



REGIONE SICILIANA
 PROVINCIA DI CATANIA
 COMUNE DI RAMACCA



PROGETTO IMPIANTO AGRIVOLTAICO DA REALIZZARE NEL COMUNE DI RAMACCA (CT) IN CONTRADA GIUMENTA AL FOGLIO N.36 P.LLA 13, AL FOGLIO N.75 P.LLE 7, 87 E 88, AL FOGLIO N.76 P.LLE 3, 5, 7, 8, 9, 76, 105 E 106, AL FOGLIO N.81 P.LLE 17, 18, 19, 31, 32, 39, 43, 44, 89, 90, 91 E 92, E DELLE RELATIVE OPERE DI CONNESSIONE DA REALIZZARE NEL COMUNE DI RAMACCA (CT) IN CONTRADA ALBOSPINO AL FOGLIO N.76, AVENTE UNA POTENZA PARI A **50.652,00 kWp**, DENOMINATO "**RAMACCA**"

PROGETTO DEFINITIVO

RELAZIONE DI CALCOLO PRELIMINARE
 DELLE STRUTTURE



LIV. PROG.	RIF. COD. PRATICA TERNA	CODICE ELABORATO	TAVOLA	DATA	SCALA
PD	202001120	RS10REL0077A0	Re.8	18.12.2021	-

REVISIONI

REV.	DATA	DESCRIZIONE	ESEGUITO	VERIFICATO	APPROVATO

RICHIEDENTE E PRODUTTORE



HF SOLAR 4 S.r.l. - Viale Francesco Scaduto n°2/D - 90144 Palermo (PA)

ENTE

 FIRMA RESPONSABILE

PROGETTAZIONE



Ing. D. Siracusa
 Ing. A. Costantino
 Ing. C. Chiaruzzi
 Ing. G. Schillaci
 Ing. G. Buffa

Arch. M. Gullo
 Arch. Y. Kokalah
 Arch. S. Martorana
 Arch. F. G. Mazzola
 Arch. A. Calandrino
 Arch. G. Vella

HORIZONFIRM S.r.l. - Viale Francesco Scaduto n°2/D - 90144 Palermo (PA)

PROFESSIONISTA INCARICATO

 FIRMA DIGITALE PROGETTISTA

 FIRMA OLOGRAFA E TIMBRO
 PROFESSIONISTA

Sommario

1.	<u>PREMESSA.....</u>	<u>3</u>
2.	<u>AREA DI INTERVENTO E DESCRIZIONE GENERALE DELL'OPERA</u>	<u>3</u>
3.	<u>NORMATIVE DI RIFERIMENTO</u>	<u>6</u>
4.	<u>ASPETTI GEOTECNICI.....</u>	<u>6</u>
5.	<u>DESCRIZIONE E CARATTERISTICHE GEOMETRICHE DEL TRACKER.....</u>	<u>10</u>
6.	<u>VANI ACCESSORI IN C.A. PREFABBRICATI E IN ACCIAIO ALL'INTERNO DELL'IMPIANTO.....</u>	<u>15</u>
6.3	<u>POWER STATION (A) E CABINA DI RACCOLTA (B).....</u>	<u>15</u>
6.4	<u>CABINE SERVIZI AUSILIARI (C) (DELLA TIPOLOGIA CEP O SIMILARE)</u>	<u>16</u>
6.5	<u>AMENITIES BUILDING.....</u>	<u>18</u>
7	<u>VANI ACCESSORI ED OPERE STRUTTURALI ALL'INTERNO DELLA SOTTOSTAZIONE ELETTRICA.....</u>	<u>20</u>
7.1	<u>LOCALE TECNICO MT.....</u>	<u>20</u>
8	<u>PALI DI ILLUMINAZIONE.....</u>	<u>21</u>
9.	<u>CARATTERISTICHE DEI MATERIALI IMPIEGATI</u>	<u>27</u>
10.	<u>AZIONI SULLE STRUTTURE IN C.A E PARAMETRI SIMICI DI CALCOLO.....</u>	<u>27</u>
10.1	<u>REGOLARITÀ DELLE STRUTTURE E FATTORE DI STRUTTURA</u>	<u>27</u>
10.2	<u>COMBINAZIONI DELLE AZIONI SULLA COSTRUZIONE</u>	<u>28</u>
10.3	<u>DESTINAZIONE D'USO E SOVRACCARICHI VARIABILI DOVUTO ALLE AZIONI ANTROPICHE.....</u>	<u>30</u>
10.4	<u>MODELLO DI CALCOLO</u>	<u>31</u>
10.5	<u>DURABILITÀ.....</u>	<u>32</u>

<u>10.6</u>	<u>MISURA DELLA SICUREZZA</u>	<u>32</u>
<u>10.7</u>	<u>SCHEMATIZZAZIONE DELLA STRUTTURA</u>	<u>32</u>
<u>10.8</u>	<u>COMBINAZIONE DI CALCOLO.....</u>	<u>34</u>
<u>10.9</u>	<u>AZIONI AGENTI SULLE FONDAZIONI</u>	<u>35</u>
<u>10.10</u>	<u>PARAMETRI SISMICI.....</u>	<u>36</u>
<u>11.</u>	<u>ANALISI DEI CARICHI STRUTTURE - TRACKER.....</u>	<u>38</u>
<u>11.1</u>	<u>LOCALIZZAZIONE DELL'INTERVENTO</u>	<u>39</u>
<u>11.2</u>	<u>ANALISI DEI CARICHI</u>	<u>39</u>
<u>11.2.1</u>	<u>CARICHI PERMANENTI G.....</u>	<u>39</u>
<u>11.2.2</u>	<u>CALCOLO DELLE AZIONI DEL VENTO</u>	<u>40</u>
<u>11.2.3</u>	<u>CALCOLO DELLE AZIONI DA NEVE.....</u>	<u>44</u>
<u>11.3</u>	<u>VALUTAZIONE DELL'AZIONE SISMICA.....</u>	<u>45</u>
	<u>CONCLUSIONI.....</u>	<u>48</u>

1. PREMESSA

La presente relazione preliminare di calcolo strutturale riguarda il progetto di un impianto agrivoltaico denominato "Ramacca" e delle relative opere di connessione, rispettivamente in Contrada Giumenta e Contrada Albospino all'interno del territorio comunale di Ramacca (CT).

La relazione ha lo scopo di definire la geometria degli elementi strutturali di sostegno dei pannelli fotovoltaici, delle fondazioni delle cabine e delle opere elettromeccaniche al 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 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

Il progetto riguarda la realizzazione di un impianto agrivoltaico all'interno del territorio comunale di Ramacca (CT) in Contrada Giumenta al foglio n.36 particella 13, al foglio n.75 particelle 7, 87, 88, al foglio n.76 particelle 3, 5, 7, 8, 9, 76, 105, 106 e al foglio n.81 particelle 17, 18, 19, 31, 32, 39, 43, 44, 89, 90, 91, 92, e delle relative opere di connessione da individuate nel comune di Ramacca in Contrada Albospino al foglio n.76 particelle 6 e 91. L'impianto sarà collegato all'area individuata per la sottostazione di utenza attraverso cavidotti interrati che interesseranno solamente viabilità pubblica all'interno del territorio comunale di Ramacca.

L'impianto sarà così suddiviso:

- la parte di **impianto**, sita in territorio comunale di Ramacca in contrada Giumenta, risiederà su 2 appezzamenti di terreno denominati "**Lotto Nord**" e "**Lotto Sud**".

Il **“Lotto Nord”** è posto ad un’altitudine media di circa **225.00 m.s.l.m.**, di forma poligonale irregolare, ha un’estensione di circa **51 Ha**, mentre il **“Lotto Sud”**, sempre di forma poligonale irregolare, ha un’area pari a circa **69 Ha**. Dal punto di vista morfologico, i lotti sono caratterizzati da lievi e medie pendenze che degradano generalmente in direzione Sud e su questo saranno disposte le strutture degli inseguitori solari orientate secondo l’asse Nord-Sud;



Layout dell’impianto sul “Lotto Nord”



Layout dell’impianto sul “Lotto Sud”

- il terreno sito in territorio comunale di Ramacca in contrada Albospino, che accoglierà l'area della **Sottostazione Elettrica di Utenza e la Stazione Elettrica condivisa** tra tutti i produttori, sarà un appezzamento di terreno posto ad un'altitudine media di **245.00 m.s.l.m.**, e si stima che avrà una forma poligonale regolare per un'estensione totale di circa **2 Ha**.



Ubicazione delle aree dell'impianto e della Sottostazione elettrica e Stazione condivisa

Le aree sono facilmente raggiungibili attraverso la viabilità pubblica esistente. La viabilità interna al sito sarà garantita da una rete di strade interne in terra battuta (rotabili/carrabili).

L'area disponibile risulta essere complessivamente circa **110,95 ha** mentre quella di impianto è di circa **90,20 ha**; di questi solo **23,81 ha** circa risultano essere occupati dagli inseguitori (area captante) determinando sulla superficie complessiva assoggettata all'impianto un'incidenza pari a circa il **26,4%**.

Le aree oggetto di studio sono terreni rurali confinanti generalmente con terreni agricoli caratterizzati prevalentemente da colture alternate periodicamente tra foraggio e coltura cerealicola e, nell'area vasta, sono presenti anche degli oliveti e degli agrumeti.

Il terreno contiene al suo interno degli impluvi naturali che non saranno interessati dalla posa in opera delle

cabine e dei tracker monoassiali e su cui sono previste opere di sistemazione attraverso tecniche di ingegneria naturalistica.

Nel complesso, l'assetto morfologico dell'area vasta circostante si presenta abbastanza uniforme in quanto si riscontra la presenza di versanti con medie e forti pendenze.

Il generatore denominato "RAMACCA", il cui numero di rintracciabilità è 202001120, ha una potenza nominale totale pari a **50.652,00 kWp** e sulla base di tale potenza è stato dimensionato tutto il sistema.

