

**REGIONE SARDEGNA**  
**Provincia di Oristano**  
*Comune di San Nicolò D'Arcidano*

**PROGETTO DEFINITIVO PER LA REALIZZAZIONE DI  
UN LOTTO DI IMPIANTI FOTOVOLTAICI DENOMINATO  
"SNARC\_TERRA ZIRINGONIS" DELLA POTENZA  
NOMINALE DI 22,78 MWp E DELLE RELATIVE OPERE  
DI CONNESSIONE, DA REALIZZARE SULLA EX CAVA  
"TERRA ZIRINGONIS" IN ZONA D.4.1 DEL COMUNE DI  
SAN NICOLO' D'ARCIDANO**

PROPONENTE

**GREEN SOLE s.r.l.**

Piazza Walther Von Vogelweide, 8  
39100 Bolzano

PROGETTO DEFINITIVO

COMMESSA  
**05\_2020**

OGGETTO:

**CALCOLI PRELIMINARI STRUTTURE**

**PD  
R03**

IL PROGETTISTA

**ing. giuseppe pipitone**

via libero grassi, 8  
91011 Alcamo (TP)

ing.giuseppipitone@gmail.com

PEC: giuseppe.pipitone@ordineingegneritrapani.it



GRUPPO DI LAVORO

- ing. Bruno Manca
- ing. Mauro Amendola
- SIC s.r.l.
- Renova s.r.l.
- dott. geol. Cosima Atzori
- ing. Silvia Exana
- ing. Ilaria Giovagnorio
- ing. Alessandra Scalas

TIMBRO E FIRMA REDATTORE



TIMBRO DEL PROPONENTE

|                    |          |                                                                 |                                                                 |                  |                  |
|--------------------|----------|-----------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|------------------|------------------|
|                    |          |                                                                 |                                                                 |                  |                  |
|                    |          |                                                                 |                                                                 |                  |                  |
| 01                 | dic 2022 | modifiche                                                       |                                                                 |                  |                  |
| 00                 | apr 2020 | emissione                                                       | ing. g. d'annibale                                              | ing. d. bonafede | ing. g. pipitone |
| REV                | DATA     | DESCRIZIONE REVISIONE                                           | ELABORAZIONE                                                    | VERIFICA         | APPROVAZIONE     |
| FORMATO:           |          | FILE DI ELABORAZIONE:                                           | FILE DI STAMPA:                                                 | SCALA:           |                  |
| ISO A4 - 210 x 297 |          | Snarc_Terra Ziringonis_PD_R03_Calcoli preliminari strutture.doc | Snarc_Terra Ziringonis_PD_R03_Calcoli preliminari strutture.pdf |                  |                  |

## Indice

|                                                               |          |
|---------------------------------------------------------------|----------|
| <b>Indice .....</b>                                           | <b>1</b> |
| 1. GENERALITÀ.....                                            | 2        |
| 2. CARATTERISTICHE DEI MATERIALI.....                         | 2        |
| 3. SCHEMA GEOMETRICO.....                                     | 3        |
| 4. ANALISI DEI CARICHI.....                                   | 4        |
| 5. PESO PROPRIO DELLA STRUTTURA (G1) E DEI PANNELLI (G2)..... | 4        |
| 6. AZIONE DEL VENTO (QW).....                                 | 5        |
| 6.1 Velocità base di riferimento .....                        | 6        |
| 6.2 Velocità di riferimento .....                             | 6        |
| 6.3 Pressione cinetica di riferimento.....                    | 7        |
| 6.4 Coefficienti di forza ( $C_F$ ).....                      | 7        |
| 7. CARICO NEVE (QS).....                                      | 9        |
| 8. VERIFICHE DI STABILITÀ DELLA FONDAZIONE .....              | 10       |

## 1. GENERALITÀ

Nella presente relazione si riportano l'analisi delle sollecitazioni e l'analisi di stabilità delle fondazioni della struttura di sostegno dei pannelli fotovoltaici dell'impianto per la produzione di energia elettrica da realizzarsi nel Comune di San Nicolò D'Arcidano (OR), in contrada Terra Ziringonis.

