

# PARCO SOLARE FOTOVOLTAICO ED OPERE CONNESSE, COMUNE DI AQUILEIA - POTENZA IMPIANTO 75,832 MWp

## Relazione Calcoli Strutturali Tracker

|   |           |                               |  |                             |                             |
|---|-----------|-------------------------------|--|-----------------------------|-----------------------------|
| <b>01/12/2023</b>   | <b>00</b> | <b>Emissione per gli enti</b> | <b>Puntel<br/>Capellari &amp;<br/>Associati<br/>Ingegneria</b> | <b>Pharos Srl -<br/>GDM</b> | <b>Pharos Srl -<br/>GDM</b> |
| Data  | Rev.      | Descrizione Emissione         | Preparato  | Verificato                  | Approvato                   |
| Logo Committente e Denominazione Commerciale<br><br>Iren<br>green generation<br>Iren Green Generation<br>Tech s.r.l. |           |                               | ID Documento Committente<br><br><b>Cod 059_FV_BGR_00023_00</b> |                             |                             |
| Logo Appaltatore e Denominazione Commerciale<br><br>PHAROS<br>Impianti Eco-Tecnologici                               |           |                               | ID Documento Appaltatore<br><br><b>07.01.a</b>                 |                             |                             |

## Sommario

|       |   |    |
|-------|---|----|
| 1     | RELAZIONE SUI MATERIALI.....                        | 3  |
| 2     | NORMATIVE DI RIFERIMENTO.....                       | 7  |
| 3     | RELAZIONE GEOTECNICA E SULLE FONDAZIONI.....        | 9  |
| 3.1   | Premessa.....                                       | 9  |
| 3.2   | Caratteristiche geologiche.....                     | 9  |
| 4     | RELAZIONE ILLUSTRATIVA.....                         | 11 |
| 5     | ANALISI DEI CARICHI.....                            | 13 |
| 5.1   | Peso proprio degli elementi strutturali.....        | 13 |
| 5.2   | Azione del vento.....                               | 13 |
| 5.3   | Azione della neve.....                              | 14 |
| 6     | RELAZIONE SISMICA.....                              | 15 |
| 7     | APPROCCIO DI VERIFICA.....                          | 19 |
| 8     | VERIFICHE PRELIMINARI DEL TRACKER FOTOVOLTAICO..... | 21 |
| 8.1   | Premessa.....                                       | 21 |
| 8.2   | Analisi dei carichi.....                            | 22 |
| 8.2.1 | Peso dei pannelli fotovoltaici.....                 | 22 |
| 8.2.2 | Azione del vento.....                               | 22 |
| 8.3   | Principali risultati dell'analisi.....              | 23 |
| 8.3.1 | Pali laterali.....                                  | 23 |
| 8.3.2 | Pali di moto.....                                   | 24 |
| 8.4   | Verifica del profilo del palo.....                  | 24 |
| 8.4.1 | Pali laterali.....                                  | 24 |
| 8.4.2 | Pali moto.....                                      | 26 |
| 8.5   | Verifica geotecnica e delle fondazioni.....         | 27 |
| 8.5.1 | Pali laterali e pali di moto.....                   | 27 |

## 1 RELAZIONE SUI MATERIALI

1. Calcestruzzo delle strutture di fondazione ed in elevazione: **C32/40**  
 Classe di esposizione ambientale: XC4 (UNI 11104 e UNI EN 206-1);  
 rapporto massimo acqua-cemento 0.50 (secondo UNI 11104 e UNI EN 206-1)  
 diametro inerti:  $D_{max} = 32 \text{ mm}$   
 consistenza: slump 160-210 mm classe di consistenza S4

|   |               |                            |
|---|---------------|----------------------------|
| Resistenza caratteristica cubica a compressione         | $R_{ck}$      | 40,00 N/mm <sup>2</sup>    |
| Resistenza caratteristica cilindrica a compressione     | $f_{ck}$      | 32,00 N/mm <sup>2</sup>    |
| Valore medio della resistenza cilindrica                | $f_{cm}$      | 40,00 N/mm <sup>2</sup>    |
| Coefficiente parziale di sicurezza del calcestruzzo     | $\gamma_c$    | 1,50                       |
| Coefficiente riduttivo per le resistenze a lunga durata | $\alpha_{cc}$ | 0,85                       |
| Resistenza media a trazione semplice (assiale)          | $f_{ctm}$     | 3,02 N/mm <sup>2</sup>     |
| Resistenza media a trazione per flessione               | $f_{efm}$     | 3,63 N/mm <sup>2</sup>     |
| Resistenza caratteristica a trazione semplice (assiale) | $f_{ctk}$     | 2,12 N/mm <sup>2</sup>     |
| Resistenza cilindrica di calcolo a compressione         | $f_{cd}$      | 18,13 N/mm <sup>2</sup>    |
| Resistenza di calcolo a trazione                        | $f_{ctd}$     | 1,41 N/mm <sup>2</sup>     |
| Resistenza caratteristica tangenziale di aderenza       | $f_{bk}$      | 4,76 N/mm <sup>2</sup>     |
| Resistenza di calcolo tangenziale di aderenza           | $f_{bd}$      | 3,18 N/mm <sup>2</sup>     |
| Modulo elastico longitudinale istantaneo                | $E_m$         | 33345,76 N/mm <sup>2</sup> |
| Coefficiente di Poisson                                 | $\nu$         | 0,20                       |
| Coefficiente di dilatazione termica                     | $\alpha_c$    | 10 E-06 C <sup>-1</sup>    |

2. Acciaio per calcestruzzo: **B450C**

|   |                      |                 |                   |
|---|----------------------|-----------------|-------------------|
| Tensione di snervamento nominale  | $f_{y\ nom}$         | 450             | N/mm <sup>2</sup> |
| Tensione di rottura nominale  | $f_{t\ nom}$         | 540             | N/mm <sup>2</sup> |
| Coefficiente parziale di sicurezza dell'acciaio   | $\gamma_s$           | 1,15            |                   |
| Tensione di calcolo di snervamento  | $f_{yd}$             | 391,3           | N/mm <sup>2</sup> |
| <i>Requisiti richiesti</i>  |                      | <i>Frattile</i> |                   |
| Tensione caratteristica di snervamento  | $f_{yk}$             | > $f_{y\ nom}$  | 5%                |
| Tensione caratteristica di rottura  | $f_{tk}$             | > $f_{t\ nom}$  | 5%                |
|   | $(f_t / f_y)_k$      | $\geq 1.15$     | 10%               |
|   |                      | < 1.35          |                   |
|   | $(f_y / f_{ynom})_k$ | $\leq 1.15$     | 10%               |
| Allungamento  | $(A_{gt})_k$         | $\geq 7.5\%$    |                   |
| Diametro mandrino per prove di piegamento a 90° e successivo raddrizzamento senza cricche |                      |                 |                   |
| per $\Phi < 12\ mm$   |                      | 4 $\Phi$        |                   |
| per $12 \leq \Phi < 16\ mm$   |                      | 5 $\Phi$        |                   |
| per $16 \leq \Phi < 25\ mm$   |                      | 8 $\Phi$        |                   |
| per $25 \leq \Phi < 40\ mm$   |                      | 10 $\Phi$       |                   |

3. Acciaio per profili laminati a caldo

|   |          |                                |                   |
|---|----------|--------------------------------|-------------------|
| Acciaio conforme alla norma europea EN 10025-5              |          |                                |                   |
| Denominazione acciaio per profili laminati a sezione aperta |          | S275                           | J0                |
|   |          | Spessore nominale $t < 40\ mm$ |                   |
| Tensione caratteristica di snervamento                      | $f_{yk}$ | 275                            | N/mm <sup>2</sup> |
| Tensione caratteristica di rottura                          | $f_{tk}$ | 430                            | N/mm <sup>2</sup> |
| Denominazione acciaio per profili tubolari                  |          | S420                           | J2                |
|   |          | Spessore nominale $t < 40\ mm$ |                   |
| Tensione caratteristica di snervamento                      | $f_{yk}$ | 420                            | N/mm <sup>2</sup> |
| Tensione caratteristica di rottura                          | $f_{tk}$ | 520                            | N/mm <sup>2</sup> |
| <i>Proprietà del materiale</i>                              |          |                                |                   |
| Modulo elastico longitudinale                               | E        | 210000                         | N/mm <sup>2</sup> |
| Modulo di elasticità trasversale                            | G        | 80769                          | N/mm <sup>2</sup> |
| Coefficiente di Poisson                                     | $\nu$    | 0,3                            |                   |
| Densità   | $\rho$   | 7850                           | kg/m <sup>3</sup> |