Il sito dove risiederà l'impianto agrivoltaico sarà raggiungibile attraverso la viabilità esistente che risulta essere sufficientemente ampia. Il "Lotto Nord" è prospiciente la Strada Statale n. 288, mentre il "Lotto Sud" alla Strada Provinciale n. 182.

L'impianto sarà dotato di viabilità interna e perimetrale, degli accessi carrabili per l'utente, uno spazio carrabile per la fruizione delle cabine di raccolta, locali tecnici e delle Power Station, da recinzione perimetrale e da un sistema di videosorveglianza.

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 geologico-tecnica del Dott. Geol. Ignazio Giuffrè, Termini Imerese (PA) Dicembre 2021)

L'area oggetto del presente studio è localizzata nel settore centro meridionale della Sicilia. In dettaglio ci troviamo su un'area, facente parte del territorio comunale di Ramacca e ricadente nella contrada denominata Giumenta.

Topograficamente, il sito rientra nelle Tavole "Castel di Judica". Inoltre è prevista la realizzazione di una

sottostazione elettrica ricadente in contrada Albospino, in prossimità all'impianto da realizzare.

Il settore in studio ed un suo ampio intorno ricadono nel dominio di avanfossa noto come Bacino di Caltanissetta.

Dall'analisi degli affioramenti geologici nei dintorni dell'area in esame e da quanto osservato in superficie, l'area di stretto interesse è caratterizzata dall'alto verso il basso da:

- Depositi alluvionali recenti (ar).
- Argille scagliose (AS)
- Formazione Polizzi (Ec)
- Marne grigio verdi (OMm)
- Flysch Numidico (OM) (Oligocene superiore Langhiano Inferiore)

La morfologia di un'area è in stretta relazione con la natura dei terreni affioranti e con le vicissitudini tettoniche che, nel tempo, hanno interessato l'intero settore. In generale il settore in studio fa parte dei Monti Erei che costituiscono un insieme di moderati rilievi e di pianori che dalla catena settentrionale dei Nebrodi e delle Madonie si dirigono verso S-SE fino all'Altipiano Ibleo. Queste alture formano una linea di displuvio che attraversa la Sicilia centrale separando i bacini idrografici dello Jonio da quelli del Mediterraneo.

In dettaglio i litotipi che caratterizzano l'area hanno comportamento fisico meccanico differente; si passa da un comportamento plastico delle argille e delle marne argillose ad un comportamento rigido delle arenarie, dei gessi, dei calcari marnosi e dei calcari di base.

L'area in esame è caratterizzata da una superficie topografica "mossa" e a luoghi interessata da brusche variazioni di pendenza con la presenza di pizzi e creste; ciò è dovuto, come detto precedentemente alla diversità litologica dei litotipi che caratterizzano l'area. L'aspetto morfologico così diversificato dell'area in studio, è legato inoltre al netto dimorfismo esistente tra i diversi litotipi presenti.

Nelle formazioni rigide le discontinuità planari, quali la stratificazione e la maglia di fratturazioni legate agli stress tettonici, che hanno nel tempo interessato tali rilievi, vengono poi progressivamente ampliate da lenti processi di degradazione meccanica (degradazione a blocchi) e da fenomeni di alterazione chimica, con formazione di suoli residuali e grossi spessori di detrito. Al contrario, le zone caratterizzate dai litotipi plastici, composte prevalentemente da argille, presentano un'evoluzione geomorfologica prettamente subordinata ai processi di dilavamento del suolo, legati alle acque di precipitazione meteorica, le quali non potendosi infiltrare nel sottosuolo impermeabile per la presenza di detti litotipi, scorrono superficialmente modellando

la superficie topografica.

In generale, quindi, si può affermare che tali tipi di terreni sono soggetti a fenomeni di riassetto di entità variabile, specie nelle zone più acclivi e nelle parti più superficiali.

Durante le fasi di sopralluogo, l'area ove si prevede di realizzare l'impianto fotovoltaico e la sottostazione, risultano interessate da fenomeni erosivi legati alle acque di scorrimento superficiale, che rientrano in una normale dinamica evolutiva dei versanti. Viceversa in alcune aree, esterne all'area d'impianto, sono stati individuati e riportati in apposita carta geomorfologica, movimenti franosi e fenomeni di ruscellamento concentrato.

In sintesi sono stati osservati i seguenti morfotipi:

- *alveo in approfondimento* – si registra un'evoluzione piuttosto rapida in seguito a precipitazioni di forte intensità e lunga durata, in considerazione della natura argillosa del letto dei piccolissimi valloni presenti, caratterizzati da carattere torrentizio, con portate elevate solo nei periodi piovosi; tali dissesti sono localizzati al di fuori dell'impianto da realizzare.
- *frane* – sono stati localizzati dei dissesti superficiali, posti al di fuori del parco da realizzare, classificabili come colamenti lenti e deformazioni superficiali lente.

In ogni caso nelle aree dove verranno realizzati l'impianto e la sottostazione, allo stato attuale non sono stati rinvenuti dissesti in atto che possano enfiare la futura installazione degli stessi.

In merito all'invarianza idraulica è importante sottolineare che, nel progetto in oggetto si prevede di impermeabilizzare solo ed esclusivamente le aree di sedime delle opere di fondazione delle apparecchiature elettromeccaniche e le aree riservate ai locali dalle opere di connessione alla rete; inoltre va sottolineato che la viabilità interna all'impianto non verrà asfaltata o comunque impermeabilizzata.

Inoltre è prevista la piantumazione di asparagi selvatici tra le fila dei tracker, che consentirà di mantenere inalterate le caratteristiche di permeabilità del terreno; quindi la piantumazione delle essenze sopra menzionate e la manutenzione della superficie di impatto dell'acqua nonché la limitazione della superficie captante e dell'accelerazione delle particelle d'acqua, consentirà di arginare sia il fenomeno dello *splash erosion* che quello dello *sheet erosion* connessi alla installazione dei pannelli fotovoltaici.

Dalle considerazioni sin qui esposte, i previsti lavori per la realizzazione di quanto in progetto, non porteranno alcuna modifica al deflusso superficiale delle acque meteoriche nè alcuna interferenza con l'assetto idrogeologico delle acque di circolazione profonda.

Si può concludere pertanto che, non si ravvede la possibilità del manifestarsi di condizioni di pericolosità idraulica con effetti diretti sia sui manufatti che sulle aree interessate dalle opere sia sui corpi recettori posti a valle del progetto. Pertanto, vista la sostanziale assenza di modifiche geomorfologiche, la mancanza di modifica delle aree dei bacini scolanti e l'inalterata permeabilità delle aree oggetto di installazione dei pannelli fotovoltaici, si può concludere che il progetto garantisce un risultato di invarianza idraulica sui recettori naturali posti a valle delle opere.

In ultimo, è stato preso in esame il P.A.I. (Piano per l'Assetto Idrogeologico) relativo al fiume Simeto (094), e area tra i bacini del fiume Simeto, e del fiume San Leonardo (094A), lago di Pergusa (094B) e lago di Maletto (94C), redatto dall'Assessorato Regionale Territorio e Ambiente, approvato con Decreto Presidenziale n. 538 del 20/09/2006 e successive modifiche ed integrazioni, e la zona di stretto interesse, dal punto di vista geomorfologico, non ricade ne in aree in dissesto, ne in aree a rischio, ne in aree a pericolosità, ai sensi del predetto P.A.I..

Pertanto, da quanto osservato, si desume che l'area è stabile e che l'installazione dei pannelli fotovoltaici e delle opere accessorie, non comporterà l'innescarsi di fenomeni di instabilità anche localizzati.

Dal punto di vista idraulico, una piccolissima porzione dell'area posta a sud del campo SUD, ricade in area a pericolosità P1 e P2 e rischio R1. In tale area tutte le strutture verranno ubicate ad una quota maggiore di 100 cm, rispetto all'attuale quota del piano di campagna.

Dal punto di vista della "permeabilità", cioè dell'attitudine che hanno le rocce nel lasciarsi attraversare dalle acque di infiltrazione efficace, si possono distinguere vari tipi di rocce:

- rocce impermeabili
- rocce permeabili

Inoltre, in alcuni litotipi si manifesta una permeabilità "mista", dovuta al fatto che rocce aventi una permeabilità primaria, sottoposte a particolari genesi, acquistano anche quella secondaria.

Le formazioni litologiche affioranti nell'area rilevata, in base alle loro caratteristiche strutturali ed al loro rapporto con le acque di precipitazione, sono state classificate in una scala di permeabilità basata sulle seguenti tre classi:

1. rocce permeabilità per porosità;
2. rocce permeabili per fratturazione, fessurazione /o carsismo

3. rocce impermeabili.

Per quanto riguarda le rocce ricadenti nella prima classe (rocce permeabili per porosità), sono stati inclusi i Depositi alluvionali recenti (ar).

Sono stati inclusi nella seconda classe (rocce permeabili per fessurazione, fratturazione e carsismo), i calcari marnosi della Formazione Polizzi (Ec).

Sono state incluse nella terza classe (rocce impermeabili), le Argille scagliose (AS), il Flysch Numidico (OM) e le Marne grigio verdi (OMm).

Si sottolinea infine che nessuna sorgente ricade nelle vicinanze del parco fotovoltaico da realizzare e si può inoltre asserire che l'intero impianto da non turberà l'equilibrio idrico sotterraneo e che le opere di fondazione non interferiranno con le eventuali falde presenti.

Da quanto osservato dal rilevamento geologico, e da quanto rilevato durante l'esecuzione delle indagini geognostiche, si può affermare che nell'area ove si prevede di realizzare l'impianto, affiorano i seguenti litotipi:

- Depositi alluvionali recenti (ar)
- Formazione Polizzi (Ec)
- Argille scagliose (AS),
- Flysch Numidico (OM),
- Marne grigio verdi (OMm)

L'elaborazione MASW delle due stese sismiche eseguita ha definito un valore della velocità Vs30 dei terreni pari a **331 m/s** per MASW_1 e **323 m/s** per MASW_2.

