per la valutazione delle sollecitazioni sarà quello di una mensola. Il plinto di fondazione sarà verificato con le massime sollecitazioni derivanti dal palo sovrastante. Per il calcolo delle strutture sarà utilizzato il **metodo semiprobabilistico agli stati limite**.

Verifiche di sicurezza per carichi non sismici

Le verifiche per i carichi non sismici vengono eseguite allo stato limite ultimo, mediante il metodo dei coefficienti parziali di sicurezza sulle azioni e sulle resistenze; le azioni di calcolo E_d si ottengono combinando le azioni caratteristiche secondo la seguente formula di correlazione:

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

dove:

G_1 rappresenta il valore caratteristico del peso proprio di tutti gli elementi strutturali;

G_2 rappresenta il valore caratteristico del peso proprio di tutti gli elementi non strutturali;

P rappresenta il valore di pretensione;

Q_{k1} rappresenta il valore caratteristico dell'azione variabile dominante di ogni combinazione;

Q_{ki} rappresenta il valore caratteristico della i -esima azione variabile;

γ_{G1} , γ_{G2} , γ_{Qi} e γ_P rappresentano i coefficienti parziali di sicurezza;

Per il palo di illuminazione sarà effettuata l'unica verifica ritenuta significativa, ossia la **verifica a flessione (STR)**:

$$M_{c,Rd} \geq M_{Sd}$$

Per quanto riguarda il plinto di fondazione saranno effettuate le seguenti verifiche:

- **verifica a ribaltamento (EQU)**:

$$M_S/M_R \geq 1$$

- **verifica a scorrimento (GEO)**:

$$F_{stab}/F_{scorr} \geq 1$$

Dove:

$$F_{stab} = (\gamma_{G1,F} \cdot P \cdot \tan \frac{\delta}{\alpha}) / \gamma_R$$

F_{scorr} = azione del vento

- **verifica di capacità portante del terreno (GEO)**:

Per il calcolo del carico limite si utilizzerà la formula di Brinch-Hansen, che esprime l'equilibrio fra il carico applicato alla fondazione e la resistenza limite del terreno:

$$q_{lim} = c \cdot N_c \cdot s_c \cdot d_c \cdot i_c \cdot g_c \cdot b_c + q \cdot N_q \cdot s_q \cdot d_q \cdot i_q \cdot g_q \cdot b_q + \frac{1}{\gamma} \cdot B \cdot \gamma_f \cdot N_\gamma \cdot s_\gamma \cdot d_\gamma \cdot i_\gamma \cdot g_\gamma \cdot b_\gamma$$

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 = dimensione caratteristica della fondazione, che corrisponde alla larghezza della suola;
 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 = coefficienti correttivi.

Tale verifica si esegue confrontando la massima pressione di contatto trasmessa dal plinto di fondazione con la pressione limite.

Nelle verifiche strutturali le azioni saranno moltiplicate per i coefficienti parziali di tipo STR.

Per la verifica a ribaltamento (Stato Limite di Equilibrio come corpo rigido), il momento ribaltante e quello stabilizzante saranno calcolati sulla base dei carichi agenti moltiplicati per i coefficienti parziali di tipo EQU.

Le verifiche a scorrimento e di capacità portante (verifiche di tipo Geotecnico) saranno condotte secondo l'Approccio 2 (A1+M1+R3).

Verifiche di sicurezza in condizioni sismiche

Saranno effettuate le stesse verifiche con riferimento agli stati limite di ribaltamento, scorrimento sul piano di posa e capacità portante, per lo stato limite ultimo di salvaguardia della Vita (SLV).

COMBINAZIONE DELL'AZIONE SISMICA CON LE ALTRE AZIONI

Le verifiche agli stati limite ultimi o di esercizio devono essere effettuate per la combinazione dell'azione sismica con le altre azioni seguenti:

$$G_1 + G_2 + P + E + \sum_i \psi_{2i} \cdot Q_{ki}$$

dove:

E azione sismica per lo stato limite in esame;

G_1 carichi permanenti strutturali al loro valore caratteristico;

G_2 carichi permanenti non strutturali al loro valore caratteristico;

P valore caratteristico dell'azione di pretensione;

ψ_{2j} coefficienti di combinazione delle azioni variabili Q_{kj} ;

Q_{kj} valore caratteristico della azione variabile Q_{kj} .

Per quanto riguarda la struttura di fondazione del palo, la **verifica a scorrimento** sul piano di fondazione sarà effettuata con l'Approccio 1 (E+M2+R1) con F_{scorr} pari all'azione sismica, in quanto l'Approccio 2 conduce a risultati meno conservativi. I coefficienti parziali A2 saranno posti pari ad uno. Tutte le altre verifiche in condizioni sismiche sono state effettuate con l'Approccio 2, ponendo i coefficienti A1 pari ad uno.

Nella **verifica a capacità portante del terreno** in presenza di sisma la formula diventa:

$$q_{lim} = c \cdot N_c \cdot s_c \cdot d_c \cdot i_c \cdot g_c \cdot b_c \cdot z_c + q \cdot N_q \cdot s_q \cdot d_q \cdot i_q \cdot g_q \cdot b_q \cdot z_q + \frac{1}{\gamma} \cdot B \cdot \gamma_f \cdot N_\gamma \cdot s_\gamma \cdot d_\gamma \cdot i_\gamma \cdot g_\gamma \cdot b_\gamma \cdot z_\gamma \cdot c_\gamma$$

in cui, oltre ai termini già precedentemente indicati, si sono introdotti i seguenti termini:

z_c, z_q, z_γ = coefficienti correttivi dovuti all'effetto inerziale;

c_γ = coefficiente correttivo dovuto all'effetto cinematico.