4. Unioni bullonate “non a serraggio controllato”

|   |               |        |                   |
|---|---------------|--------|-------------------|
| Bulloni conformi a norme UNI EN ISO 4016:2002, UNI 5592:1968, UNI EN ISO 898-1:2001 |               |        |                   |
| Classe di resistenza della vite   |               | 8.8    |                   |
| Classe di resistenza del bullone  |               | 8      |                   |
| <i>Resistenze [MPa]</i>   |               |        |                   |
| - tensione di snervamento   | $f_{yb}$      | 640.00 | N/mm <sup>2</sup> |
| - tensione di rottura   | $f_{tb}$      | 800.00 | N/mm <sup>2</sup> |
| <i>Coefficiente di sicurezza</i>  |               |        |                   |
| - coefficiente di sicurezza delle unioni  | $\gamma_{Mb}$ | 1.25   |                   |

Unioni bullonate conformi al §11.3.4.6.1 D.M. 17.01.2018

5. Unioni saldate

Saldature conformi al §11.3.4.5 D.M. 17.01.2018.

Ove non specificato, realizzare saldature con altezza di gola  $0.7 S < "a" < S$ , con S spessore minimo tra gli elementi da unire.

Classe di esecuzione delle opere in carpenteria metallica secondo UNI EN 1090: **EXC3 (CC2-SC2-PC2)**

6. Elementi prefabbricati

Calcestruzzo e armature da verificare con il prefabbricatore individuato dal costruttore.



|   |                             |                     |
|---|-----------------------------|---------------------|
|  | <b>Cod 059_FV_BGR_00023</b> | Pagina<br>7 / 30    |
|   |                             | Numero<br>Revisione |
|   |                             | 00                  |

## 2 NORMATIVE DI RIFERIMENTO

- *Eurocodice 1:* Basi di calcolo ed azioni sulle strutture
- *Eurocodice 2:* Progettazione delle strutture di calcestruzzo
- *Eurocodice 8:* Progettazione delle strutture in zona sismica
- *D.M. 17.01.2018* “Nuove norme tecniche per le costruzioni”  
(*NTC18 in seguito*)
- *Circolare n.7 del 21.01.2019* Istruzioni per l’applicazione delle “Nuove norme tecniche per le costruzioni”
- *CNR-DT 207 R1/2018* Istruzioni per la valutazione delle azioni e degli effetti del vento sulle costruzioni



|   |                             |                     |
|---|-----------------------------|---------------------|
|  | <b>Cod 059_FV_BGR_00023</b> | Pagina<br>9 / 30    |
|   |                             | Numero<br>Revisione |
|   |                             | 00                  |

### 3 RELAZIONE GEOTECNICA E SULLE FONDAZIONI

#### 3.1 Premessa

La presente relazione è stata redatta in osservanza al paragrafo A2 del D.M. 19/06/1984, in conformità al D.M. 11/03/1988 G.U. n° 127 supp. del 01/06/1988 e al D.M. 17.01.2018.

Si assumono a riferimento le conclusioni della campagna di indagini svolta dai Dott. Geol. Matteo Vian e Basilio Zanninello della GE Ground Engineering S.r.l. di Campolongo Maggiore (VE) nel mese di novembre 2022 e marzo 2023.

#### 3.2 Caratteristiche geologiche

Gli interventi si collocano nella propaggine orientale della Bassa Pianura Veneto-Friulana, nella porzione di territorio compresa tra i fiumi Livenza e Isonzo-Torre.

Dal punto di vista litologico, nell'area aquileiese si riconoscono due grandi aree:

- una formazione quaternaria costituita da terreni spesso organici sovrastanti depositi fluviali e di fondo lagunare. Tale facies interessa tutta la fascia occidentale del territorio comunale. La copertura superficiale è costituita da un terreno di natura limo-argillosa di potenza submetrica, al di sotto del quale si riconoscono termini di fondo lagunare contraddistinti da ritmiche alternanze di livelli limo argillosi e sabbiosi, sono inoltre presenti livelli torbosi;
- una formazione quaternaria costituita da depositi di natura prevalentemente calcareo dolomitica che occupa la restante parte del territorio comunale. La granulometria dei sedimenti spazia dalle sabbie grossolane o ghiaie fini alle argille. I depositi sono il risultato dell'azione fluviale combinata del sistema Isonzo-Torre.

Dal punto di vista geomorfologico, il territorio comunale si presenta uniformemente pianeggiante con pendenze ridotte degradanti da nord a sud dell'ordine dell'1,5-2‰. Le quote si attestano su valori compresi fra 5,7 m s.l.m. (zona settentrionale) e -2,0 m s.l.m. nelle aree perilagunari.

Dal punto di vista idrogeologico, l'area in esame si colloca nella Bassa Pianura ed è quindi caratterizzata, dal punto di vista idrogeologico, da una falda freatica superficiale, al disotto della quale si sviluppa il sistema multifalda ad acquiferi confinati.

Sono state svolte 22 indagini penetrometriche tipo CPT, spinte a diverse profondità, che hanno consentito di individuare altrettante stratigrafie caratterizzate dalla successione di strati di terreni puramente coesivi e terreni incoerenti fini.

Data la vastità dell'area di intervento, la progettazione esecutiva dovrà recepire i parametri geologici nei diversi ambiti di intervento sulla base della prossimità ai punti di indagine CPT.

Dal punto di vista sismico, al sottosuolo viene attribuita la categoria D (*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 m/s e 180 m/s*)

La categoria topografica è la T<sub>1</sub> (*superficie pianeggiante*).



|   |                             |                     |
|---|-----------------------------|---------------------|
|  | <b>Cod 059_FV_BGR_00023</b> | Pagina<br>11 / 30   |
|   |                             | Numero<br>Revisione |
|   |                             | 00                  |

## 4 RELAZIONE ILLUSTRATIVA

La presente relazione si riferisce alla realizzazione del campo fotovoltaico nella porzione del territorio di Aquileia denominata “Quarta partita”, compresa fra l’asta del Canale Anfora e la Laguna di Grado e Marano.

Il parco fotovoltaico vede in primis una moltitudine di stringhe di pannelli fotovoltaici a inseguimento, dunque montati su un’asta che può ruotare tramite un attuatore nel range  $+55^{\circ}/-55^{\circ}$  rispetto all’orizzontale. L’attuatore è montato sul palo pilota, l’asta di rotazione poggia su ulteriori montanti distanti circa 7 m e funzione del numero complessivo di pannelli della stringa. L’inclinazione dei pannelli della singola stringa è gestita da una centralina di controllo: in caso di raffiche di vento con velocità superiore ad un valore prestabilito (15,6 m/s), il pannello viene orientato orizzontalmente, se si presenta un accumulo al suolo della neve superiore ad una certa altezza, i pannelli assumono la massima inclinazione per indurne lo scivolamento a terra. Analogamente, la centralina porta i pannelli alla rotazione massima al superamento di un accumulo neve al suolo di 3 cm.

A seguito dello sviluppo di un modello idraulico in ottemperanza al piano gestione rischio alluvioni (PGRA), sul sito sono state individuate diverse altezze del tirante idraulico atteso a seguito dell’allagamento simulato in conseguenza del possibile cedimento dell’argine del mare a sud o del canale Anfora a nord: le misure dei tiranti idraulici variano a monte e a valle della strada provinciale 91, con il valore massimo riscontrato nella zona nord del parco FV con una quota dell’acqua stimata a -0,80 m, laddove il terreno presenta quota media minima di -2,00 m.

La fondazione dei sostegni dell’asta di comando, ai sensi delle norme tecniche di attuazione del piano regolare, è di tipo superficiale, del tipo plinti prefabbricati.