Sulla base delle caratteristiche geotecniche del sito e delle scelte progettuali riguardanti il layout dell'impianto, si è optato per una struttura di fondazione costituita da pali metallici infissi nel terreno. Questi pali costituiscono inoltre il montante verticale di sostegno del telaio di supporto dei pannelli fotovoltaici.

Sia il telaio, sia il montante infisso nel terreno sono costituiti da profili in acciaio zincato a caldo.

Tutti i componenti di supporto della struttura sono stati preventivamente dimensionati a livello progettuale al fine di eliminare fasi di taglio, saldature o qualunque altra tipologia di modifica strutturale da effettuarsi nella fase di installazione. Inoltre, grazie alle sue caratteristiche tecnologiche e di installazione, l'intera struttura, compresa quella di fondazione, è completamente rimovibile (struttura retrofit).

## 2. CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

Si riportano di seguito le caratteristiche dei materiali impiegati per la realizzazione dell'opera in oggetto.

### MECHANICAL CHARACTERISTICS S275JR

|                                                      |                                    |
|------------------------------------------------------|------------------------------------|
| $f_y \geq 275 \text{ N/mm}^2$                        | Tensione snervamento               |
| $f_t \geq 430 \text{ N/mm}^2$                        | Tensione di rottura                |
| $A\% \geq 22\%$                                      | Allungamento minimo                |
| $E = 210000 \text{ N/mm}^2$                          | Modulo di elasticità               |
| $G = E/[2(1+0.3)] = 81000 \text{ N/mm}^2$            | Modulo di taglio                   |
| $12 \times 10^{-6} \text{ per } ^\circ\text{C}^{-1}$ | Coefficiente di espansione termica |

Gli elementi progettati con tale acciaio sono i seguenti:

- *Pilastro diametro 26 mm*

## TERRENO DI FONDAZIONE

|          |         |                   |                           |
|----------|---------|-------------------|---------------------------|
| $\gamma$ | = 18.00 | kN/m <sup>3</sup> | peso dell'unità di volume |
| $\phi'$  | = 23°00 |                   | angolo di attrito         |
| c        | = 0.00  | N/mm <sup>2</sup> | coesione                  |

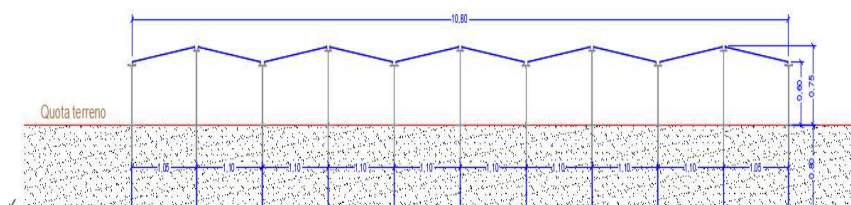
## NORME E RIFERIMENTI

Si elencano di seguito le leggi ed i regolamenti cui si è fatto riferimento per il progetto delle opere oggetto della presente relazione.

- D.M. 17 gennaio 2018 – Norme Tecniche per le Costruzioni;
- Circolare n.7 del 21.01.2019 del C.S.LL.PP.;
- Legge 2/2/74 n. 64 e DDMM 3/3/1975 – Norme tecniche per la costruzione in zone sismiche.
- Costruzioni in acciaio: Istruzioni per il calcolo, l'esecuzione, il collaudo e la manutenzione. (C.N.R. 10011/85);
- Istruzioni per la valutazione delle Azioni sulle Costruzioni. (C.N.R. 10012/85
- Circolare 2 febbraio 2009, n. 617 – Istruzioni per l'applicazione delle "Nuove norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. 14 gennaio 2008
- EUROCODICE 1 – UNI-ENV 1991-3 "Basi di calcolo ed azioni sulle strutture";
- EUROCODICE 2 – UNI-ENV 1992 "Progettazione delle strutture in calcestruzzo";
- EUROCODICE 3 – UNI EN 1993-1-1:2005 "Progettazione delle Strutture in acciaio
- EUROCODICE 7 – UNI-ENV 1997 "Progettazione geotecnica";
- EUROCODICE 8 – UNI-ENV 1997 "Indicazioni progettuali per la resistenza sismica delle strutture".

## 3. SCHEMA GEOMETRICO

Di seguito viene riportato uno schema delle dimensioni geometriche del singolo asse.