8. CARATTERISTICHE DEI MATERIALI IMPIEGATI

Le caratteristiche dei materiali impiegati nei calcoli sono le seguenti:

- Acciaio B 450 C - $f_{tk}=540 \text{ N/mm}^2$, $f_{yk} 450 \text{ N/mm}^2$ ($E= 200000 \text{ N/mm}^2$; peso spec.= $78,5 \text{ kN/m}^3$; $G=84000 \text{ N/mm}^2$);
- Calcestruzzo per strutture prefabbricate – C32/40, $R_{ck} = 400 \text{ N/mm}^2$ ($E= 33300 \text{ N/mm}^2$; $n= 0.2$; peso spec.= 25000 N/m^3);
- Calcestruzzo per sottofondi – C12/15, $R_{ck} = 150 \text{ N/mm}^2$ ($E= 27085.17 \text{ N/mm}^2$; $n= 0.2$; peso spec.= 25000 N/m^3);
- Calcestruzzo di regolarizzazione – C16/20, $R_{ck} = 250 \text{ N/mm}^2$ ($E= 28607.90 \text{ N/mm}^2$; $n= 0.2$; peso spec.= 25000 N/m^3);
- Calcestruzzo per opere in c.a. – C25/30, $R_{ck} = 300 \text{ N/mm}^2$ ($E= 31500 \text{ N/mm}^2$; $n= 0.2$; peso spec.= 25000 N/m^3);
- Acciaio per carpenteria metallica – S355, $f_y = 355 \text{ N/mm}^2$, $f_u = 510 \text{ N/mm}^2$, ($E= 210000 \text{ N/mm}^2$; peso spec.= $78,5 \text{ kN/m}^3$; $G=84000 \text{ N/mm}^2$);

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

9.1 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.

9.2 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	γ_{0j}	γ_{1j}	γ_{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 ≤ 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 2.5.1 del D.M. 2018)

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

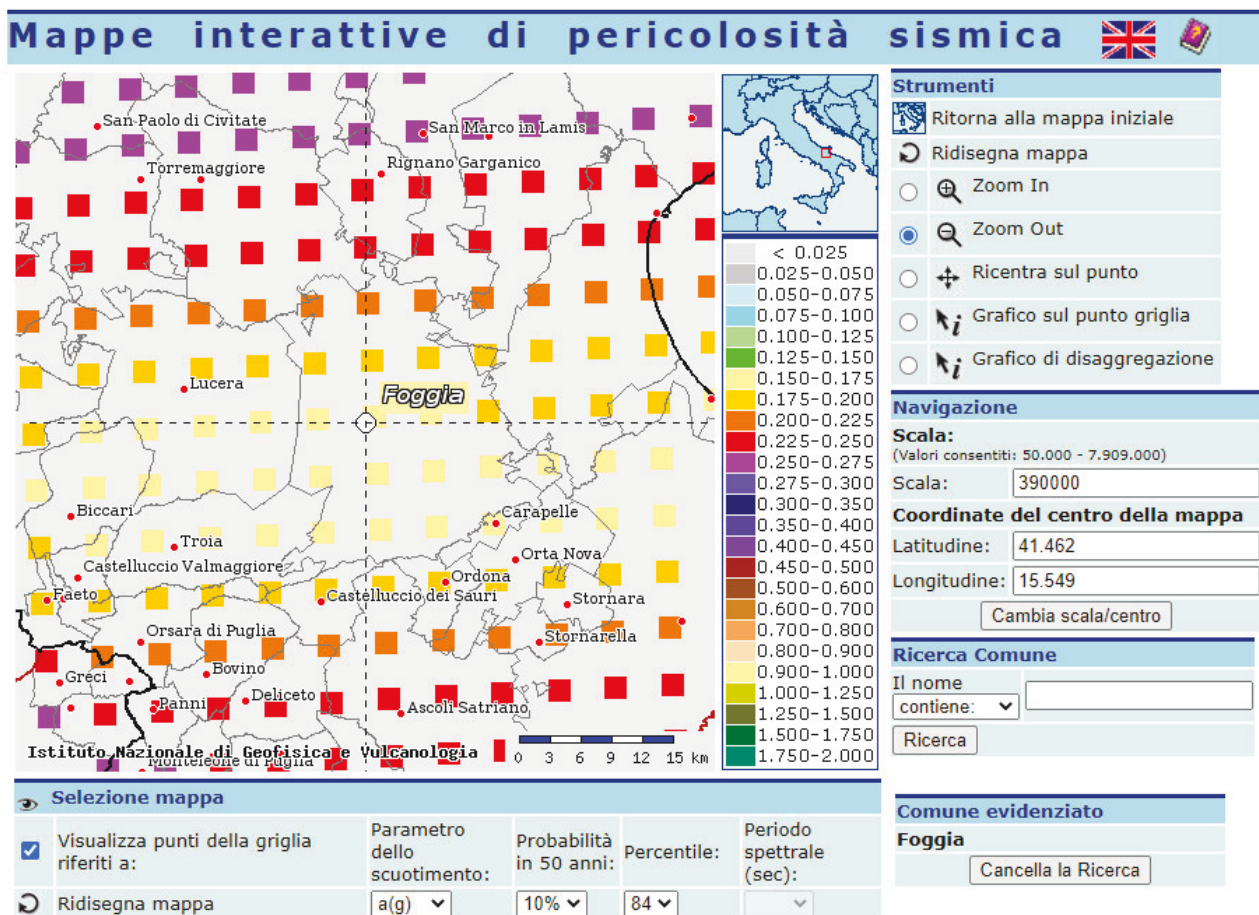
Le prestazioni attese nei confronti delle azioni sismiche dovranno essere verificate agli stati limite, sia di esercizio che ultimi individuati riferendosi alle prestazioni della costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali e gli impianti.