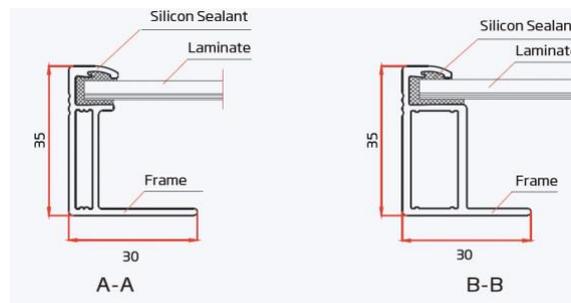
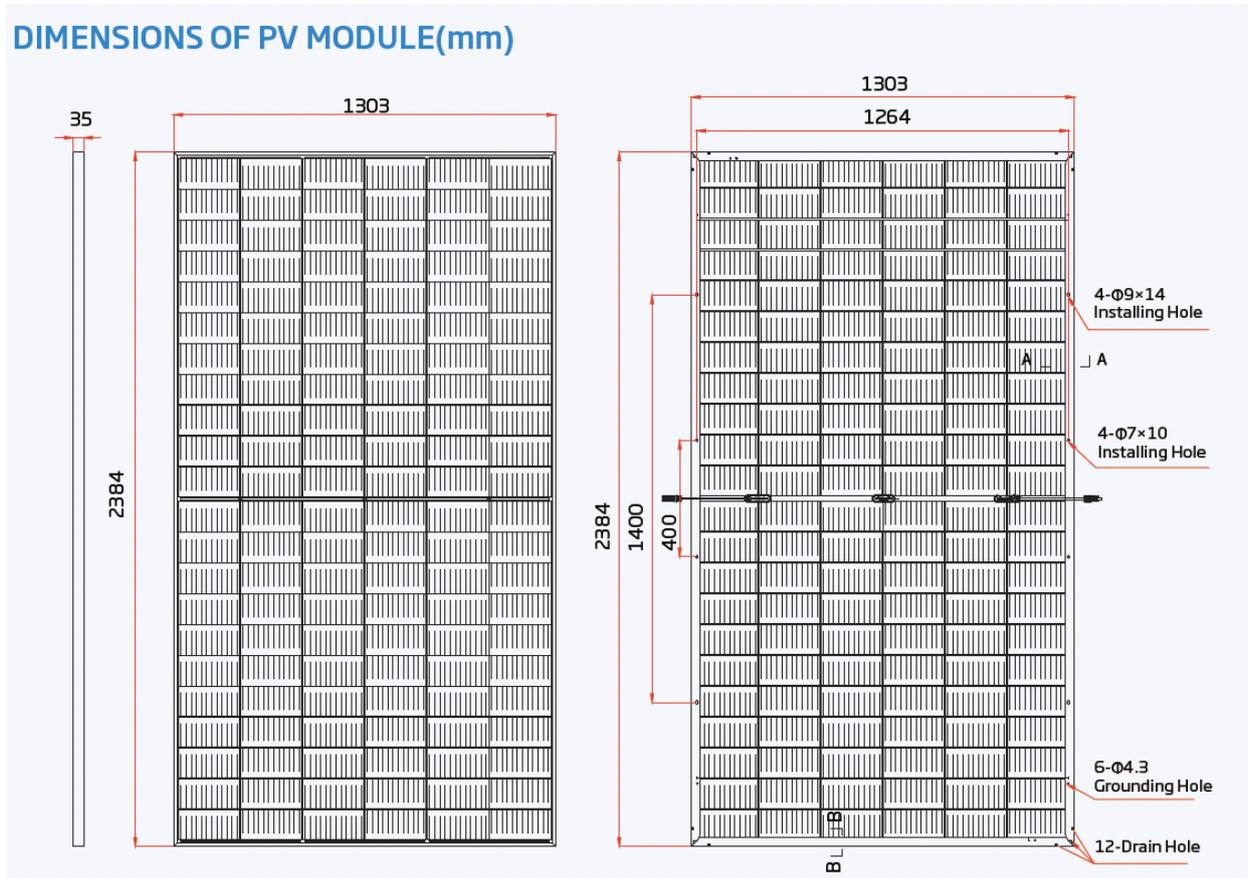
Pertanto, ai sensi dell'Ordinanza n. 3274/2005 del Presidente del Consiglio dei Ministri ripresa e completata con la O.P.C.M. n. 3519/2006 e successivamente con il D.M. 17.01.2018, i terreni in esame rientrano nel tipo di **suolo C** (Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s).

5. DESCRIZIONE E CARATTERISTICHE GEOMETRICHE DEL TRACKER

I moduli fotovoltaici previsti nel sito di progetto sono i Vertex Bifacial Dual GlassTSM-DEG21C.20 da 670 W

ed hanno dimensioni di 1303 mm x 2384 mm; questi ultimi sono montati su profili omega collegati al sistema di sostegno ad inseguimento solare monoassiale denominato tracker orientato in direzione Nord-Sud. I moduli sono montati sulla struttura lungo il lato lungo su un'unica fila ed hanno la possibilità di ruotare nella direzione Est-Ovest con inclinazione massima di $\pm 60^\circ$ in modo da ottimizzare la produzione di energia elettrica.

DIMENSIONS OF PV MODULE(mm)



Dettagli del pannello fotovoltaico

ELECTRICAL DATA (STC)

Peak Power Watts- P_{MAX} (Wp)*	635	640	645	650	655	660	665	670
Power Tolerance- P_{MAX} (W)	0 ~ +5							
Maximum Power Voltage- V_{MPP} (V)	37.1	37.3	37.5	37.7	37.9	38.1	38.3	38.5
Maximum Power Current- I_{MPP} (A)	17.15	17.19	17.23	17.27	17.31	17.35	17.39	17.43
Open Circuit Voltage- V_{OC} (V)	44.9	45.1	45.3	45.5	45.7	45.9	46.1	46.3
Short Circuit Current- I_{SC} (A)	18.21	18.26	18.31	18.35	18.40	18.45	18.50	18.55
Module Efficiency η_m (%)	20.4	20.6	20.8	20.9	21.1	21.2	21.4	21.6

STC: Irradiance 1000W/m², Cell Temperature 25°C, Air Mass AM1.5. *Measuring tolerance: ±3%.

Electrical characteristics with different power bin (reference to 10% Irradiance ratio)

Total Equivalent power - P_{MAX} (Wp)	680	685	690	696	701	706	712	717
Maximum Power Voltage- V_{MPP} (V)	37.1	37.3	37.5	37.7	37.9	38.1	38.3	38.5
Maximum Power Current- I_{MPP} (A)	18.35	18.39	18.44	18.48	18.52	18.56	18.60	18.63
Open Circuit Voltage- V_{OC} (V)	44.9	45.1	45.3	45.5	45.7	45.9	46.1	46.3
Short Circuit Current- I_{SC} (A)	19.48	19.54	19.59	19.63	19.69	19.74	19.79	19.84
Irradiance ratio (rear/front)	10%							

Power Bifaciality:70±5%.

ELECTRICAL DATA (NOCT)

Maximum Power- P_{MAX} (Wp)	480	484	488	492	495	499	504	508
Maximum Power Voltage- V_{MPP} (V)	34.6	34.7	34.9	35.1	35.2	35.4	35.6	35.7
Maximum Power Current- I_{MPP} (A)	13.90	13.94	13.98	14.01	14.05	14.10	14.16	14.20
Open Circuit Voltage- V_{OC} (V)	42.3	42.5	42.7	42.9	43.0	43.2	43.4	43.6
Short Circuit Current- I_{SC} (A)	14.67	14.71	14.75	14.79	14.83	14.87	14.91	14.95

NOCT: Irradiance at 800W/m², Ambient Temperature 20°C, Wind Speed 1m/s.

MECHANICAL DATA

Solar Cells	Monocrystalline
No. of cells	132 cells
Module Dimensions	2384×1303×35 mm (93.86×51.30×1.38 inches)
Weight	38.7 kg (85.3 lb)
Front Glass	2.0 mm (0.08 inches), High Transmission, AR Coated Heat Strengthened Glass
Encapsulant material	POE/EVA
Back Glass	2.0 mm (0.08 inches), Heat Strengthened Glass (White Grid Glass)
Frame	35mm(1.38 inches) Anodized Aluminium Alloy
J-Box	IP 68 rated
Cables	Photovoltaic Technology Cable 4.0mm ² (0.006 inches ²), Portrait: 280/280 mm(11.02/11.02 inches) Length can be customized
Connector	MC4 EVO2 / TS4*

*Please refer to regional datasheet for specified connector.