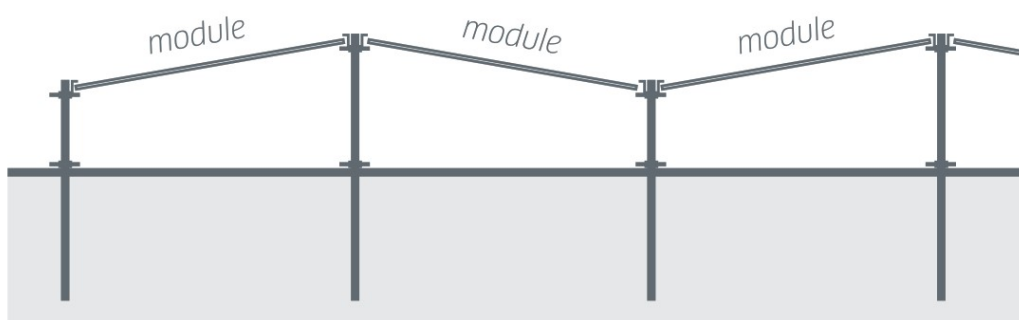


Per il calcolo di verifica è stato considerato un modello, in cui si generano le massime tensioni, con la posizione dei pannelli orizzontali  $\alpha = 8^\circ$ .

#### 4. ANALISI DEI CARICHI

Al fine di definire le sollecitazioni che la struttura in elevazione trasmette alla struttura di fondazione, si fornisce di seguito una sintetica descrizione della struttura modulare tipo (stringa elettrica).

La struttura meccanica è costituita da elementi verticali di sezione circolare, collegati l'uno con l'altro con i pannelli FTV, questi infissi mediante battitura direttamente nel terreno per una profondità di circa 800 mm .



Ciascun modulo è costituito da n. 50 pannelli disposti su 5 file sorretti da n. 60 pali costituiti da un profilato in acciaio di sezione circolare, diametro 26 mm

La verifica viene svolta sul palo in cui agisce un'area di influenza, arrotondando per eccessi, pari a 2.50 mq.

#### 5. PESO PROPRIO DELLA STRUTTURA (G1) E DEI PANNELLI (G2)

Si riporta di seguito la valutazione dell'azione alla base del singolo montante metallico prodotta dal peso proprio della struttura in elevazione.

$G_{\text{telaio}} = 0.07 \text{ kN}$  peso struttura di sostegno pannelli costituito da 4 pali due da 600 mm fuori terra, due 750 mm fuori terra, tutti infissi nel terreno per una profondità di 800mm (totali pali di sostegno  $N=4$  per modulo FVT).

$G_1 = \underline{\underline{0.33 \text{ kN}}}$  peso della struttura su un palo;

*Carichi permanenti non strutturali (G2)*

Il sovraccarico permanente è costituito dai pannelli fotovoltaici:

- $G_{\text{pannello}} = 0,27 \text{ kN}$  peso singolo pannello;
- $N = 50$  numero totale pannelli;

- $G_{\text{Tot. pannelli}} = 12.75 \text{ kN}$  peso complessivo dei 50 pannelli;
  - $\text{Area Pannelli lorda} = 116.08 \text{ m}^2$  Area complessiva pannelli;
  - $\text{Area palo} = 2.5 \text{ m}^2$  Area di influenza di un generico palo in condizione di carico più gravoso ;
- $G_2 = \underline{\underline{0.26 \text{ kN}}}$  peso pannelli sul palo (condizione più gravosa).;

## 6. AZIONE DEL VENTO (QW)

Il carico da vento viene determinato in accordo con il D.M. 17 gennaio 2018 – Norme Tecniche per le Costruzioni e con la Circolare n.7 del 21.01.2019.