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



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 .

9.3 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/m²]*
- *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 [kN/m ²]	Q_k [kN]	H_k [kN/m]
A	Ambienti ad uso residenziale. 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. Cat. B1 Uffici non aperti al pubblico Cat. B2 Uffici aperti al pubblico	2,00 3,00	2,00 2,00	1,00 1,00
C	Ambienti suscettibili di affollamento Cat. C1 Ospedali, ristoranti, caffè, banche, scuole Cat. C2 Balconi, ballatoi e scale comuni, sale convegni, cinema, teatri, chiese, tribune con posti fissi 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 4,00 5,00	2,00 4,00 5,00	1,00 2,00 3,00
D	Ambienti ad uso commerciale. Cat. D1 Negozi Cat. D2 Centri commerciali, mercati, grandi magazzini, librerie...	4,00 5,00	4,00 5,00	2,00 2,00
E	Biblioteche, archivi, magazzini e ambienti ad uso industriale. Cat. E1 Biblioteche, archivi, magazzini, depositi, laboratori manifatturieri Cat. E2 Ambienti ad uso industriale, da valutarsi caso per caso	≥ 6,00 —	6,00 —	1,00* —
F-G	Rimesse e parcheggi. Cat. F Rimesse e parcheggi per il transito di automezzi di peso a pieno carico fino a 30 kN 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 —	2 x 10,00 —	1,00** —
H	Coperture e sottotetti Cat. H1 Coperture e sottotetti accessibili per sola manutenzione Cat. H2 Coperture praticabili Cat. H3 Coperture speciali (impianti, eliporti, altri) da valutarsi caso per caso	0,50 — —	1,20 — —	1,00 — —
* 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.

9.4 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.

9.5 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.

9.6 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.

9.7 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.

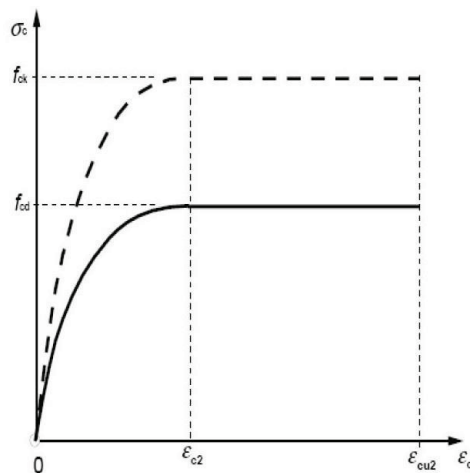
Nel modello si terranno in conto i disassamenti tra i vari elementi strutturali schematizzandoli come vincoli cinematici rigidi.

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.

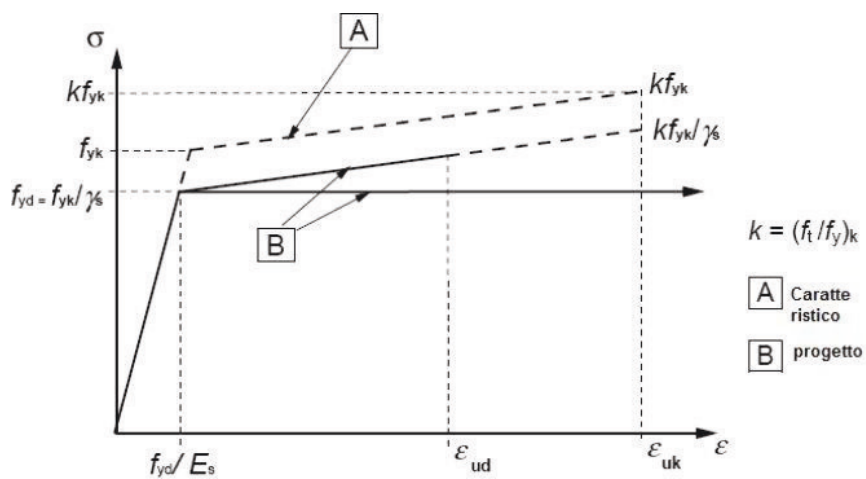
Il modello di calcolo terrà conto dell'interazione suolo-struttura schematizzando le fondazioni superficiali (con elementi plinto, trave o piastra) su suolo elastico alla Winkler.

Per le verifiche sezionali saranno utilizzati i seguenti legami:



Legame costitutivo di progetto del calcestruzzo

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



Legame costitutivo di progetto dell'acciaio per c.a.