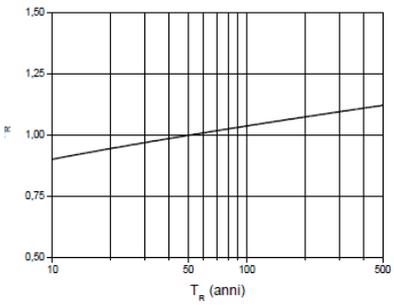
## 5 ANALISI DEI CARICHI

### 5.1 Peso proprio degli elementi strutturali

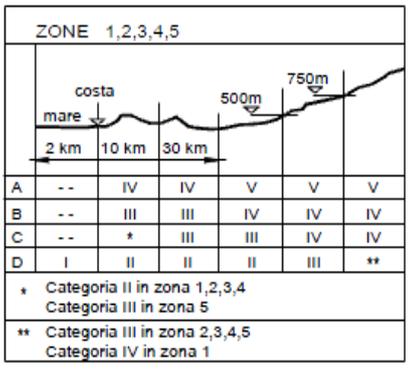
Il peso proprio degli elementi strutturali è valutato in funzione della geometria e sulla base del peso specifico del materiale costituente, in questo caso del calcestruzzo ( $\gamma_{cls}=25 \text{ kN/m}^3$ ), dell'acciaio ( $\gamma_{steel}=78,5 \text{ kN/m}^3$ ).

### 5.2 Azione del vento

#### PRESSIONE CINETICA DI RIFERIMENTO

|                                   |            |                        |   |
|-----------------------------------|------------|------------------------|---|
| Zona                              |            | <b>1</b>               |   |
| velocità caratteristica al suolo  | $V_{b,0}$  | 25,0 m/s               |  |
| altitudine di riferimento         | $a_0$      | 1000 m                 |   |
|                                   | $K_a$      | 0,010                  |   |
| altitudine del sito               | $a_s$      | <b>0</b> m             |   |
| tempo di ritorno                  | $T_R$      | <b>100</b> anni        |   |
|                                   | $\alpha_R$ | 1,04                   |   |
| velocità di riferimento           | $V_b(T_R)$ | 25,0 m/s               |   |
| velocità di riferimento           | $V_b(T_R)$ | 90,0 km/h              |   |
| pressione cinetica di riferimento | $q_b$      | 0,39 kN/m <sup>2</sup> |   |

#### COEFFICIENTE DINAMICO E DI ESPOSIZIONE

|                                   |            |               |  |
|-----------------------------------|------------|---------------|--|
| coefficiente dinamico             | $C_d$      | 1             |  |
| categoria di esposizione del sito |            | <b>II</b>     |  |
|                                   | $k_r$      | 0,19          |  |
|                                   | $Z$        | <b>2,40</b> m |  |
|                                   | $Z_0$      | 0,05 m        |  |
|                                   | $Z_{min}$  | 4,00 m        |  |
|                                   | $Z_{eff}$  | 4,00 m        |  |
|                                   | $Z/Z_0$    | 80,00         |  |
| coefficiente di topografia        | $C_t$      | 1             |  |
| coefficiente di esposizione       | $C_e$      | 1,80          |  |
| coefficiente di scabrezza         | $C_f$      | 0,04          |  |
| pressione cinetica amplificata    | $q_{bC_e}$ | 0,70          |  |

I coefficienti di pressione saranno valutati singolarmente per ciascuna configurazione.

### 5.3 Azione della neve

#### Neve Zona I - Alpina

|            |   |                              |
|------------|---|------------------------------|
| $a_s$      | altitudine di riferimento                     | 0 m                          |
| $\alpha_1$ | angolo minimo                                 | 0 °                          |
| $\alpha_2$ | angolo massimo                                | 55 °                         |
| $\mu_1$    | coefficiente di forma massimo                 | 0,80                         |
| $\mu_2$    | coefficiente di forma massimo                 | 0,13                         |
| $q_{sk}$   | valore caratteristico di riferimento al suolo | 1,50 kN/m <sup>2</sup>       |
| $C_E$      | coefficiente di esposizione                   | 1,00                         |
| $C_t$      | coefficiente termico                          | 1,00                         |
|            | <b><math>Q_{N1}</math></b>                    | <b>1,20 kN/m<sup>2</sup></b> |
|            | <b><math>Q_{N2}</math></b>                    | <b>0,20 kN/m<sup>2</sup></b> |

## 6 RELAZIONE SISMICA

L'azione sismica di progetto, sulla base della quale valutare il rispetto dei diversi Stati Limite considerati, è stata definita a partire dalla pericolosità sismica di base del sito ove l'opera sarà realizzata.

Il sito è stato individuato in coordinate geografiche tramite Google map.

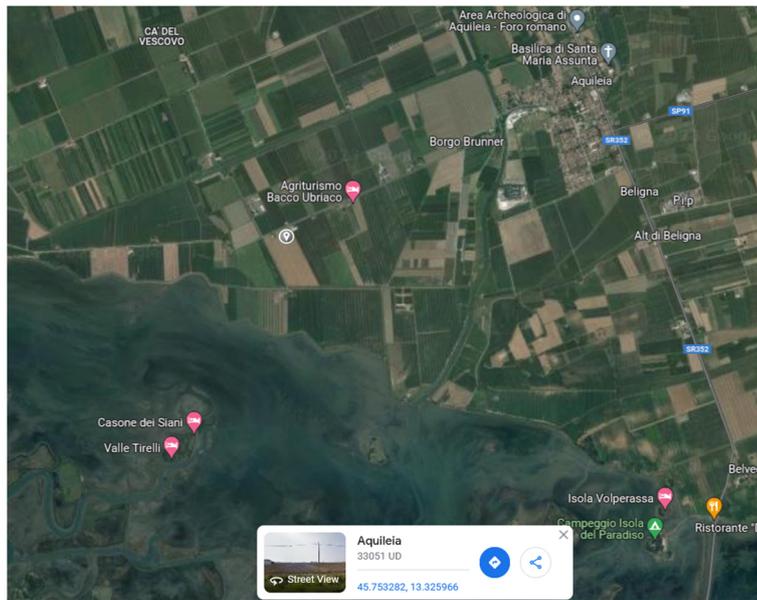


Figura 1: Individuazione delle coordinate del sito

La vita nominale attribuita alle opere non da cedere a Terna è pari a **50 anni**: *Costruzioni con livelli di prestazioni ordinari.*

Alle opere è attribuita la classe d'uso **Classe IV**: *Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità.*

Si assume la categoria del sottosuolo (**D**) e le condizioni topografiche (**T1**).

Per garantire il rispetto degli Stati Limite Ultimi e di Esercizio, occorre effettuare diverse verifiche di sicurezza. Ciascuna di esse garantisce, per ogni Stato Limite, quindi per il corrispettivo livello di azione sismica, il raggiungimento di una data prestazione da parte della costruzione nel suo complesso.

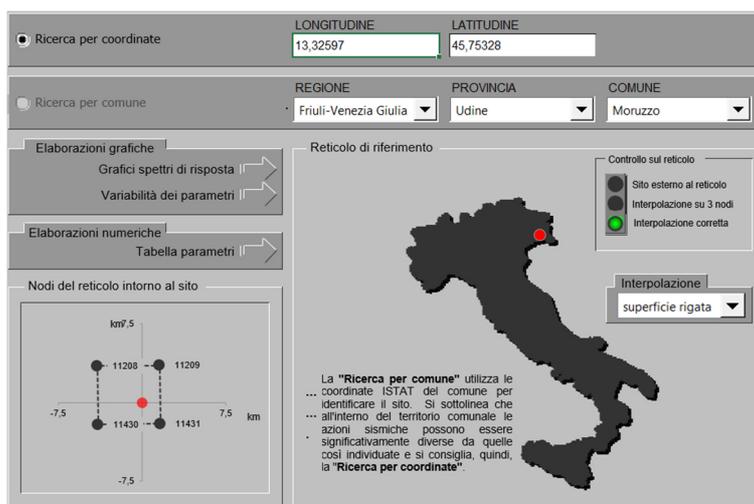
Gli stati limite considerati nella progettazione sono:

*Stato Limite di Operatività (SLO)*: a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, non deve subire danni ed interruzioni d'uso significativi;

*Stato Limite di Danno (SLD)*: a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali e le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, subisce danni tali da non mettere a rischio gli utenti e da non compromettere significativamente la capacità di resistenza e di rigidezza nei confronti delle azioni verticali ed orizzontali, mantenendosi immediatamente utilizzabile pur nell'interruzione d'uso di parte delle apparecchiature;

*Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV)*: a seguito del terremoto la costruzione subisce rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e significativi danni dei componenti strutturali cui si associa una perdita significativa di rigidezza nei confronti delle azioni orizzontali; la costruzione conserva invece una parte della resistenza e rigidezza per azioni verticali e un margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni sismiche orizzontali.