TEMPERATURE RATINGS

NOCT (Nominal Operating Cell Temperature)	43°C (±2°C)
Temperature Coefficient of P_{MAX}	-0.34%/°C
Temperature Coefficient of V_{OC}	-0.25%/°C
Temperature Coefficient of I_{SC}	0.04%/°C

MAXIMUM RATINGS

Operational Temperature	-40~+85°C
Maximum System Voltage	1500V DC (IEC)
	1500V DC (UL)
Max Series Fuse Rating	35A

WARRANTY

12 year Product Workmanship Warranty
30 year Power Warranty
2% first year degradation
0.45% Annual Power Attenuation

(Please refer to product warranty for details)

PACKAGING CONFIGURATION

Modules per box: 31 pieces
Modules per 40' container: 558 pieces

Dettagli del pannello fotovoltaico

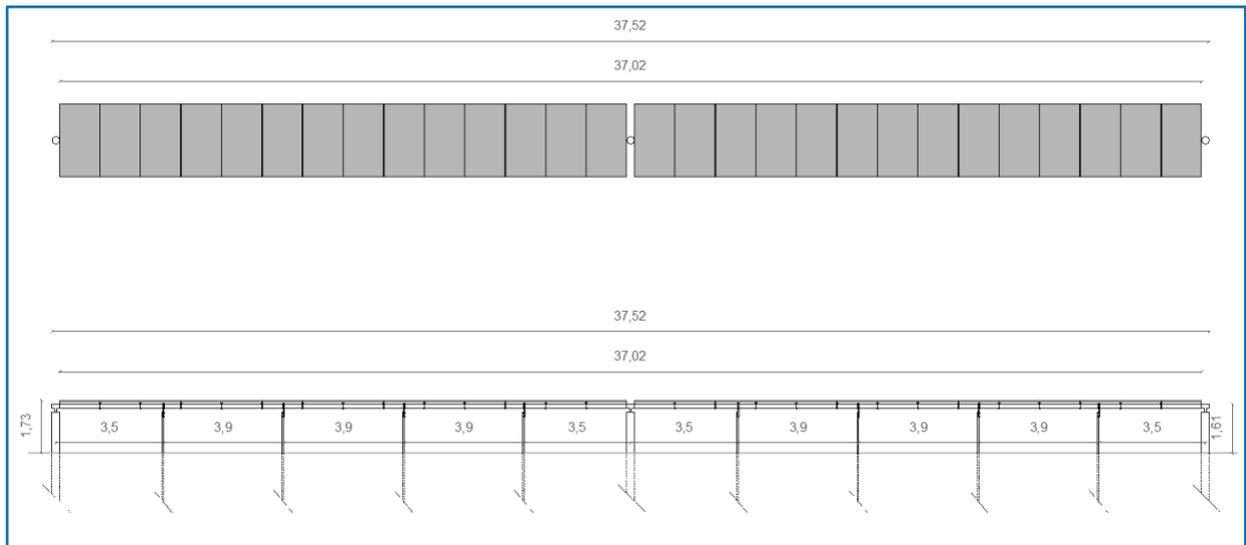
La struttura di sostegno è costituita da profilati metallici in acciaio opportunamente dimensionati; i profili omega si attestano orizzontalmente ad un'altezza di circa 1,75 m circa in fase di riposo, mentre in fase di esercizio raggiungono una quota massima di circa 2,70 metri circa di altezza rispetto alla quota del terreno. L'asse di rotazione del tracker è uno scatolare in acciaio e il suo movimento è generato dalla presenza di uno o più 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.

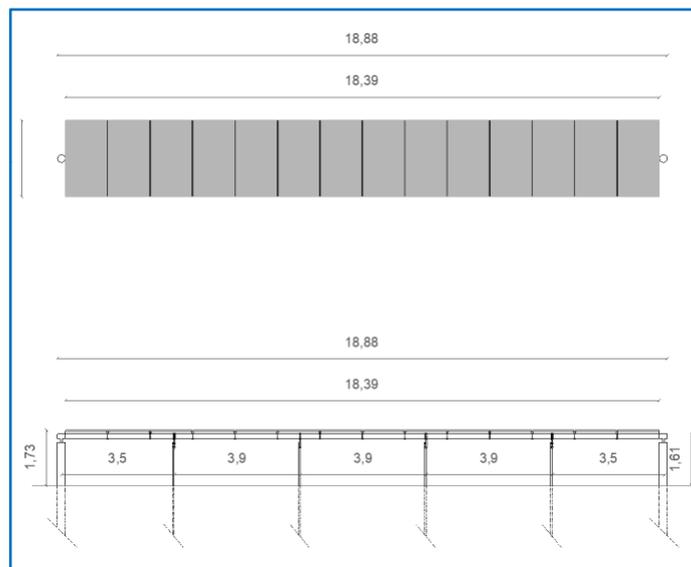
In fase esecutiva l'inseguitore potrà essere sostituito da altri analoghi modelli, anche di altri costruttori concorrenti (ad es. Convert, PVH, Nclave, ZIMMERMANN, ed altri) in relazione allo stato dell'arte della tecnologia al momento della realizzazione del Parco, con l'obiettivo di minimizzare l'impronta al suolo a parità di potenza installata.

Saranno posizionate due tipologie di tracker:

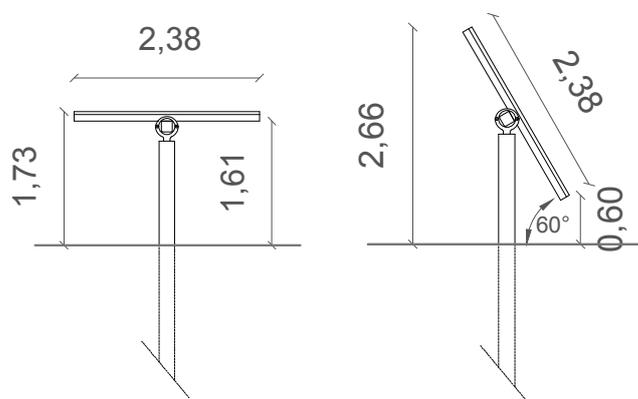
- Tracker da 28 moduli di dimensioni in pianta di 37,52x2,38 m;
- Tracker da 14 moduli di dimensioni in pianta di 18,88x2,38m;



Vista dall'alto e in prospettiva nella configurazione orizzontale del tracker da 28 moduli



Vista dall'alto e in prospettiva nella configurazione orizzontale del tracker da 14 moduli



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.

Data la similarità delle due tipologie in termini di luci, sbalzi ed elementi strutturali, il calcolo verrà effettuato sul tracker da 28 moduli poichè di dimensioni maggiori rispetto a quello da 14 e verterà sullo studio delle due configurazioni:

- **configurazione $\alpha = 60,0^\circ$**
- **configurazione $\alpha = 0,0^\circ$**

L'impianto è stato suddiviso in **11 sottocampi**; ognuno fa capo ad un gruppo di conversione e trasformazione (Power Station), le cui caratteristiche saranno di seguito riportate. Verranno posizionati complessivamente **75600 moduli** fotovoltaici e **2700 stringhe** fotovoltaiche.

Secondo lo studio evidenziato nella relazione geologica, ***“dal punto di vista idraulico, una piccolissima porzione dell'area posta a sud del campo SUD, ricade in area a pericolosità P1 e P2 e rischio R1. In tale area tutte le strutture verranno ubicate ad una quota maggiore di 100 cm, rispetto all'attuale quota del piano di campagna”***; nell'area in questione saranno posizionate, come da progetto, alcune stringhe di tracker che avendo come altezza massima 1,75 m in fase di riposo non verranno sopraelevate. Queste ultime, in caso di fenomeno idrogeologico, manterranno la loro configurazione orizzontale.

6. VANI ACCESSORI IN C.A. PREFABBRICATI E IN ACCIAIO ALL'INTERNO DELL'IMPIANTO

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

E' prevista la realizzazione di:

- a. n.11 power station, dimensioni **3 x 12 x 3** m;
- b. n. 2 cabina di raccolta del tipo container, di dimensioni **12 x 3 x 3** m;
- c. n.11 cabine dei servizi ausiliari, dimensioni **2,5 x 3,28 x 2,76** m;
- d. n. 2 locale tecnico utente denominato "Amenities Building", di dimensioni **16,5 x 15 x 3** m;

6.3 Power Station (a) e Cabina di Raccolta (b)

Il Container adibito a Power Station avrà le seguenti dimensioni:

Larghezza: 2,43 m

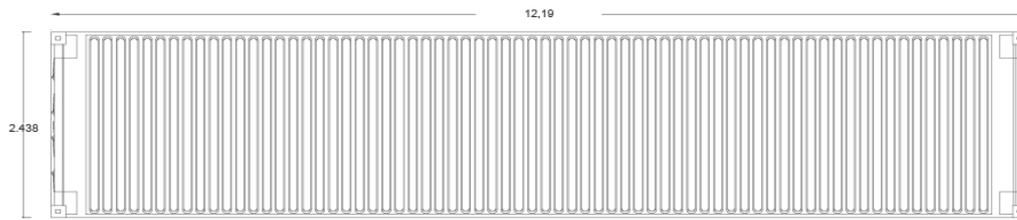
Lunghezza: 12,19 m

Altezza: 2,92 m

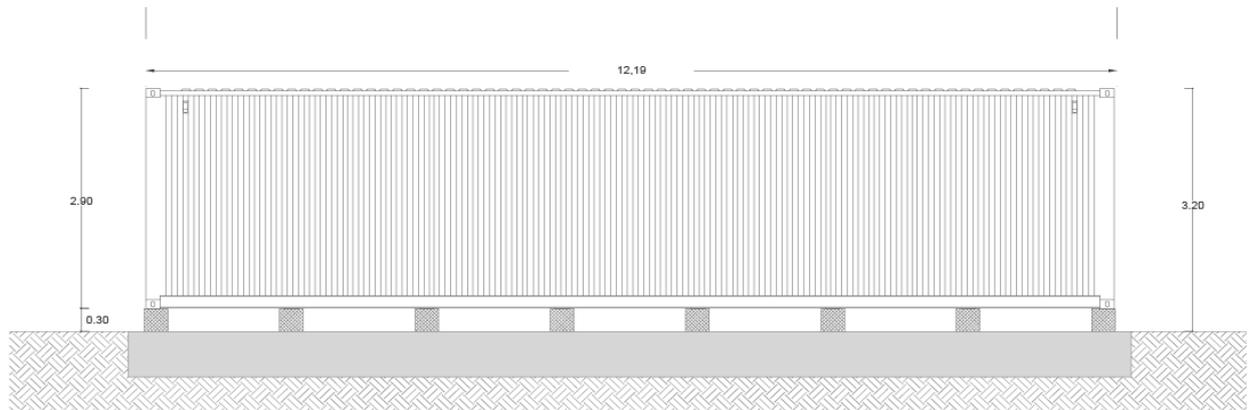
Superficie complessiva: 29,62 m²

MV POWER STATION
4400 / 4950 / 5000 / 5500 / 6000

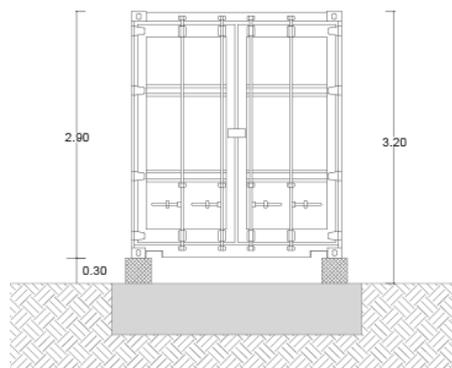




Pianta copertura del container



Prospetto longitudinale



Prospetto trasversale

6.4 Cabine Servizi ausiliari (c) (della tipologia CEP o similare)

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 impermeabilizzanti; 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.