Il sito ove sorgerà la costruzione ricade in zona 6 e si trova ad un'altitudine di 29.15 m circa sul s.l.m. Il sito è caratterizzato, inoltre, da una classe di rugosità del terreno D. La classe di esposizione è la II.



| Zona | Descrizione                                                                                                                         | $v_{b,0}$ [m/s] | $a_0$ [m] | $k_s$ |
|------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|-----------|-------|
| 1    | Valle d'Aosta, Piemonte, Lombardia, Trentino Alto Adige, Veneto, Friuli Venezia Giulia (con l'eccezione della provincia di Trieste) | 25              | 1000      | 0,40  |
| 2    | Emilia Romagna                                                                                                                      | 25              | 750       | 0,45  |
| 3    | Toscana, Marche, Umbria, Lazio, Abruzzo, Molise, Puglia, Campania, Basilicata, Calabria (esclusa la provincia di Reggio Calabria)   | 27              | 500       | 0,37  |
| 4    | Sicilia e provincia di Reggio Calabria                                                                                              | 28              | 500       | 0,36  |
| 5    | Sardegna (zona a oriente della retta congiungente Capo Teulada con l'Isola di Maddalena)                                            | 28              | 750       | 0,40  |
| 6    | Sardegna (zona a occidente della retta congiungente Capo Teulada con l'Isola di Maddalena)                                          | 28              | 500       | 0,36  |
| 7    | Liguria                                                                                                                             | 28              | 1000      | 0,54  |
| 8    | Provincia di Trieste                                                                                                                | 30              | 1500      | 0,50  |
| 9    | Isole (con l'eccezione di Sicilia e Sardegna) e mare aperto                                                                         | 31              | 500       | 0,32  |

## 6.1 Velocità base di riferimento

La velocità base di riferimento viene determinata dal capitolo 3.3.1 del D.M. 17 gennaio 2018 – Norme Tecniche per le Costruzioni, con la seguente espressione:

$$V_b = V_{b,0} * C_a$$

$$C_a = 1 \text{ (essendo } a_s = 29.15 \text{ m. altitudine s.l.m del sito } < a_0 = 500 \text{ m. )}$$

$$V_b = V_{b,0} * C_a = V_{b,0} = 28 \text{ m/s}$$

## 6.2 Velocità di riferimento

L'impianto fotovoltaico si trova nel comune di San Nicolò D'Arcidano, in provincia di Oristano. La velocità base di riferimento è il valore medio su 10 minuti, a 10 m di altezza sul suolo su un terreno pianeggiante e omogeneo di categoria di esposizione II (vedi Tab. 3.3.II), riferito ad un periodo di ritorno = 50 anni.

La 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,...)

$$V_r = V_b * C_r$$

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

$$V_r = V_b * C_r = 28 \text{ m/s}$$

### 6.3 Pressione cinetica di riferimento.

La pressione cinetica di riferimento viene determinata dalla seguente espressione definita nel capitolo 3.3.6 del D.M. 17 gennaio 2018 – Norme Tecniche per le Costruzioni:

$$q_r = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_{br}^2$$

dove:  $\rho$  è la densità dell'aria pari ad  $1.25 \text{ kg/m}^3$  e  $v_{br} = 28 \text{ m/s}$

$$q_r = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_{br}^2 = 0.5 \cdot 1.25 \cdot 28^2 = 490 \text{ N/m}^2$$

**$q_r = 490 \text{ N/m}^2$  (Pressione cinetica di riferimento)**

### 6.4 Coefficienti di forza ( $C_F$ )

Conformemente a quanto previsto dalla Circolare del C.S.LL.PP. n.7 del 21.01.2019 l'azione del vento sulle tettoie ad una falda sarà schematizzata attraverso forze  $F$  risultanti dal campo di pressioni sulla superficie della falda della tettoia, dirette ortogonalmente ad essa.

Tali forze sono quantificate dal prodotto tra la pressione cinetica, i coefficienti di forza ( $C_F$ ), la superficie della falda in esame e sono applicate in punti diversi a seconda della tipologia di tettoia.

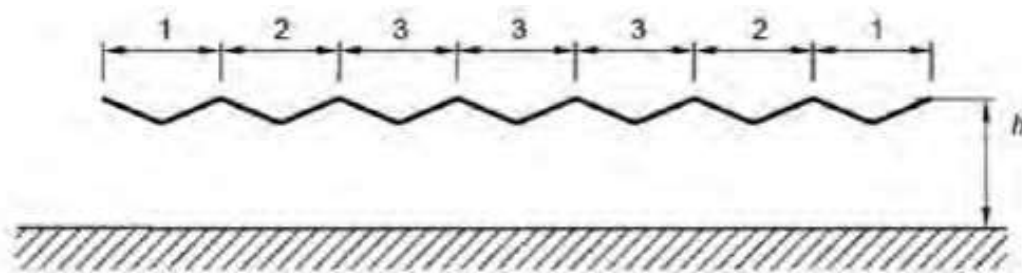
$$F = q_r \cdot C_F \cdot L^2$$

La Circolare definisce anche il coefficiente di bloccaggio  $\Phi$  come il rapporto tra l'area esposta al vento di un eventuale ostruzione presente al di sotto della tettoia e l'area totale della superficie ortogonale alla direzione del vento al di sotto della tettoia.