Si riportano i parametri di definizione degli spettri delle accelerazioni riferiti ai diversi stati limite, ottenuti dal programma Spettri NTC ver. 1.0.3 fornito dal Ministero dei Lavori Pubblici.



The screenshot shows the 'Spettri NTC' software interface. At the top, there are two search methods: 'Ricerca per coordinate' (selected) and 'Ricerca per comune'. The coordinate search fields show 'LONGITUDINE' as 13,32597 and 'LATITUDINE' as 45,75328. The 'Ricerca per comune' section shows 'REGIONE' as Friuli-Venezia Giulia, 'PROVINCIA' as Udine, and 'COMUNE' as Moruzzo. Below these are sections for 'Elaborazioni grafiche' (Grafici spettri di risposta, Variabilità dei parametri) and 'Elaborazioni numeriche' (Tabella parametri). A map of Italy is displayed with a red dot indicating the site location. A legend for 'Controllo sul reticolo' shows three options: 'Sito esterno al reticolo' (grey dot), 'Interpolazione su 3 nodi' (black dot), and 'Interpolazione corretta' (green dot). The 'Interpolazione' dropdown is set to 'superficie rigata'. A diagram shows a grid of nodes around the site, with coordinates like 11208, 11209, 11430, and 11431, and distances of 7.5 km. A text box explains that 'Ricerca per comune' uses ISTAT coordinates to identify the site, while 'Ricerca per coordinate' is used for more precise identification.

Vita nominale della costruzione (in anni) -  $V_N$   info

Coefficiente d'uso della costruzione -  $C_U$   info

Valori di progetto

Periodo di riferimento per la costruzione (in anni) -  $V_R$   info

Periodi di ritorno per la definizione dell'azione sismica (in anni) -  $T_R$  info

Stati limite di esercizio - SLE

- SLO -  $P_{VR} = 81\%$
- SLD -  $P_{VR} = 63\%$
- SLV -  $P_{VR} = 10\%$

Stati limite ultimi - SLU

- SLC -  $P_{VR} = 5\%$

Elaborazioni

- Grafici parametri azione
- Grafici spettri di risposta
- Tabella parametri azione

Strategia di progettazione



LEGENDA GRAFICO

- Strategia per costruzioni ordinarie
- ... Strategia scelta

Stato Limite

Stato Limite considerato  info

Risposta sismica locale

Categoria di sottosuolo  info

Categoria topografica  info

$S_B = 1,800$   $C_C = 2,009$  info

$h/H = 1,000$   $S_T = 1,000$  info  
(h=quota sito, H=altezza rilievo topografico)

Compon. orizzontale

Spettro di progetto elastico (SLE)  Smorzamento  $\xi$  (%)  $\eta = 1,000$  info

Spettro di progetto inelastico (SLU)  Fattore  $q_s$   Regol. in altezza info

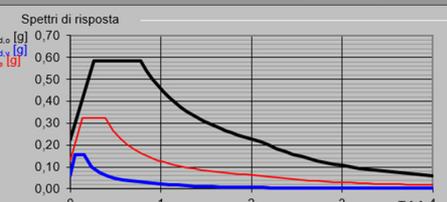
Compon. verticale

Spettro di progetto  Fattore  $q_v$   $\eta = 1,000$  info

Elaborazioni

- Grafici spettri di risposta
- Parametri e punti spettri di risposta

Spettri di risposta



— Spettro di progetto - componente orizzontale

— Spettro di progetto - componente verticale

— Spettro elastico di riferimento (Cat. A-T1,  $\xi = 5\%$ )

**Parametri indipendenti**

| STATO LIMITE | SLV     |
|--------------|---------|
| $a_g$        | 0,125 g |
| $F_o$        | 2,605   |
| $T_C$        | 0,387 s |
| $S_S$        | 1,800   |
| $C_C$        | 2,009   |
| $S_T$        | 1,000   |
| $q$          | 1,000   |

**Parametri dipendenti**

|        |         |
|--------|---------|
| $S$    | 1,800   |
| $\eta$ | 1,000   |
| $T_B$  | 0,259 s |
| $T_C$  | 0,778 s |
| $T_D$  | 2,099 s |

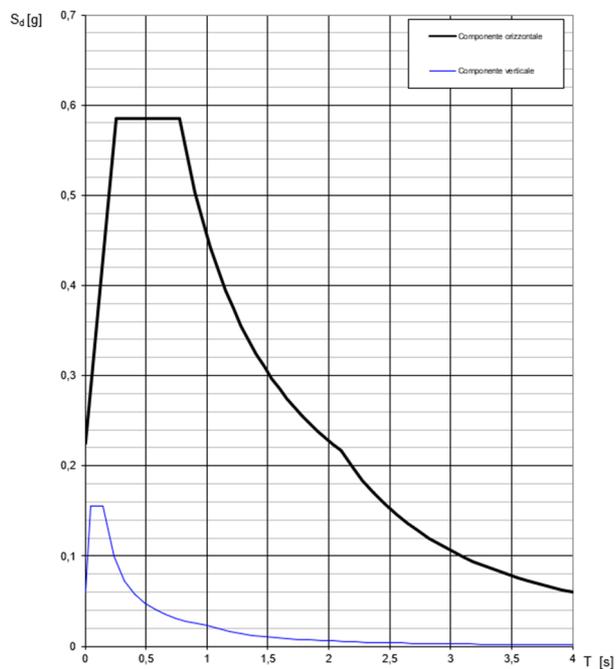


Figura 2: Parametri di definizione dello spettro delle pseudo-accelerazioni elastico riferito allo SLV

## 7 APPROCCIO DI VERIFICA

Per le verifiche agli Stati Limite Ultimi e di Esercizio si considerano le seguenti combinazioni di carico:

- Combinazione fondamentale, generalmente impiegata per gli stati limite ultimi (SLU):

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

- Combinazione caratteristica rara (SLE), generalmente impiegata per stati limite di esercizio irreversibili:

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

- Combinazione caratteristica frequente (SLE), generalmente impiegata per stati limite reversibili:

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

- Combinazione quasi permanente (SLE), generalmente impiegata per gli effetti a lungo termine:

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

Si riportano i valori dei coefficienti di amplificazione, e a seguire dei coefficienti di combinazione.

| Tab. 5.1.Iv D.M. 17.01.2018       |             | Coefficiente<br>$\gamma_F$ | EQU | A1 STRU | A2 GEO |
|-----------------------------------|-------------|----------------------------|-----|---------|--------|
| Azioni permanenti                 | Favorevoli  | $\gamma_{G1}$              | 0,9 | 1,0     | 1,0    |
|                                   | Sfavorevoli |                            | 1,1 | 1,3     | 1,0    |
| Azioni permanenti non strutturali | Favorevoli  | $\gamma_{G2}$              | 0,0 | 0,0     | 0,0    |
|                                   | Sfavorevoli |                            | 1,5 | 1,5     | 1,3    |
| Azioni variabili                  | Favorevoli  | $\gamma_{Qi}$              | 0,0 | 0,0     | 0,0    |
|                                   | Sfavorevoli |                            | 1,5 | 1,5     | 1,3    |



## 8 VERIFICHE PRELIMINARI DEL TRACKER FOTOVOLTAICO

### 8.1 Premessa

Il campo fotovoltaico vede una moltitudine di file di moduli di inseguitori solari di lunghezza di circa 18, 38, 76 m organizzati con un'asta di rotazione, sostenuta da più pali, alla quale vengono fissati i pannelli di dimensione indicativa 1,30 m di base per 2,40 m di altezza.

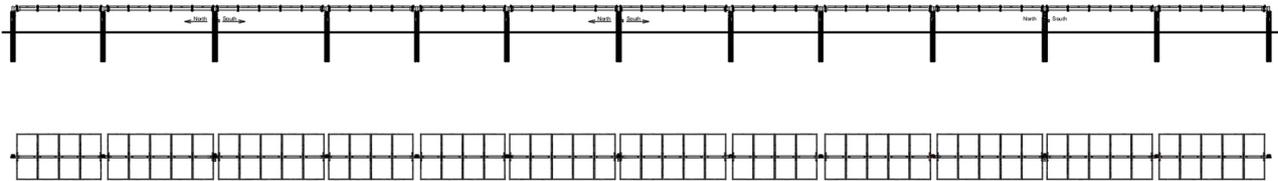


Figura 3: Vista in prospettiva e pianta di un inseguitore solare tipo Convert

I supporti sono differenziati in palo standard e palo moto, con quest'ultimo che è responsabile della movimentazione dell'asta di rotazione, i rimanenti sono provvisti di cuscinetti e forniscono un appoggio verticale e trasversale all'asta longitudinale; i pali sono disposti con un interasse massimo di circa 7,00 m, e poggiano su fondazioni interrate del tipo a plinto prefabbricato in c.a.