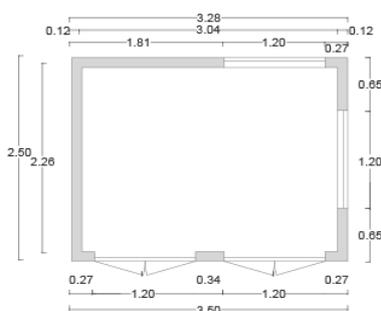
La cabina per i servizi ausiliari di campo avrà le seguenti dimensioni:

Larghezza: 2,50 m

Lunghezza: 3,28 m

Altezza: 2,55 m

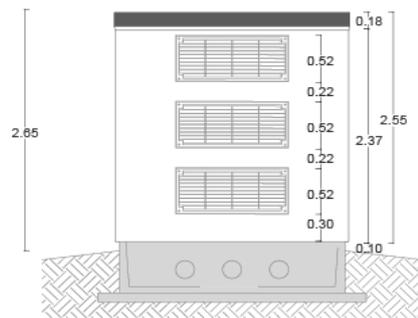
Superficie complessiva: 8,2 m²



Pianta della Cabina



Prospetto longitudinale



Prospetto trasversale

6.5 Amenities building

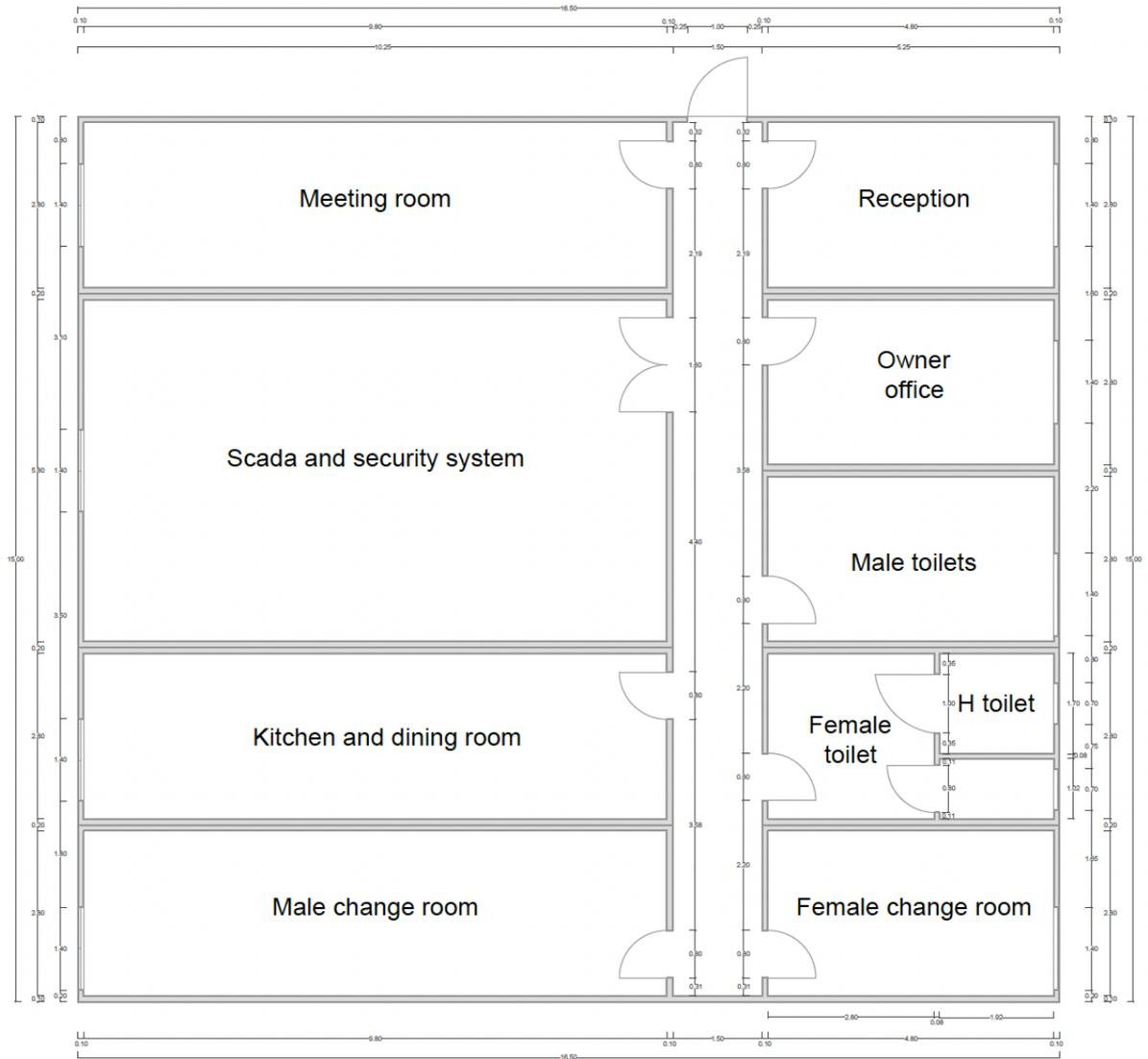
Il Locale Tecnico Utente Amenities Building avrà le seguenti dimensioni:

Larghezza: 15,00 m

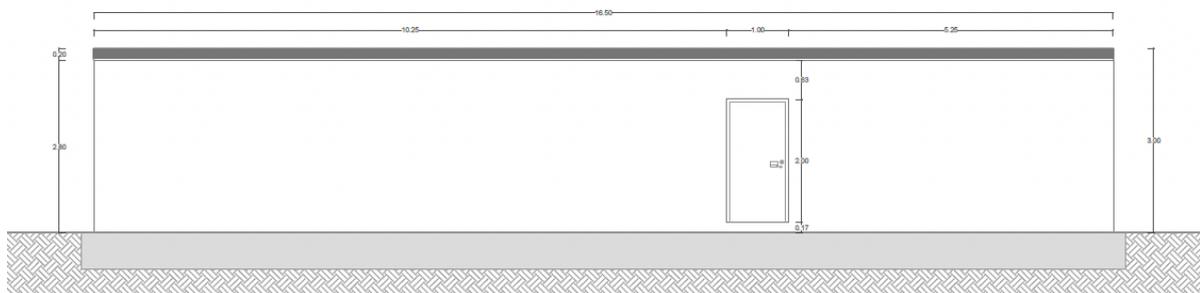
Lunghezza: 16,50 m

Altezza: 3,00 m

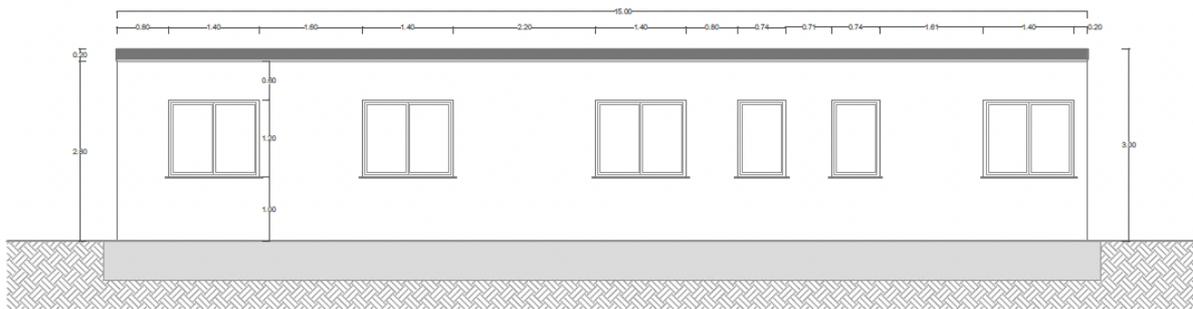
Superficie complessiva: 247,5 m²



Pianta del Locale Tecnico



Prospetto longitudinale



Prospetto trasversale

7 VANI ACCESSORI ED OPERE STRUTTURALI ALL'INTERNO DELLA SOTTOSTAZIONE ELETTRICA

Lo Stallo della Sottostazione di Utenza di dimensioni pari a circa 30x60m conterrà il **Locale Tecnico di MT** e lo **Stallo di Trasformazione MT/AT** in aria.