Il modello di calcolo da utilizzare è rappresentativo della realtà fisica per la configurazione finale anche in funzione delle modalità e sequenze costruttive.

9.8 Combinazione Di Calcolo

Le combinazioni di calcolo da considerare sono quelle previste dal D.M. 17.01.2018 per i vari stati limite e per le varie azioni e tipologie costruttive.

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

- *Combinazione fondamentale, generalmente impiegata per gli stati limite ultimi (SLU) (2.5.1);*
- *Combinazione caratteristica (rara), generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) irreversibili, da utilizzarsi nelle verifiche alle tensioni ammissibili di cui al § 2.7(2.5.2);*
- *Combinazione frequente, generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) reversibili (2.5.3);*
- *Combinazione quasi permanente (SLE), generalmente impiegata per gli effetti a lungo termine(2.5.4);*
- *Combinazione sismica, impiegata per gli stati limite ultimi e di esercizio connessi all'azione sismica E*
 - *(v. § 3.2 form. 2.5.5);*
- *Combinazione eccezionale, impiegata per gli stati limite ultimi connessi alle azioni eccezionali di progetto Ad (v. § 3.6 form. 2.5.6).*

Nelle combinazioni per SLE, saranno omessi i carichi Q_k dal momento che hanno un contributo favorevole ai fini delle verifiche e, se del caso, i carichi G_2 .

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 γ_{Gi} e γ_{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 γ_2 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.

9.9 Azioni Agenti Sulle Fondazioni

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

Per quanto riguarda le azioni verticali:

- *SLU (combinazione fondamentale):*
- $E_d = \gamma G_1 * G_1$
- *SLU + SISMA (combinazione sismica) SLV:*
- $E_d = E + G_1 = G_1 * k_v + G_1$

Per quanto riguarda le azioni orizzontali:

- *combinazione sismica SLV (taglio sismico)*
- $E_d = G_1 * k_{hi}$

In cui:

- *E_d azione di progetto*
- *G_1 peso proprio degli elementi strutturali*
- *γG_1 coefficiente parziale di sicurezza (A1, A2 - punto 2.6.1 delle NTC 2018 e tab.2.6.1)*
- *E azione sismica*
- *k_v ordinata dello spettro di progetto delle componenti verticali in corrispondenza del periodo fondamentale T_1*
- *k_{hi} ordinata dello spettro di progetto delle componenti orizzontali in corrispondenza del periodo fondamentale T_1*

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 E_d 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 γF (oppure γE oppure γG)*
- *M = resistenza dei materiali (terreno) γM*

- $R = \text{resistenza globale del sistema } \gamma R$

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* $= 3 \text{ m}$
- *Periodo fondamentale* $T1=0,17\text{s}$

9.10 Parametri sismici

(stralcio della relazione geologica/geotecnica/idrologica della Dott.ssa Giovanna Amedei, Rodi Garganico,- Novembre 2020)

La definizione del valore VS30, velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio nei primi 30 m del sottosuolo, è calcolata, come prescritto dalle NTC 2018 ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, mediante la relazione:

$$V_{S30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{V_i}}$$

dove h_i e V_i indicano lo spessore in metri e la velocità delle onde di taglio (per deformazione di taglio $\gamma < 10-6$) dello strato i -esimo, per un totale di N strati presenti nei 30 m superiori. Nei punti dell'area investigata è stato possibile calcolare il parametro Vs30 attraverso il modello di Vs-profondità, ottenuto mediante l'analisi MASW, a cui è poi stata associata la relativa categoria di suolo di fondazione secondo quanto indicato nella Nuova Normativa Sismica, come da Decreto Ministeriale 17 Gennaio 2018 e successiva Circolare 21 Gennaio 2019, n. 7 C.S.LL.PP. Istruzioni per l'applicazione dell'Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni" di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018.

Sulla base dei valori di Vs30, mediamente compresi attorno ai 360 m/s, i suoli indagati possono essere attribuiti alla Categoria C ($360 \text{ m/s} < VS30 < 800 \text{ m/s}$), ai sensi delle NTC 2018 (Fig. 4).

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 $N_{SP,T,30} > 50$ 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 $15 < N_{SP,T,30} < 50$ 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 $N_{SP,T,30} < 15$ 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

L' area in esame è stata classificata, in base all' O.P.C.M. 3274 del 2003 e successivo aggiornamento n. 3519 del 2006, nella zona sismica di 2° categoria, con le seguenti caratteristiche:

Codice ISTAT 2001	Classificazione 2003	PGA (g)	I
071024	Zona 2	0.25 g	8 MCS

A tutto questo bisogna aggiungere l'amplificazione stratigrafica e topografica dell'area.

L' amplificazione stratigrafica per un sottosuolo di categoria A prevede i coefficienti S_s (Coefficiente di Amplificazione Stratigrafica) e C_c (Coefficiente di Sottosuolo) pari a 1. Per le categorie di sottosuolo B, C, D ed E i coefficienti S_s e C_c possono essere calcolati, in funzione dei valori di F_0 e T^* relativi al sottosuolo di categoria A, mediante le espressioni fornite nella Tab. 3.2.V delle NCT 2018, nelle quali g è l' accelerazione di gravità ed il tempo è espresso in secondi.