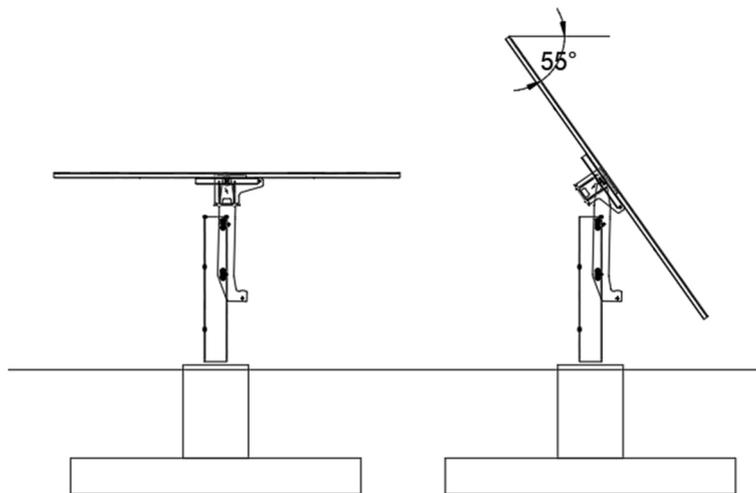


Figura 4: Configurazione di Stow per il vento (Sx) e di massima inclinazione (Dx)

Allo stato attuale si prevede la fornitura da parte della Valmont Convert, la quale ha commissionato uno studio nella galleria del vento per la valutazione dei coefficienti di pressione sui pannelli alle varie inclinazioni e in posizione di stow, sia per gli allineamenti esterni che interni al campo, le cui conclusioni sono presentate nei paragrafi seguenti.

## 8.2 Analisi dei carichi

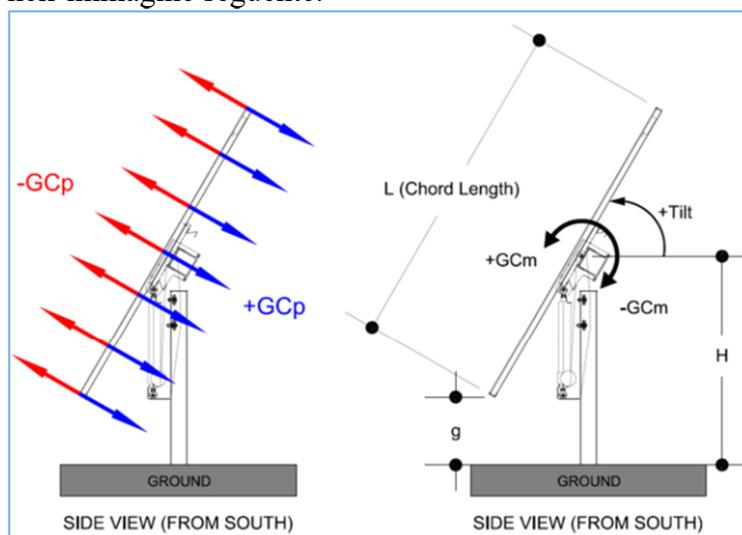
### 8.2.1 Peso dei pannelli fotovoltaici

Il peso dei pannelli fotovoltaici e della struttura portante è di 40 daN/m.

### 8.2.2 Azione del vento

Nella presente fase progettuale, si assumono a riferimento i contenuti della relazione di calcolo del tracker Convert messa a disposizione dalla Committenza.

Dallo studio nella galleria del vento, le azioni sono introdotte mediante i coefficienti di pressione e di momento descritti nell'immagine seguente.



$$GC_p = \frac{P_{net}}{\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V^2}, \quad GC_M = \frac{M_{torque} \text{ or } M_{overturning}}{\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V^2 \cdot A \cdot L}$$

where

$P_{net}$ ,  $M_{torque}$  and  $M_{overturning}$  are net pressure (normal to top surface of PV modules), moment about torque tube, and overturning moment at grade (bottom of post);

$\rho$  is the air density;

$V$  is the 3-second gust wind speed at mean tracker height ( $H$ ) in open terrain;

$A$  is the area of a Strip, Post, Quarter of a Row, Half of a Row, or Full Row (see Figure 2);

$L$  is the chord length (1.96 m).

Si presentano quindi i coefficienti massimi riscontrati dal progettista, utilizzati per il calcolo delle pressioni nel modello f.e.m. sviluppato e riferito alle file esterne.

| Stow Wind Position    |           |              | GCP    |           | GCM    |           |
|-----------------------|-----------|--------------|--------|-----------|--------|-----------|
| Tilt angle            | Wind Zone | Element      | Uplift | Downforce | Uplift | Downforce |
| 0                     | EW1       | End Post     | -1.123 | 0.650     | -      | -         |
| 0                     | EW1       | Middle Post  | -1.123 | 0.632     | -      | -         |
| 0                     | EW1       | Drive Post   | -1.123 | 0.632     | 0.069  | 0.072     |
| 0                     | EW1       | Tube 1-6     | -1.123 | 0.641     | 0.085  | 0.088     |
| 0                     | EW1       | Tube 2-3-4-5 | -1.123 | 0.632     | 0.085  | 0.088     |
| 0                     | EW1       | Rail         | -0.533 | 0.393     | 0.120  | 0.117     |
| Working Wind Position |           |              | GCP    |           | GCM    |           |
| Tilt angle            | Wind Zone | Element      | Uplift | Downforce | Uplift | Downforce |
| 55                    | EW1       | End Post     | -2.081 | 2.015     | -      | -         |
| 55                    | EW1       | Middle Post  | -1.854 | 1.938     | -      | -         |
| 55                    | EW1       | Drive Post   | -1.854 | 1.938     | 0.048  | 0.032     |
| 55                    | EW1       | Tube 1-6     | -1.967 | 1.977     | 0.064  | 0.056     |
| 55                    | EW1       | Tube 2-3-4-5 | -1.854 | 1.938     | 0.064  | 0.056     |
| 55                    | EW1       | Rail         | -2.021 | 1.866     | 0.170  | 0.131     |

### 8.3 Principali risultati dell'analisi

Il progettista incaricato dalla Convert ha studiato il singolo tracker in condizione di Stow (Modello A) e con le differenti inclinazioni dei pannelli (Modello B). Si presentano le sollecitazioni riscontrate sui pali laterali e di moto. La pressione del vento associata alla posizione di stow, nella relazione di riferimento, risultava di  $0,75 \text{ kN/m}^2$ , valore in linea con il corrispondente di  $0,70 \text{ kN/m}^2$  per il sito in oggetto.

#### 8.3.1 Pali laterali

##### Tracker 27 moduli - Modello A

| Frame   | Station | OutputCase | P      | V2     | V3     | T      | M2      | M3      |
|---------|---------|------------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|
| Text    | m       | Text       | N      | N      | N      | N-m    | N-m     | N-m     |
| DP-LP_4 | 0       | ULS_20     | -18217 | -75.17 | -6E-07 | -10.22 | -805.92 | -115.73 |
| DP-LP_4 | 0.61984 | ULS_20     | -18149 | -75.17 | -6E-07 | -10.22 | -805.92 | -69.14  |
| DP-LP_4 | 0       | ULS_21     | -18217 | -55.85 | -6E-07 | -7.59  | -805.92 | -85.99  |
| DP-LP_4 | 0.61984 | ULS_21     | -18149 | -55.85 | -6E-07 | -7.59  | -805.92 | -51.37  |
| DP-LP_4 | 0       | ULS_22     | -18217 | -94.48 | -6E-07 | -12.85 | -805.92 | -145.48 |
| DP-LP_4 | 0.61984 | ULS_22     | -18149 | -94.48 | -6E-07 | -12.85 | -805.92 | -86.91  |