7.1 Locale Tecnico MT

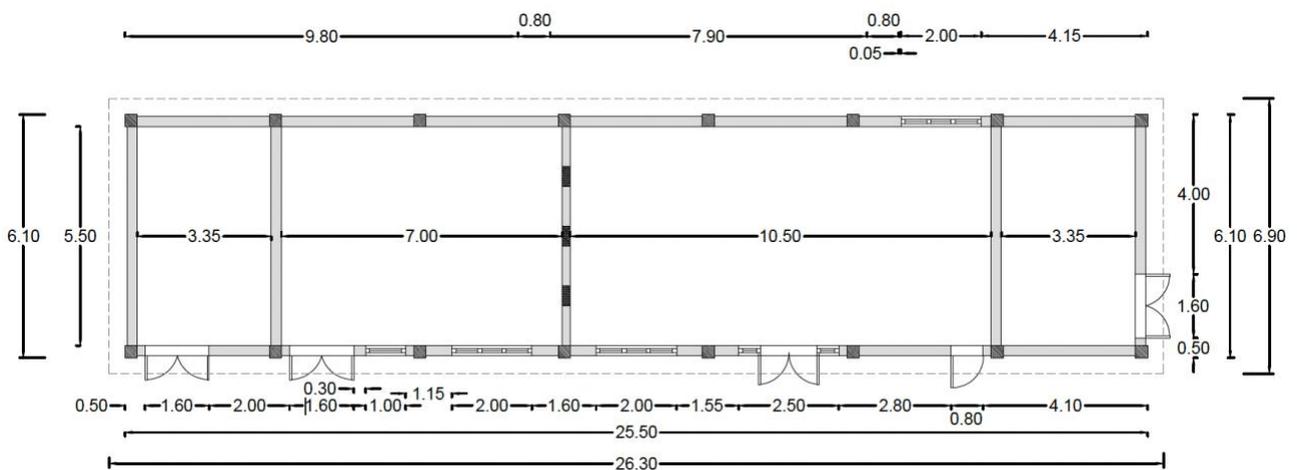
Il fabbricato verrà realizzato in c.a. posato in opera e avrà le seguenti dimensioni:

Larghezza: 6,10 m

Lunghezza: 25,50 m

Altezza: 3,80 m

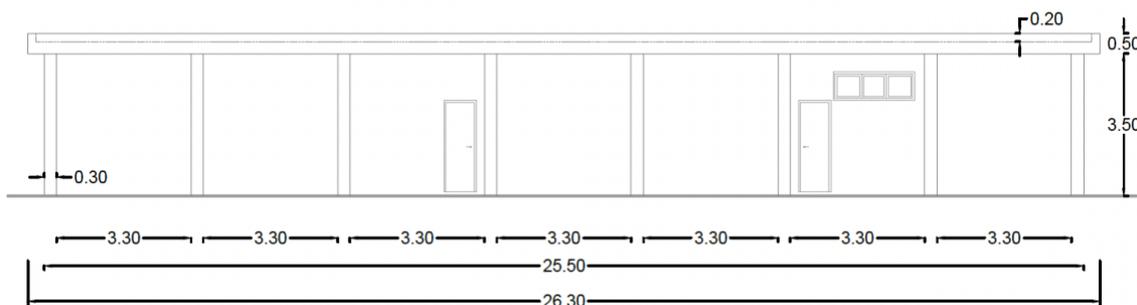
Superficie complessiva: 155,55 m²



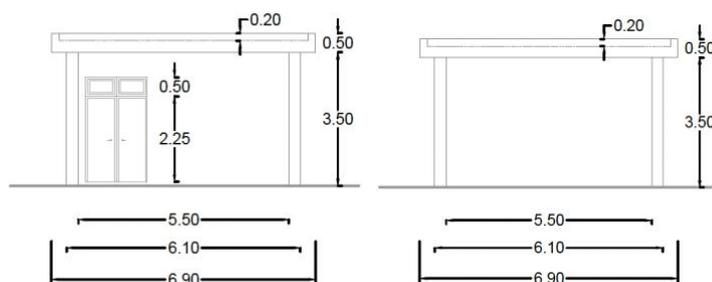
Pianta del Locale Tecnico



Prospecto longitudinale 1



Prospecto longitudinale 2



Prospetti trasversali

8 PALI DI ILLUMINAZIONE

Il progetto dell'impianto di illuminazione dell'impianto agrivoltaico, è stato redatto in conformità alle vigenti normative regionali inerenti all'inquinamento luminoso.

In particolare lungo il perimetro dell'impianto d'utenza, per questioni di sicurezza e protezione, verrà realizzato un impianto di illuminazione perimetrale mediante dei proiettori posti perimetralmente. Si utilizzeranno proiettori a LED, ciascuno montato sulla testa di un palo in acciaio a tronco conico di altezza totale 4,50 m e altezza totale fuori terra di 4,00m.

I pali saranno ancorati al terreno mediante un plinto di fondazione in calcestruzzo di dimensioni massime

pari a 1mx0,8mx0,7m. Al centro di questo plinto sarà lasciato un foro di diametro pari a 200 mm, entro cui sarà issato il palo mediante costipazione di sabbia fine fino ad una certa quota e per la parte rimanente mediante colata di cemento.

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:

- qp = pressione cinetica di picco del vento;
- z = quota sul suolo;
- l = dimensione di riferimento associata al coefficiente di forza;
- cf_x = 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 :

$$V_R = V_N * C_U$$

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:

$$T_1 = C_1 * H^{3/4}$$

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

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

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 valori 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 capacita 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.

9. 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.= $78,5 \text{ kN/m}^3$; $G=84000 \text{ N/mm}^2$);

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

10.1 Regolarità delle strutture e fattore di struttura

Per quanto riguarda il valore del fattore di struttura da utilizzare per il calcolo si adotterà un fattore di comportamento differente tra le strutture intelaiate in acciaio e le strutture intelaiate in c.a, 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.

10.2 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	Y0j	Y1j	Y2j
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.I 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.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:

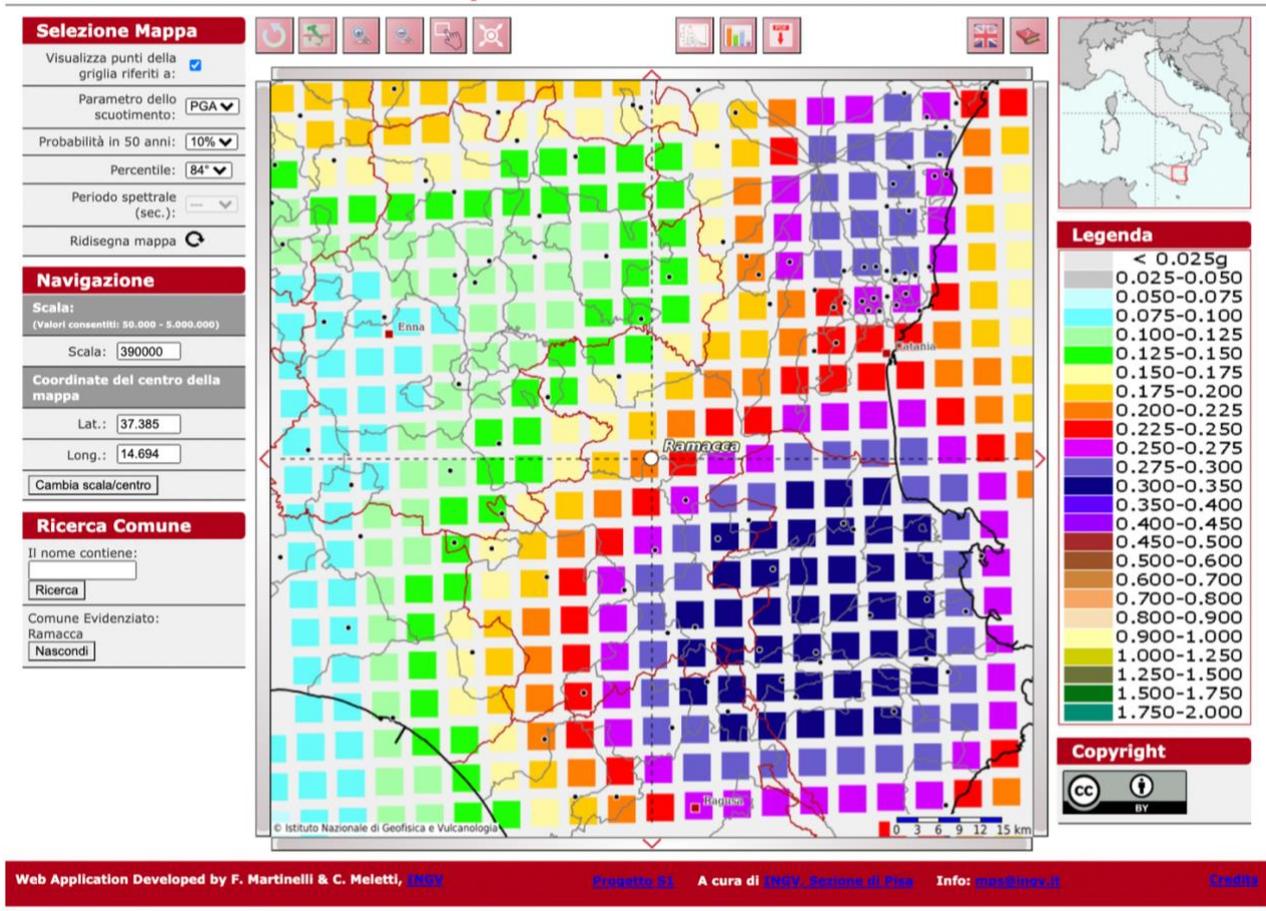
- *Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV);*

- *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 .

10.3 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. 2018)

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	$\geq 6,00$ —	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 secondo categoria di appartenenza —
* 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 saranno 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.

10.4 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 incoerente 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.

10.5 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.

10.6 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.

10.7 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. In particolare le travi ed i pilastri saranno schematizzate con elementi trave a due nodi deformabili assialmente, a flessione e taglio utilizzando funzioni di forma cubiche di Hermite, modello finito che ha la caratteristica di fornire la soluzione esatta in campo elastico lineare per cui non necessita di ulteriori suddivisioni interne degli elementi strutturali.

Gli elementi finiti a due nodi possono essere utilizzati in analisi di tipo non lineare potendo modellare non linearità sia di tipo geometrico che meccanico con i seguenti modelli:

Matrice geometrica per gli effetti del II° ordine;

Non linearità meccanica per comportamento assiale solo resistente a trazione o compressione;

Non linearità meccanica di tipo elasto-plastica con modellazione a plasticità concentrata e duttilità limitata con controllo della capacità rotazionale ultima delle cerniere plastiche.