Tabella 3.2.VI – Valori massimi del coefficiente di amplificazione topografica S_T

Categoria topografica	Ubicazione dell'opera o dell'intervento	S_T
T1	-	1,0
T2	In corrispondenza della sommità del pendio	1,2
T3	In corrispondenza della cresta del rilievo	1,2
T4	In corrispondenza della cresta del rilievo	1,4

Per le condizioni topografiche e in assenza di specifiche analisi di risposta sismica locale, si utilizzano i valori del coefficiente topografico S riportati nella Tab. 3.2.VI, in funzione delle categorie T topografiche e dell'ubicazione dell'opera o dell'intervento.

Tabella 3.2.V – Espressioni di S_S e di C_C

Categoria sottosuolo	S_S	C_C
A	1.00	1.00
B	$1.00 \leq 1.40 - 0.40 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1.20$	$1.10 \cdot (T_C^*)^{-0.20}$
C	$1.00 \leq 1.70 - 0.60 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1.50$	$1.05 \cdot (T_C^*)^{-0.33}$
D	$0.90 \leq 2.40 - 1.50 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1.80$	$1.25 \cdot (T_C^*)^{-0.50}$
E	$1.00 \leq 2.00 - 1.10 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1.60$	$1.15 \cdot (T_C^*)^{-0.40}$

Per descrivere la pericolosità sismica in un generico sito con precisione sufficiente, sia in termini geografici che in termini temporali, non ch  nei modi previsti dalle NTC2018, i risultati dello studio di pericolosit  sismica devono essere forniti in termini di valori di accelerazione orizzontale massima a_g e dei parametri che permettono di definire gli spettri di risposta, nelle condizioni di sottosuolo rigido affiorante.

In particolare, i caratteri del moto sismico su sito di riferimento rigido orizzontale sono descritti, dalla distribuzione sul territorio nazionale delle seguenti grandezze, sulla base delle quali sono compiutamente definite le forme spettrali per la generica probabilit  di eccedenza nel periodo di riferimento PVR:

- a_g (A_{max}) = accelerazione massima al sito;

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

- T_C^* = periodo di inizio del tratto a velocit  costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

Il valore di a_g   desunto direttamente dalla pericolosit  di riferimento, attualmente fornita dallo INGV, mentre F_o e T_C^* sono calcolati in modo che gli spettri di risposta elastici in accelerazione, velocit  e spostamento forniti dalle NTC approssimino al meglio i corrispondenti spettri di risposta elastici in accelerazione, velocit  e spostamento derivanti dalla pericolosit  di riferimento.

Lo scuotimento del suolo cos  individuato deve essere corretto per tener conto delle modifiche prodotte dalle condizioni locali del sottosuolo effettivamente presente nel sito di costruzione e dalla morfologia della superficie (come visto in precedenza con la determinazione della Categoria di sottosuolo sito specifica C e

dei coefficienti di amplificazione topografica $ST = 1,0$ e stratigrafica $Ss = 1,5$)

CATEGORIA DI SUOLO	Da VS30 →	C
COEFFICIENTE DI AMPLIFICAZIONE TOPOGRAFICA ST	T1- superficie pianeggiante ,pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$	1,0
	T2- pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$; in corrispondenza della sommità del pendio	1,2
	T3- Rilievi aventi larghezza in cresta molto inferiore alla larghezza alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$ in corrispondenza della cresta del rilievo	1,2
	T4- Rilievi aventi larghezza in cresta molto inferiore alla larghezza alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$; in corrispondenza della cresta del rilievo	1,4
COEFFICIENTE DI AMPLIFICAZIONE STRATIGRAFICA Ss	da tabella 3.2.V (v. tabulati elaborazioni precedenti)	1,5
fattore $S = Ss \cdot ST$		$\bar{S} = 1,5$

Considerando dunque:

1. Le coordinate geografiche del sito;

2. La tipologia di costruzione ricadente in classe 1 con Vita

Nominale (VN) delle opere in progetto pari a 35 anni e un coefficiente

d' uso pari a 0,7, pertanto un periodo di riferimento (VR) pari a 24,5

anni ($VR = VN \times Cu$);

Si ottengono i seguenti parametri sismici:

Dati Generali						
Località		Dati opera		Dati struttura		
Indirizzo Foggia		Tipo opera 2 - Opere ordinarie		Fattore di struttura [q] 3		
Lat. Long. 41,462198 15,54463		Classe d'uso Classe I		Periodo fond. struttura [T] 0,25 [s]		
		V. Nominale 50 V. Rif. 35		Stima automatica Periodo fond. T?		
Parametri sismici su sito di riferimento						
SL	TR [Ann]	ag [m/s ²]	F0 [-]	TC* [sec]	Categoria sottosuolo	C
SLO	30,00	0,45	2,44	0,30	Categoria topografica	T1
SLD	35,00	0,48	2,46	0,31		
SLV	332,00	1,17	2,59	0,42		
SLC	682,00	1,49	2,61	0,45		
Coefficienti sismici orizzontali e verticali						
Opera	Stabilità pendii e Fondazioni	SL	amax [m/s ²]	β	khk [-]	kvk [-]
		SLO	0,675	0,2	0,0138	0,0069
		SLD	0,72	0,2	0,0147	0,0073
		SLV	1,755	0,24	0,043	0,0215
		SLC	2,1785	0,24	0,0533	0,0267
		Stato limite di riferimento		SLO		

10. 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.