##### Tracker 27 moduli - Modello B

| Frame        | Station | OutputCase | P       | V2     | V3     | T     | M2    | M3     |
|--------------|---------|------------|---------|--------|--------|-------|-------|--------|
| Text         | m       | Text       | N       | N      | N      | N-m   | N-m   | N-m    |
| DP-LP_2_EXTB | 0       | ULS_20     | -8684.2 | 232.58 | 5550.2 | 8.68  | 10581 | 460.34 |
| DP-LP_2_EXTB | 0       | ULS_21     | -8684.2 | 200.98 | 5550.2 | 4.38  | 10581 | 397.94 |
| DP-LP_2_EXTB | 0       | ULS_22     | -8684.1 | 264.18 | 5550.2 | 12.97 | 10581 | 522.75 |
| Frame        | Station | OutputCase | P       | V2     | V3     | T     | M2    | M3     |
| Text         | m       | Text       | N       | N      | N      | N-m   | N-m   | N-m    |
| DP-LP_4_EXTB | 0       | ULS_22     | -9400   | -110   | 5984   | -15   | 8083  | -156   |

### 8.3.2 Pali di moto

#### Tracker 27 moduli - Modello A

| Frame<br>Text | Station<br>m | OutputCase<br>Text | P<br>N | V2<br>N | V3<br>N | T<br>N-n | M2<br>N-m | M3<br>N-n |
|---------------|--------------|--------------------|--------|---------|---------|----------|-----------|-----------|
| DP-LP_3       | 0            | ULS_37             | -13040 | 21      | 0       | 5        | 14686     | 37        |
| DP-LP_3       | 0            | ULS_38             | -13948 | 23      | 0       | 5        | 14617     | 40        |
| DP-LP_3       | 0            | ULS_39             | -13948 | 16      | 0       | 3        | 14617     | 27        |
| DP-LP_3       | 0            | ULS_40             | -13948 | 30      | 0       | 6        | 14617     | 53        |

#### Tracker 27 moduli - Modello B

| Frame<br>Text | Station<br>m | OutputCase<br>Text | P<br>N | V2<br>N | V3<br>N | T<br>N-n | M2<br>N-m | M3<br>N-n |
|---------------|--------------|--------------------|--------|---------|---------|----------|-----------|-----------|
| DP-LP_3_EXTB  | 0            | ULS_19             | -8738  | 17      | 5926    | 4        | 10533     | 30        |
| DP-LP_3_EXTB  | 0            | ULS_20             | -9645  | 18      | 5926    | 4        | 10296     | 32        |
| DP-LP_3_EXTB  | 0            | ULS_21             | -9645  | 11      | 5926    | 3        | 10296     | 20        |
| DP-LP_3_EXTB  | 0            | ULS_22             | -9645  | 26      | 5926    | 6        | 10296     | 45        |

## 8.4 Verifica del profilo del palo

### 8.4.1 Pali laterali

Si valutano le sollecitazioni agenti sul palo laterale, aggiornate per l'altezza di 2,10m dell'asta ai fini della compatibilità idraulica.

$$N_{Ed,B}=18 \text{ kN}$$

$$V_{Ed,B}=6 \text{ kN}$$

$$M_{Ed,B}=10,30 + 6 \cdot (2,10-1,40) = 14,5 \text{ kNm}$$

Segue la verifica della mensola all'instabilità.

### Verifica della trave a pressoflessione con instabilità (6.3.3.4 - Metodo 2)

#### Proprietà del materiale

|  |                    |           |                     |
|--|--------------------|-----------|---------------------|
| Modulo di elasticità normale                         | E                  | 2.100.000 | daN/cm <sup>2</sup> |
| Modulo di elasticità tangenziale                     | G                  | 807.692   | daN/cm <sup>2</sup> |
| Tensione di snervamento caratteristica del materiale | f <sub>yk</sub>    | 2.750     | daN/cm <sup>2</sup> |
| Coefficiente di sicurezza all'instabilità            | γ <sub>M0-M1</sub> | 1,05      |                     |

#### Proprietà della sezione

HEA120

|   |                    |       |                 |
|---|--------------------|-------|-----------------|
| Area del profilo  | A                  | 25,34 | cm <sup>2</sup> |
| Altezza del profilo                                       | H                  | 11,40 | cm              |
| Larghezza di base del profilo                             | B                  | 12,00 | cm              |
| Spessore dell'ala del profilo                             | t <sub>f</sub>     | 0,80  | cm              |
| Momento d'inerzia asse forte                              | I <sub>yy</sub>    | 606   | cm <sup>4</sup> |
| Momento d'inerzia asse debole                             | I <sub>zz</sub>    | 231   | cm <sup>4</sup> |
| Costante d'ingobbamento                                   | I <sub>ω</sub>     | 6.470 | cm <sup>6</sup> |
| Momento d'inerzia torsionale                              | I <sub>t</sub>     | 6,0   | cm <sup>4</sup> |
| Modulo di resistenza elastico intorno all'asse forte y-y  | W <sub>el,yy</sub> | 106,3 | cm <sup>3</sup> |
| Modulo di resistenza elastico intorno all'asse debole z-z | W <sub>el,zz</sub> | 38,5  | cm <sup>3</sup> |

|   |             |       |                 |
|---|-------------|-------|-----------------|
| Modulo di resistenza plastico intorno all'asse forte y-y  | $W_{pl,yy}$ | 119,5 | cm <sup>3</sup> |
| Modulo di resistenza plastico intorno all'asse debole z-z | $W_{pl,zz}$ | 58,9  | cm <sup>3</sup> |

**Geometria e azioni di progetto**

|  |               |       |     |
|--|---------------|-------|-----|
| Distanza applicazione carico rispetto al baricentro          | $z_g$         | 6,0   | cm  |
| Luce tra 2 ritegni torsionali                                | $L_{0,y}$     | 420   | cm  |
| Luce tra 2 ritegni torsionali                                | $L_{0,z}$     | 420   | cm  |
| Luce tra 2 ritegni torsionali consecutivi                    | $L_{cr,LT}$   | 210   | cm  |
| Lunghezza di libera inflessione per l'instabilità torsionale | $L_{cr,N,LT}$ | 210   | cm  |
| Azione assiale di progetto                                   | $N_{Ed}$      | 16,00 | kN  |
| Momento agente intorno all'asse forte all'estremità A (min)  | $M_{y,a}$     | 1,60  | kNm |
| Momento agente intorno all'asse forte all'estremità B (magg) | $M_{y,b}$     | 14,50 | kNm |
| Momento di progetto intorno all'asse forte                   | $M_{y,Ed}$    | 14,50 | kNm |
| Momento agente intorno all'asse debole                       | $M_z$         | 3,00  | kNm |

**Analisi del contributo flessionale**

|   |                  |         |       |
|---|------------------|---------|-------|
| Coeff. di lunghezza efficace nei confronti della rotazione            | $k$              | 1,00    |       |
| Coeff. di lunghezza efficace nei confronti dell'ingobbamento          | $k_w$            | 1,00    |       |
|   | $C_1$            | 1,100   |       |
|   | $C_2$            | 0,000   |       |
| Momento critico   | $M_{cr}$         | 529.550 | daNcm |
| Fattore d'imperfezione flessionale                                    | $\alpha_{LT}$    | 0,34    |       |
|   | $\lambda_{LT}$   | 0,79    |       |
|   | $\lambda_{LT,0}$ | 0,20    |       |
|   | $\beta$          | 1,00    |       |
|   | $k_c$            | 0,773   |       |
| Coefficiente di instabilità   | $\phi_{LT}$      | 0,910   |       |
|   | $f$              | 0,887   |       |
| Fattore di riduzione  | $\chi_{LT}$      | 0,732   |       |
|   | $\chi_{LT,mod}$  | 0,826   |       |
| Momento resistente di progetto per l'instabilità flessotorsionale y-y | $M_{b,y,Rd}$     | 258.404 | daNcm |
| Momento resistente di progetto z-z                                    | $M_{z,Rd}$       | 154.131 | daNcm |