Per gli elementi strutturali bidimensionali (pareti a taglio, setti, nuclei irrigidenti, piastre o superfici generiche) si utilizzerà un modello finito a 3 o 4 nodi di tipo shell che modella sia il comportamento membranale (lastra) che flessionale (piastra). Tale elemento finito di tipo isoparametrico sarà modellato con funzioni di forma di tipo polinomiale che rappresentano una soluzione congruente ma non esatta nello spirito del metodo FEM.

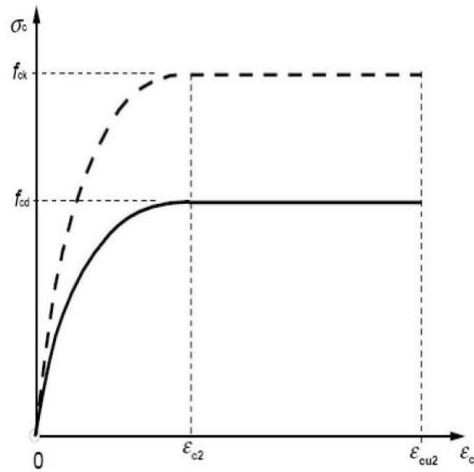
Il metodo è efficiente per il calcolo degli spostamenti nodali ed è sempre rispettoso dell'equilibrio a livello nodale con le azioni esterne. Le verifiche saranno effettuate sia direttamente sullo stato tensionale ottenuto, per le azioni di tipo statico e di esercizio. Per le azioni dovute al sisma (ed in genere per le azioni che provocano elevata domanda di deformazione anelastica), le verifiche saranno effettuate sulle risultanti (forze e momenti) agenti globalmente su una sezione dell'oggetto strutturale (muro a taglio, trave accoppiamento, etc..). Nel modello si terranno in conto i disassamenti tra i vari elementi strutturali schematizzandoli come vincoli cinematici rigidi. La presenza di orizzontamenti sarà tenuta in conto o con vincoli cinematici rigidi o con modellazione della soletta con elementi SHELL.

L'analisi delle sollecitazioni sarà condotta in fase elastica lineare tenendo conto eventualmente degli effetti del secondo ordine.

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.

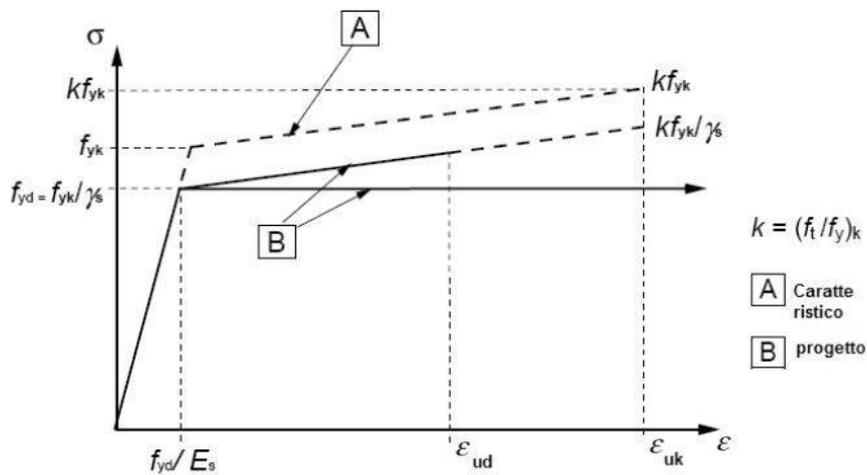
Il modello di calcolo terrà conto dell'interazione suolo-struttura schematizzando le fondazioni superficiali (con elementi plinto, trave o piastra) su suolo elastico alla Winkler.

Per le verifiche sezionali saranno utilizzati i seguenti legami:



Legame costitutivo di progetto del calcestruzzo

Il valore ϵ_{c2} 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.

10.8 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_{kj} 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.

10.9 Azioni Agenti Sulle Fondazioni

Per la valutazione preliminare delle azioni di progetto (E_d) in fondazione saranno 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:

- *Ed.* azione di progetto
- *G1* peso proprio degli elementi strutturali
- *γG_1* coefficiente parziale di sicurezza (A1, A2 - punto 2.6.1 delle NTC 2018 e tab.2.6.I)
- *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

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* = resistenza globale del sistema γR

10.10 Parametri sismici

(stralcio della relazione geologico-tecnica del Dott. Geol. Ignazio Giuffrè, Termini Imerese (PA) Dicembre 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 equivalente di propagazione delle onde di taglio, $V_{S,eq}$ (in m/s), definita dall'espressione:

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

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 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:

<i>Categoria</i>	<i>Descrizione</i>
<i>A</i>	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.
<i>B</i>	Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.
<i>C</i>	Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.
<i>D</i>	Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.
<i>E</i>	Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.

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

L'elaborazione MASW delle due stese sismiche eseguita ha definito un valore della velocità Vs30 dei terreni pari a **331 m/s** per MASW_1 e **323 m/s** per MASW_2.

Pertanto, ai sensi dell'Ordinanza n. 3274/2005 del Presidente del Consiglio dei Ministri ripresa e completata con la O.P.C.M. n. 3519/2006 e successivamente con il D.M. 17.01.2018, i terreni in esame rientrano nel tipo di **suolo C** (Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s).

Il territorio di Ramacca, da quanto riportato nella Gazzetta Ufficiale della Repubblica n. 105 del 08.05.2003 - supplemento ordinario n. 72, ai sensi dell'Ordinanza n. 3274 del 20 Marzo 2003, "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica" è stato definito di **classe "2"**.

11. 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 sarà effettuata sulle dimensioni definitive.

Lo studio sarà effettuato sul tracker da 28 pannelli perché di dimensione maggiore rispetto a quello da 14, mantenendo comunque le stesse caratteristiche di utilizzo e di interesse tra gli elementi.

11.1 Localizzazione dell'intervento

Provincia: CATANIA

Regione: SICILIA

Coordinate GPS:

Latitudine : 37°27'28.8"N

Longitudine: 14°36'18.72"E

Altitudine s.l.m.: 225 m

11.2 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.

11.2.1 Carichi permanenti G

Nel modello di calcolo i carichi permanenti 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.

11.2.2 Calcolo delle azioni 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..

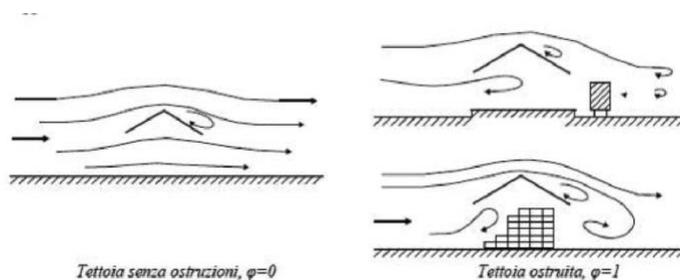
Al paragrafo C3.3.8.2, vengono forniti i criteri per valutare le azioni globali del vento sulle coperture in cui lo spazio sottostante non sia delimitato in maniera permanente da pareti. In tale paragrafo l'azione del vento sulle tettoie è schematizzata attraverso forze F risultanti dal campo di pressioni 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 $\Phi=1$.

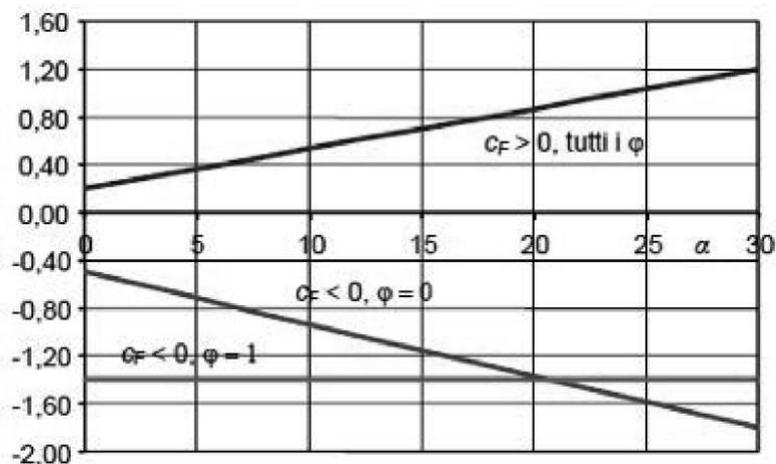


Figura C3.3.21 - Coefficienti di pressione complessiva per tettoie a semplice falda

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:

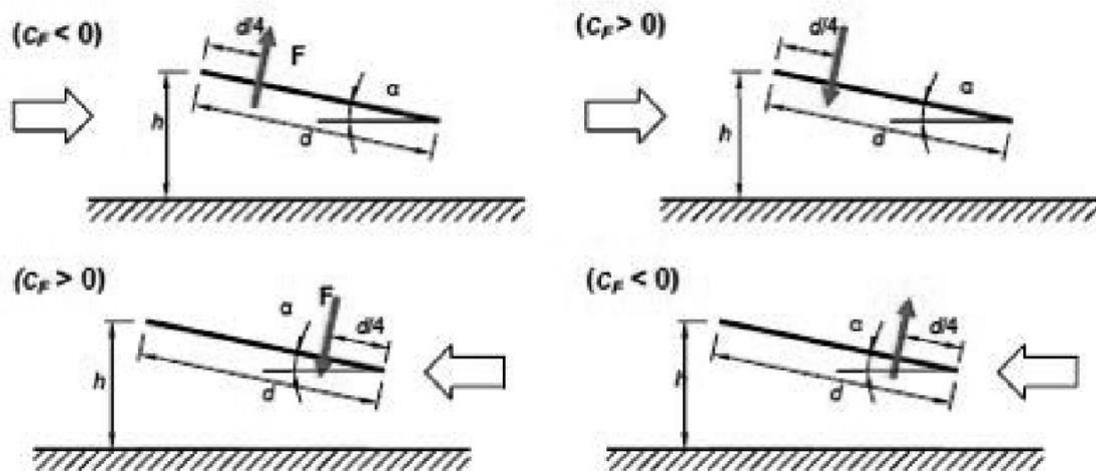


Figura C3.3.22 - Tettoie a semplice falda: posizione del punto di applicazione della forza risultante in funzione della direzione di provenienza del vento e della direzione della forza

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 sarà effettuata considerando due modelli di calcolo, ovvero un tracker nella sua configurazione orizzontale $\alpha = 0,0^\circ$ e uno nella configurazione di inclinazione massima $\alpha = \pm 60^\circ$.