Lo studio sarà effettuato sul modulo da 108 pannelli perché di dimensione maggiore rispetto all'altro, mantenendo comunque le stesse caratteristiche di utilizzo e di interesse tra gli elementi.

10.1 Localizzazione dell'intervento

Provincia: FOGGIA

Regione: PUGLIA

Coordinate GPS:

Latitudine : 41°33'53.26"N

Longitudine: 15°36'12.48"E

Altitudine s.l.m.: 43 m

10.2 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.

10.2.1 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.

10.2.2 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..

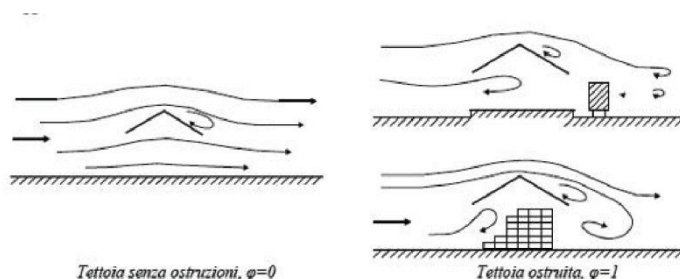
Al paragrafo C3.3.8.2, vengono forniti i criteri per valutare le azioni globali del vento sulle coperture in cui lo spazio sottostante non sia delimitato in maniera permanente da pareti. In tale paragrafo l'azione del vento sulle tettoie è schematizzata attraverso forze F risultanti dal campo di pressioni 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 Φ 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 Φ e dell'inclinazione della falda. Per valori intermedi di Φ è ammessa una interpolazione lineare tra i valori relativi ai casi di $\Phi=0$ e $\Phi=1$.

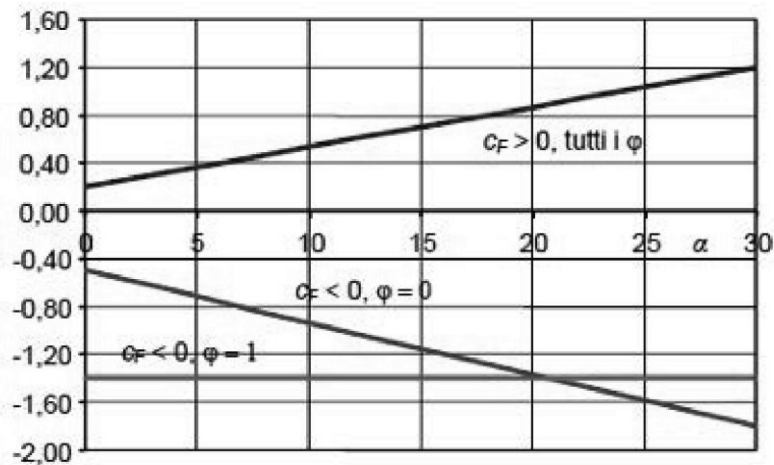


Figura C3.3.21 - Coefficienti di pressione complessiva per tettoie a semplice falda

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

Valori positivi	Tutti i valori di φ	$c_F = +0,2 + \alpha/30$
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:

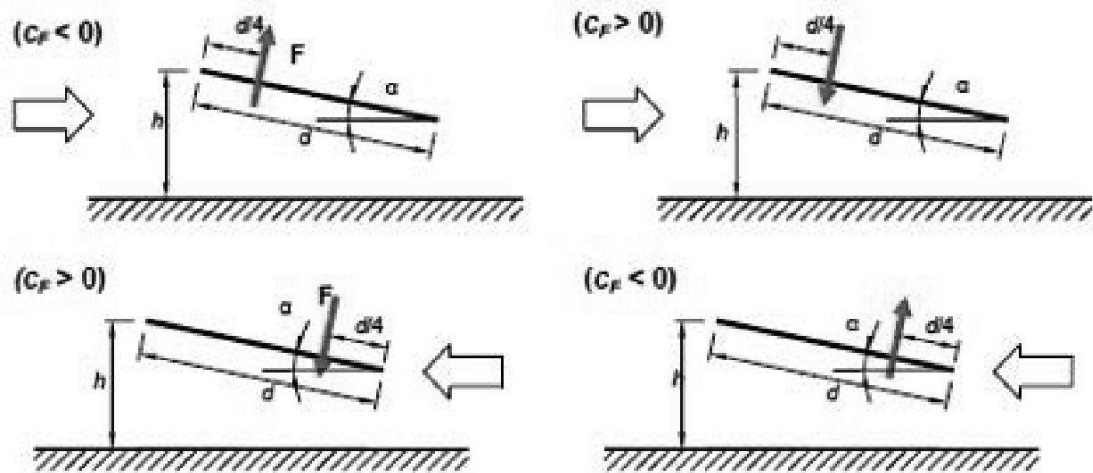


Figura C3.3.22 - Tettoie a semplice falda: posizione del punto di applicazione della forza risultante in funzione della direzione di provenienza del vento e della direzione della forza

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)

ρ = densità dell'aria assunta convenzionalmente costante pari a 1,25 Kg/m³

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° , 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 = 3

Velocità base della zona, $v_{b,0} = 27$ m/s (Tab. 3.3.I)

Altitudine base della zona, $A_0 = 500$ m (Tab. 3.3.I)

Altitudine del sito, $A_s = 43$ m

Velocità di riferimento, $V_b = 27,00$ m/s ($V_b = V_{b.o}$ per $A_s \leq A_o$)

Periodo di ritorno, $T_r = 50$ anni

$C_r = 1$ per $T_r = 50$ anni

Velocità riferita al periodo di ritorno di progetto, $V_r = V_b C_r = 27,00$ 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,...)]