**Analisi del contributo flessionale con compressione**

|   |             |       |    |
|---|-------------|-------|----|
| Carico critico euleriano intorno all'asse y           | $N_{cr,y}$  | 712,3 | kN |
| Carico critico euleriano intorno all'asse z           | $N_{cr,z}$  | 271,3 | kN |
| Carico critico per instabilità torsionale             | $N_{cr,T}$  | 2.385 | kN |
| Fattore d'imperfezione a compressione, asse y-y       | $\alpha_y$  | 0,34  |    |
| Snellezza adimensionalizzata a compressione, asse y-y | $\lambda_y$ | 0,989 |    |
| Coefficiente di instabilità a compressione, asse y-y  | $\phi_y$    | 1,123 |    |
| Fattore di riduzione a compressione, asse y-y         | $\chi_y$    | 0,604 |    |
| Fattore d'imperfezione a compressione, asse z-z       | $\alpha_z$  | 0,49  |    |

|   |                   |           |           |
|---|-------------------|-----------|-----------|
| Snellezza adimensionalizzata a compressione, asse z-z                   | $\lambda_z$       | 1,603     |           |
| Coefficiente di instabilità a compressione, asse z-z                    | $\phi_z$          | 2,128     |           |
| Fattore di riduzione a compressione, asse z-z                           | $\chi_z$          | 0,283     |           |
| Parametro instabilità per compressione, asse y-y                        | $\mu_y$           | 0,991     |           |
| Parametro instabilità per compressione, asse z-z                        | $\mu_z$           | 0,957     |           |
| Parametro instabilità flessotorsionale, asse y-y                        | $w_y$             | 1,124     |           |
| Parametro instabilità flessotorsionale, asse z-z                        | $w_z$             | 1,500     |           |
| Snellezza adimensionale per instabilità a momento costante              | $\lambda_{0}$     | 0,596     |           |
| Snellezza adimensionale limite per instabilità a mom. costante          | $\lambda_{0,LIM}$ | 0,206     |           |
| Momento critico elastico di instabilità flessio torsionale ( $\psi=1$ ) | $M_{cr,0}$        | 9,247E+05 | daNcm     |
| La sezione è sensibile all'instabilità flessotorsionale?                |                   | <b>Si</b> |           |
| La trave è vincolata allo sbandamento lungo la sua lunghezza?           |                   | <b>No</b> |           |
| Coefficiente legato al valore del momento (tab. A,2 EC3)                | $C_{my}$          | 0,644     |           |
|   | $C_{mLT}$         | 0,644     |           |
|   | $C_{mz}$          | 1,000     |           |
|   | $k_{yy}$          | 0,664     |           |
|   | $k_{yz}$          | 0,671     |           |
|   | $k_{zy}$          | 0,965     |           |
|   | $k_{zz}$          | 1,119     |           |
| <b>Verifica</b>   |                   |           |           |
| Formula a) verifica pressoflessione deviata secondo EC3                 | a)                | 0,54      | <b>OK</b> |
| Formula b) verifica pressoflessione deviata secondo EC3                 | b)                | 0,84      | <b>OK</b> |

#### 8.4.2 Pali moto

Si valutazione le sollecitazioni agenti sul palo moto, aggiornate per l'altezza di 2,10m dell'asta.

$$N_{Ed,A}=13 \text{ kN}$$

$$V_{Ed,A}=0 \text{ kN}$$

$$M_{Ed,a}=14,5 \text{ kNm}$$

Il profilo HEA120 precedentemente verificato risulta idoneo ad essere replicato per il palo moto.

## 8.5 Verifica geotecnica e delle fondazioni

### 8.5.1 Pali laterali e pali di moto

Si considerano le reazioni alla base del palo con il momento incrementale del taglio per l'approfondimento del piano di posa a -0,80 m.

#### PARAMETRI GEOTECNICI DEL TERRENO

|   |            |                         |
|---|------------|-------------------------|
| Peso dell'unità di volume del terreno di fondazione | $\gamma$   | 19 kN/m <sup>3</sup>    |
| Angolo di attrito interno caratteristico            | $\phi_k$   | 0 °                     |
| Coesione  | c          | 15,00 kN/m <sup>2</sup> |
| Coefficiente di spinta passiva                      | $K_p$      | 1,00                    |
| Peso dell'unità di volume del terreno di riporto    | $\gamma_r$ | 10 kN/m <sup>3</sup>    |

#### APPROCCIO DI CALCOLO ADOTTATO

#### A1+M1+R3

|   |                 |         |
|---|-----------------|---------|
| Coefficienti parziali per le azioni di progetto (A)               |                 |         |
| Azioni permanenti (sfav./fav.)                                    | $\gamma_{G1}$   | 1.3/1.0 |
| Azioni permanenti non strutturali (sfav./fav.)                    | $\gamma_{G2}$   | 1.3/0.0 |
| Azioni accidentali (sfav./fav.)                                   | $\gamma_Q$      | 1.5/0.0 |
| Coefficienti parziali per i valori caratteristici del terreno (M) |                 |         |
| Tangente dell'angolo di resistenza al taglio                      | $\gamma_\phi$   | 1,00    |
| Coesione efficace   | $\gamma_c$      | 1,00    |
| Resistenza non drenata  | $\gamma_{cu}$   | 1,00    |
| Peso dell'unità di volume   | $\gamma_\gamma$ | 1,00    |

#### SOLLECITAZIONI

|                            |              |           |
|----------------------------|--------------|-----------|
| Azione normale             | $N_{Ed}$     | 18,00 kN  |
| Peso del plinto            | $N_{plinto}$ | 44,09 kN  |
| Momento Flettente x        | $M_{Ed,x}$   | 20,00 kNm |
| Momento Flettente y        | $M_{Ed,y}$   | 0,00 kNm  |
| Taglio agente lungo x      | $T_{Ed,x}$   | 0,00 kN   |
| Taglio agente lungo y      | $T_{Ed,y}$   | 6,00 kN   |
| Eccentricità lungo y       | $e_y$        | 0,34 m    |
| Eccentricità lungo x       | $e_x$        | 0,00 m    |
| Inclinazione forza lungo x | $\alpha_x$   | 0,00 °    |
| Inclinazione forza lungo y | $\alpha_y$   | 5,73 °    |

#### PARAMETRI GEOMETRICI DELLA FONDAZIONE

|                               |    |        |
|-------------------------------|----|--------|
| Base x del plinto             | B  | 1,15 m |
| Altezza y del plinto          | L  | 2,20 m |
| Spessore del plinto           | s  | 0,25 m |
| Approfondimento piano di posa | D  | 0,80 m |
| Base efficace x del plinto    | B' | 1,15 m |
| Altezza efficace y del plinto | L' | 1,56 m |

COEFFICIENTI DI CALCOLO DELLA CAPACITA' PORTANTE

|   |                 |      |                      |
|---|-----------------|------|----------------------|
| Fattori adimensionali di capacità portante                    |                 |      |                      |
| $N_c=(N_q-1) \cotg(\varphi)$                                  | $N_c$           |      | 5,14                 |
| $N_q=e^{(\pi \cdot \tan \varphi)} \tan^2(45^\circ+\varphi/2)$ | $N_q$           |      | 1,00                 |
| $N_\gamma=(N_q-1) \tan(1.4 \varphi)$                          | $N_\gamma$      |      | 0,00                 |
| Fattori adimensionali correttivi di forma della fondazione    |                 |      |                      |
| $s_c=1+0.2 K_p(B/L)$  | $s_c$           |      | 1,15                 |
| $s_q=1+0.1 K_p(B/L)$  | $s_q$           |      | 1,05                 |
| $s_\gamma=1+0.1 K_p(B/L)$                                     | $s_\gamma$      |      | 1,05                 |
| Fattori adimensionali correttivi di profondità                |                 |      |                      |
|   | Riferiti a B'   |      | Riferiti a L'        |
| $d_c=1+0.2 K_p^{0.5}(D/B')$                                   | $d_{c,B'}$      | 1,14 | $d_{c,L'}$ 1,10      |
| $d_q=1+0.1 K_p^{0.5}(D/B')$                                   | $d_{q,B'}$      | 1,07 | $d_{q,L'}$ 1,05      |
| $d_\gamma=1+0.1 K_p^{0.5}(D/B')$                              | $d_{\gamma,B'}$ | 1,07 | $d_{\gamma,L'}$ 1,05 |
| Fattori adimensionali correttivi dell'inclinazione del carico |                 |      |                      |
|   | Lungo x         |      | Lungo y              |
| $i_c=(1-i/90)^2$  | $i_{c,x}$       | 1,00 | $i_{c,y}$ 0,88       |
| $i_q=(1-i/90)^2$  | $i_{q,x}$       | 1,00 | $i_{q,y}$ 0,88       |
| $i_\gamma=(1-i/\varphi)^2$                                    | $i_{\gamma,x}$  | 1,00 | $i_{\gamma,y}$ 1,00  |