Nelle due configurazioni del tracker in esercizio, ovvero orizzontale e a 60° , 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, $v_{b,0} = 28,0$ m/s (Tab. 3.3.I)

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

Altitudine del sito, $A_s = 225$ m

$K_a = 0,360$ (Tab. 3.3.I)

Velocità di riferimento, $V_b = 28,00$ 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, $V_r = V_b C_r = 28,00$ 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 500 m di altitudine) 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 $\alpha = \pm 60^\circ$

$V_b = 28,0$ m/s per $\alpha = 0,0^\circ$

per la configurazione $\alpha = \pm 60^\circ$ 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:

$$F_1 (c_f < 0, \Phi = 0) = 22 \text{ daN/m}^2 * 88,1 \text{ m}^2 * (-3,1) = 6008,5 \text{ daN}$$

$$\text{con } c_f = -0,5 - 1,3 * 60/30 = -3,1$$

e

$$F_2 (c_f > 0, \text{ tutti i } \Phi) = 22 \text{ daN/m}^2 * 88,1 \text{ m}^2 * (+2,2) = 4264,1 \text{ daN}$$

$$\text{con } c_f = +0,2 + 60/30 = +2,2$$

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:

$$f_1 = 6008,5 \text{ daN} / 30 = \mathbf{200,3 \text{ daN}}$$

$$f_2 = 4264,1 \text{ daN} / 30 = \mathbf{142,2 \text{ daN}}$$

per la configurazione $\alpha = 0,0^\circ$ e $V_b = 28,0$ m/s si ha:

$$q_b = \frac{1}{2} * 1,25 * (28,0 \text{ m/s})^2 = 49 \text{ daN/m}^2$$

$$q_p = 49 \text{ daN/m}^2 * 1,80 = 88,2 \text{ daN/m}^2$$

le forze concentrate F saranno pari a:

$$F_1(cf < 0, \Phi=0) = 88,2 \text{ daN/m}^2 * 88,1 \text{ m}^2 * (-0,5) = 3885,2 \text{ daN}$$

con $cf = -0,5$

$$F_2(cf > 0, \text{tutti i } \Phi) = 88,2 \text{ daN/m}^2 * 88,1 \text{ m}^2 * (+0,2) = 1554,1 \text{ daN}$$

con $cf = +0,2$

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

$$f_1 = 3885,2 \text{ daN} / 30 = \mathbf{129,5 \text{ daN}}$$

$$f_2 = 1554,1 \text{ daN} / 30 = \mathbf{51,8 \text{ daN}}$$

11.2.3 Calcolo delle azioni da neve

Il carico statico viene determinato in base alla seguente espressione:

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

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 = III

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

Valore caratteristico del carico al suolo = $q_{sk} = 62 \text{ daN/m}^2$

$C_t = 1$

Copertura ad una falda:

Angolo di inclinazione della falda $\alpha = 60,0^\circ$

$$\mu_i = 0,00 \Rightarrow q_{s1} = \mu_i * q_{sk} * C_e * C_t = 0,00 \text{ daN/mq}$$

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

Zona Neve = II

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

Valore caratteristico del carico al suolo = $q_{sk} = 62 \text{ daN/mq}$

$C_t = 1$

Copertura ad una falda:

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

$$\mu_i = 0,80 \Rightarrow q_{s2} = \mu_i * q_{sk} * C_e * C_t = 44,8 \text{ daN/mq}$$

11.3 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 indipendenti

STATO LIMITE	SLV
a_o	0,250 g
F_o	2,419
T_C^*	0,461 s
S_S	1,337
C_C	1,355
S_T	1,000
q	1,200

Parametri dipendenti

S	1,337
η	0,833
T_B	0,208 s
T_C	0,625 s
T_D	2,601 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)

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

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

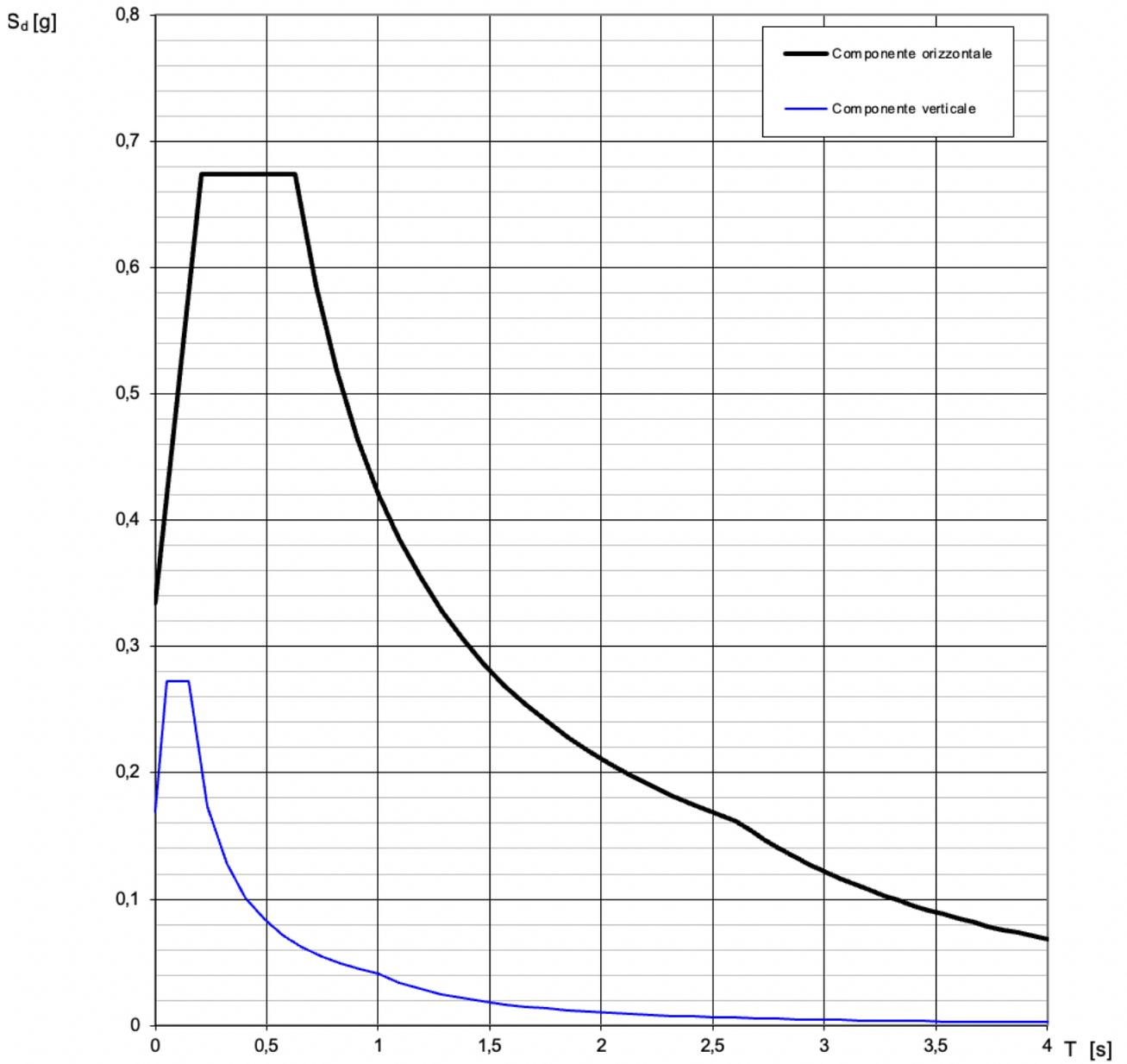
$$T_C \leq T < T_D \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left(\frac{T_C}{T} \right)$$

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

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 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	0,335
$T_B \leftarrow$	0,208	0,674
$T_C \leftarrow$	0,625	0,674
	0,719	0,586
	0,813	0,518
	0,907	0,465
	1,002	0,421
	1,096	0,385
	1,190	0,354
	1,284	0,328
	1,378	0,306
	1,472	0,286
	1,566	0,269
	1,660	0,254
	1,754	0,240
	1,848	0,228
	1,942	0,217
	2,037	0,207
	2,131	0,198
	2,225	0,190
	2,319	0,182
	2,413	0,175
	2,507	0,168
$T_D \leftarrow$	2,601	0,162
	2,668	0,154
	2,734	0,147
	2,801	0,140
	2,868	0,133
	2,934	0,127
	3,001	0,122
	3,067	0,117
	3,134	0,112
	3,201	0,107
	3,267	0,103
	3,334	0,099
	3,400	0,095
	3,467	0,091
	3,534	0,088
	3,600	0,085
	3,667	0,082
	3,734	0,079
	3,800	0,076
	3,867	0,073
	3,933	0,071
	4,000	0,069



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, cabine, pali di illuminazione ed opere elettromeccaniche, si rimandano alla fase di progettazione definitiva le verifiche della sicurezza strutturale delle relative fondazioni su piastra e plinti in c.a. e le verifiche geotecniche dei pali infissi dei tracker.

Catania, Dicembre 2021

Il tecnico

Arch. Luca Antonio Tringali