Categoria esposizione: (Entrotterra fino a 30 km dal mare) tipo II

($K_r = 0,19$; $Z_o = 0,05$ m; $Z_{min} = 4$ m)

Coefficiente di esposizione, $C_e = 1,80$

Infine dunque le due velocità considerate saranno:

$V_b = 14$ m/s per $\alpha = \pm 55^\circ$

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

per la configurazione a) $\pm 55^\circ$ e $V_b = 14$ m/s si ha:

$$q_b = \frac{1}{2} * 1,25 * (14 \text{ m/s})^2 = 12,2 \text{ daN/m}^2$$

$$q_p = 12,2 \text{ daN/m}^2 * 1,80 = 22 \text{ daN/m}^2$$

le forze concentrate F saranno pari a:

$$F_1 (c_f < 0, \Phi = 0) = 22 \text{ daN/m}^2 * 261 \text{ m}^2 * (-2,88) = 16537 \text{ daN}$$

$$\text{con } c_f = -0,5 - 1,3 * 55/30 = -2,88$$

e

$$F_2 (c_f > 0, \text{ tutti i } \Phi) = 22 \text{ daN/m}^2 * 261 \text{ m}^2 * (2,03) = 11656,3 \text{ daN}$$

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

dividendo le due forze F_1 ed F_2 per il numero delle aste del modello otteniamo le forze f_1 ed f_2 applicate direttamente sulle aste:

$$f_1 = 16537 \text{ daN} / 55 = 301 \text{ daN}$$

$$f_2 = 11656,3 \text{ daN} / 55 = 212 \text{ daN}$$

per la configurazione b) 0° e $V_b = 27 \text{ m/s}$ si ha:

$$q_b = \frac{1}{2} * 1,25 * (27 \text{ m/s})^2 = 45,6 \text{ daN/m}^2$$

$$q_p = 45,6 \text{ daN/m}^2 * 1,80 = 82,1 \text{ daN/m}^2$$

le forze concentrate F saranno pari a:

$$F_1(c_f < 0, \Phi = 0) = 82,1 \text{ daN/m}^2 * 261 \text{ m}^2 * (-0,5) = 10715 \text{ daN}$$

con $c_f = -0,5$

$$F_2(c_f > 0, \text{tutti i } \Phi) = 82,1 \text{ daN/m}^2 * 261 \text{ m}^2 * (+0,2) = 4285,6 \text{ daN}$$

con $c_f = +0,2$

dividendo le due forze F_1 ed F_2 per il numero delle aste del modello otteniamo le forze f_1 ed f_2 applicate direttamente sulle aste:

$$f_1 = 10715 \text{ daN} / 55 = 195 \text{ daN}$$

$$f_2 = 4285,6 \text{ daN} / 55 = 78 \text{ daN}$$

10.2.3 Calcolo delle azioni da neve

Il carico statico viene determinato in base alla seguente espressione:

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

dove:

μ_i è il coefficiente di forma sulla copertura;

q_{sk} è il valore caratteristico di riferimento del carico neve al suolo [kN/m^2], per un periodo di ritorno T_r di 50 anni;

C_e è il coefficiente di esposizione;

C_t è il coefficiente termico.

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

Zona Neve = II

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

Valore caratteristico del carico al suolo = $q_{sk} C_e = 90 \text{ daN/m}^2$

Copertura ad una falda:

Angolo di inclinazione della falda $\alpha = 55,0^\circ$

$m_1 = 0,13 \Rightarrow Q_1 = 12 \text{ daN/m}^2$

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

Zona Neve = II

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

Valore caratteristico del carico al suolo = $q_{sk} C_e = 90 \text{ daN/mq}$

Copertura ad una falda:

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

$m_1 = 0,80 \Rightarrow Q_1 = 72 \text{ daN/mq}$

10.3 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	0,136 g
F_0	2,599
T_c	0,433 s
S_s	1,489
C_c	1,384
S_T	1,000
q	1,200

Parametri dipendenti

S	1,489
η	0,833
T_B	0,200 s
T_C	0,599 s
T_D	2,142 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)

$$0 \leq T < T_B \quad S_c(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left[\frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_0} \left(1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$$

$$T_B \leq T < T_C \quad S_c(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0$$

$$T_C \leq T < T_D \quad S_c(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left(\frac{T_C}{T} \right)$$

$$T_D \leq T \quad S_c(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left(\frac{T_C \cdot T_D}{T^2} \right)$$