Nel Modello di configurazione con pannelli posizionati  $\alpha = 8^\circ$  ed altezza della linea di gronda pari a 0.60 m il coefficiente di bloccaggio viene posto:



secondo la posizione del punto di applicazione della forza risultante in funzione della direzione di provenienza del vento e della direzione della forza è indicata nel caso di tettoie a falda multipla ( fig. C.3.3.25) dalla Circolare 7 – paragrafo C3.3.8.2.3



**Figura C3.3.25 - Tettoie a falda multipla: individuazione dei vari elementi**

**Tabella C3.3.XVII - Coefficienti di forza per tettoie a semplice falda ( $\alpha$  in  $^\circ$ ).**

| Elemento n. | Posizione     | Fattori riduttivi per tutti i valori di $\phi$ |               |
|-------------|---------------|------------------------------------------------|---------------|
|             |               | per $c_F > 0$                                  | per $c_F < 0$ |
| 1           | Primo campo   | 1,0                                            | 0,8           |
| 2           | Secondo campo | 0,9                                            | 0,7           |
| 3           | Altri campi   | 0,7                                            | 0,7           |

Il calcolo delle azioni del vento sarà eseguito, considerando il palo più gravoso, nelle due configurazioni: piano pannelli  $\alpha = 8^\circ$

Area palo = 2.5 m<sup>2</sup> Area di influenza del palo

*Coefficiente di forza per tettoia a falda multipla*

### **Condizione piano pannelli $\alpha = 8^\circ$**

Valori positivi:  $C_F = 1$

(Valori positivi)  $F = q_r * C_F * L_2 = 490 * 1 * 2.5 = 1225 \text{ N} = 12.25 \text{ kN}$

Valori negativi:

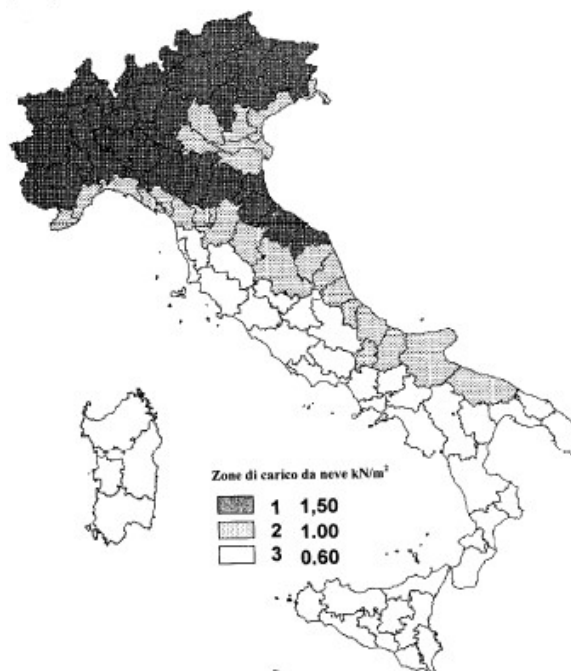
per  $f=0$   $C_F=0.7$

(Valori negativi)  $F = q_r * C_F * L_2 = 490 * (-0.7) * 2.5 = - 857.50 \text{ kN} = - 8.57 \text{ kN}$

## 7. CARICO NEVE (QS)

Si riporta il calcolo delle sollecitazioni alla base del singolo palo metallico prodotte dal carico neve sui pannelli fotovoltaici.