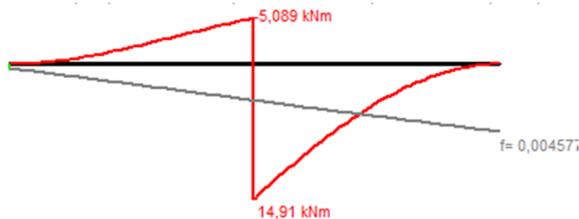
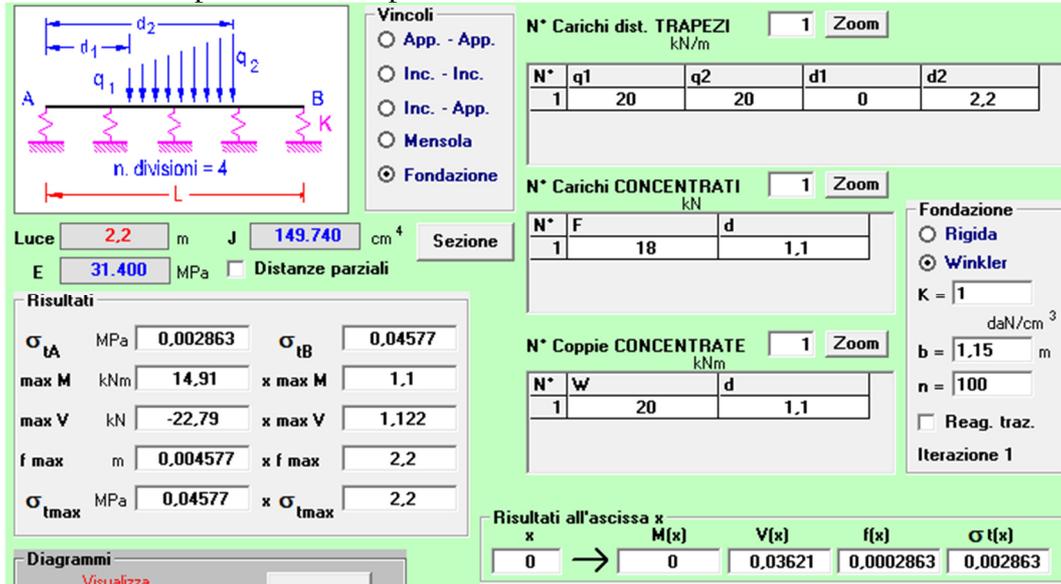
CALCOLO DELLA CAPACITA' PORTANTE

|   |                 |      |                     |
|---|-----------------|------|---------------------|
| Calcolo della capacità portante limite  |                 |      |                     |
| $q_{lim,x}=c \cdot N_c \cdot s_c \cdot d_{c,B'} \cdot i_{c,x} / \gamma_c + 0.5 \cdot B' \cdot \gamma \cdot N_\gamma \cdot s_\gamma \cdot d_{\gamma,B'} \cdot i_{\gamma,x} / \gamma_\gamma + \gamma_r \cdot D \cdot N_q \cdot s_q \cdot d_{q,B'} \cdot i_{q,x} / \gamma_q$ | $q_{lim,x}$     | 1,10 | daN/cm <sup>2</sup> |
| $q_{lim,y}=c \cdot N_c \cdot s_c \cdot d_{c,L'} \cdot i_{c,y} / \gamma_c + 0.5 \cdot L' \cdot \gamma \cdot N_\gamma \cdot s_\gamma \cdot d_{\gamma,L'} \cdot i_{\gamma,y} / \gamma_\gamma + \gamma_r \cdot D \cdot N_q \cdot s_q \cdot d_{q,L'} \cdot i_{q,y} / \gamma_q$ | $q_{lim,y}$     | 0,94 | daN/cm <sup>2</sup> |
| Coefficiente di sicurezza $\gamma_R$ dell'approccio adottato  | $\gamma_R (R3)$ | 2,30 |                     |

|  |           |                                |
|--|-----------|--------------------------------|
| <b>Capacità portante ammissibile</b>                             | $q_{amm}$ | <b>0,41 daN/cm<sup>2</sup></b> |
| <b>Compressione di progetto sull'area di fondazione reagente</b> | $q_{Ed}$  | <b>0,36 daN/cm<sup>2</sup></b> |

### 8.5.1.1 Verifica strutturale della fondazione del plinto del generico palo

Si esamina la suola del plinto in 1 camp.



Momento flettente



Taglio

Verifica di resistenza a momento flettente della sezione 115x25 armata con barre  $\varnothing 10/20$  inferiori e superiori.

Titolo : \_\_\_\_\_

N° strati barre | 2 | Zoom

| N° | b [cm] | h [cm] | N° | As [cm²] | d [cm] |
|----|--------|--------|----|----------|--------|
| 1  | 115    | 25     | 1  | 4,71     | 6      |
|    |        |        | 2  | 4,71     | 19     |

Sollecitazioni: S.L.U. Metodo n

N<sub>Ed</sub> 0 kN  
M<sub>xEd</sub> 0 kNm  
M<sub>yEd</sub> 0 kNm

P.to applicazione N: Centro Baricentro cls Coord.[cm]  
xN 0 yN 0

Tipo rottura: Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

Materiali: B450C C25/30

E<sub>su</sub> 67,5 ‰ E<sub>c2</sub> 2 ‰  
f<sub>yd</sub> 391,3 N/mm² E<sub>cu</sub> 3,5 ‰  
E<sub>s</sub> 200.000 N/mm² f<sub>cd</sub> 14,17 ‰  
E<sub>s</sub>/E<sub>c</sub> 15 f<sub>cc</sub>/f<sub>cd</sub> 0,8  
E<sub>syd</sub> 1,957 ‰ σ<sub>c,adm</sub> 9,75  
σ<sub>s,adm</sub> 255 N/mm² τ<sub>co</sub> 0,6  
τ<sub>c1</sub> 1,829

M<sub>xRd</sub> 41,78 kNm  
σ<sub>c</sub> -14,17 N/mm²  
σ<sub>s</sub> 391,3 N/mm²  
ε<sub>c</sub> 3,5 ‰  
ε<sub>s</sub> 20,33 ‰  
d 19 cm  
x 2,79 x/d 0,1469  
δ 0,7

Tipo Sezione: Rettan.re Trapezi a T Circolare Rettangoli Coord. DXF

Metodo di calcolo: S.L.U.+ S.L.U.- Metodo n

Tipo flessione: Retta Deviata

N° rett. 100

Calcola MRd Dominio M-N

L<sub>o</sub> 0 cm Col. modello

M-curvatura

Precompresso

Segue la verifica al taglio.

**NTC 2018 - cap. 4.1.2.3.5.1**

|  |                     |                        |
|--|---------------------|------------------------|
| larghezza minima della sezione               | b <sub>w</sub>      | 1150 mm                |
| altezza della sezione                        | h                   | 250 mm                 |
| copriferro                                   | c                   | 40 mm                  |
| altezza utile della sezione                  | d                   | 205 mm                 |
| diametro armatura longitudinale              | φ                   | 10 mm                  |
| numero di barre d'armatura tesa              | n                   | 6                      |
| area armatura longitudinale                  | A <sub>sl</sub>     | 471 mm <sup>2</sup>    |
| rapporto geometrico armatura longitudinale   | ρ                   | 0,0020 < 0,02          |
|  | k                   | 1,99                   |
| resistenza caratteristica a compressione cls | f <sub>ck</sub>     | 25 N/mm <sup>2</sup>   |
| tensione media di compressione nella sezione | σ <sub>cp</sub>     | 0,00 N/mm <sup>2</sup> |
|  | V <sub>min</sub>    | 0,49 N/mm <sup>2</sup> |
|  | V <sub>Rd,min</sub> | 115,6 kN               |
|  | V <sub>Rd</sub>     | 96,1 kN                |
| resistenza a taglio di progetto              | V <sub>Rd,d</sub>   | 115,6 kN               |
| taglio sollecitante di progetto              | V <sub>Ed</sub>     | 30,0 kN                |
| tasso di sfruttamento della sezione          |                     | 26 %                   |

Il dimensionamento delle fondazioni e dei pali di moto e laterali qui presentato necessita di una riverifica a seguito della produzione dell'elaborato esecutivo del fornitore dei tracker e per tener conto della caratterizzazione del suolo specifica dell'area di installazione.