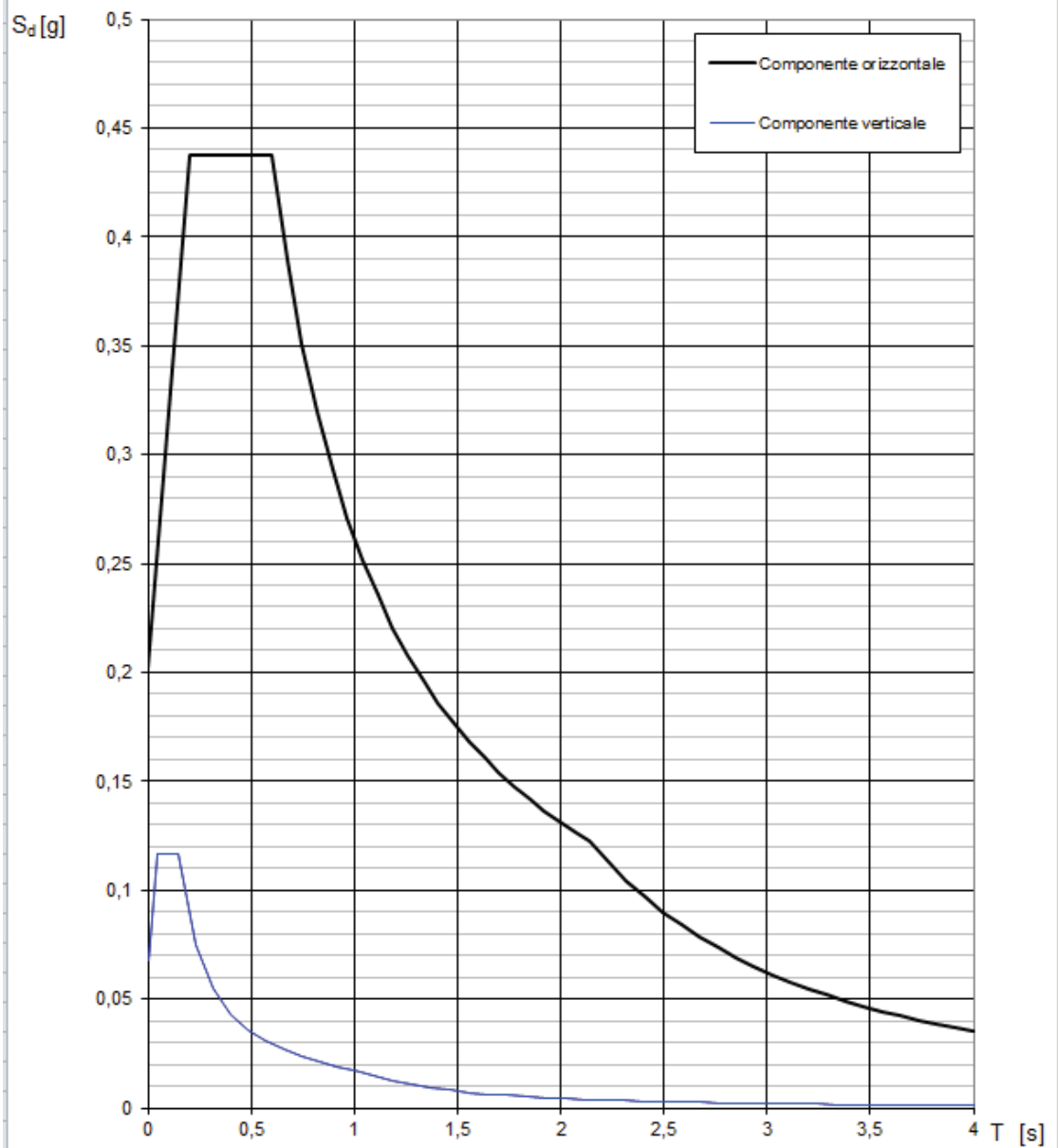
Lo spettro di progetto $S_d(T)$ per le verifiche agli Stati Limite Ultimi è ottenuto dalle espressioni dello spettro elastico $S_c(T)$ sostituendo η con $1/q$, dove q è il fattore di struttura. (NTC-08 § 3.2.3.5)

Punti dello spettro di risposta

	T [s]	Se [g]
	0,000	0,202
$T_B \leftarrow$	0,200	0,437
$T_C \leftarrow$	0,599	0,437
	0,673	0,389
	0,746	0,351
	0,820	0,320
	0,893	0,293
	0,967	0,271
	1,040	0,252
	1,114	0,235
	1,187	0,221
	1,261	0,208
	1,334	0,196
	1,408	0,186
	1,481	0,177
	1,555	0,169
	1,628	0,161
	1,702	0,154
	1,775	0,148
	1,848	0,142
	1,922	0,136
	1,995	0,131
	2,069	0,127
$T_D \leftarrow$	2,142	0,122
	2,231	0,113
	2,319	0,104
	2,408	0,097
	2,496	0,090
	2,585	0,084
	2,673	0,079
	2,762	0,074
	2,850	0,069
	2,939	0,065
	3,027	0,061
	3,115	0,058
	3,204	0,055
	3,292	0,052
	3,381	0,049
	3,469	0,047
	3,558	0,044
	3,646	0,042
	3,735	0,040
	3,823	0,038
	3,912	0,037
	4,000	0,035

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 dell'

Spettri di risposta (componenti orizz. e vert.) per lo stato limite: 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.

11. 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. Inoltre, vista la posizione dell'area di intervento i carichi da neve risultano marginali.

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.

Catania, Febbraio 2021

Il tecnico

Arch. Luca Antonio Tringali