*Zonizzazione del territorio italiano ai fini del calcolo del carico neve.*



$C_e$  (coeff. di esposizione al vento) = 1,00

Zona Neve = III ; Copertura ad una falda:

Valore caratteristico del carico al suolo ( $q_{sk} C_e$ ) = 0,62 kN/mq

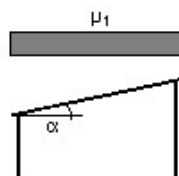
$A_{rea\ palo} = 2.5\ m^2$  Area di influenza del palo centrale (escluso area vuoti libera);

**piano piannello  $\alpha = 8^\circ$**

Angolo di inclinazione della falda  $\alpha = 20,0^\circ$   $\mu_1 = 0,13 \Rightarrow Q_1 = 0,08\ kN/mq$

**Carico Neve Palo centrale =  $0,08 \cdot 2.5 = 0.2\ kN$**

Schema di carico:



Nella tabella seguente vengono riepilogate le azioni agenti sul palo centrale metallico di fondazione infisso nel terreno, condizione più sfavorevole .

| RIEPILOGO CARICHI AGENTI SUL PALO CENTRALE |       |    |                         |
|--------------------------------------------|-------|----|-------------------------|
| PESO STRUTTURALE E CARICO PERMANENTE       |       |    |                         |
| G1 =                                       | 0.27  | kN | Peso struttura          |
| G2 =                                       | 0.25  | kN | Peso pannelli           |
| AZIONE NEVE                                |       |    |                         |
| Piano $\alpha = 8^\circ$                   | 0.2   | KN |                         |
| AZIONE VENTO                               |       |    |                         |
| Piano pannelli $\alpha = 8^\circ$          |       |    |                         |
| F=                                         | 12.25 | KN | Valore massimo Positivi |
| F=                                         | -8.57 | KN | Valore massimo Negativo |

## 8. VERIFICHE DI STABILITÀ DELLA FONDAZIONE

In accordo alle Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al D.M. 2018, il calcolo della capacità portante del palo infisso viene effettuato secondo l'approccio 2 delle norme summenzionate.

In particolare le verifiche saranno eseguite facendo riferimento alla seguente combinazione:

$$A1 + M1 + R3$$

dove:

- A1 = combinazione delle azioni esterne ottenuta attraverso opportuni coefficienti parziali dei carichi  $\gamma F/\gamma G$ ;
- M1 = l'insieme dei coefficienti parziali da applicare ai parametri geotecnici del terreno;
- R3 = l'insieme dei coefficienti parziali R da applicare alla resistenza caratteristica
- Rk per ottenere la resistenza geotecnica di progetto.

Secondo tale approccio le verifiche risultano soddisfatte se è verificata la seguente disuguaglianza:

$$Ed \leq Rd$$

dove:

- Ed = valore di progetto dell'azione;
- Rd = valore di progetto della resistenza del sistema geotecnico.

Il valore di progetto dell'azione Ed e della resistenza Rd vengono ottenuti amplificando –

nel caso dell'azione – e abbattendo – nel caso delle resistenze – i rispettivi valori caratteristici attraverso i coefficienti prima descritti e riportati nelle seguenti tabelle: Per la verifica della struttura si individuano, quali peggiori condizioni, quelle che si manifestano considerando agente l'azione del vento con direzione per come già sopra commentato.

#### Caratteristiche meccaniche del terreno

Angolo di attrito  $\phi = 18^\circ 00'$

Coesione  $C = 0,19 \text{ N/mm}^2$

Massa volumica del terreno:  $= 18,00 \text{ kN/m}^3$

I coefficienti parziali  $\gamma_f$  relativi alle azioni sono indicati nella Tab. 6.2.I. Ad essi deve essere fatto riferimento con le precisazioni riportate nel § 2.6.1 D.M. 14/01/2018

**Tab. 6.2.I – Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni**

|                                         | Effetto     | Coefficiente Parziale<br>$\gamma_F$ (o $\gamma_E$ ) | EQU | (A1) | (A2) |
|-----------------------------------------|-------------|-----------------------------------------------------|-----|------|------|
| Carichi permanenti $G_1$                | Favorevole  | $\gamma_{G1}$                                       | 0,9 | 1,0  | 1,0  |
|                                         | Sfavorevole |                                                     | 1,1 | 1,3  | 1,0  |
| Carichi permanenti $G_2$ <sup>(1)</sup> | Favorevole  | $\gamma_{G2}$                                       | 0,8 | 0,8  | 0,8  |
|                                         | Sfavorevole |                                                     | 1,5 | 1,5  | 1,3  |
| Azioni variabili $Q$                    | Favorevole  | $\gamma_Q$                                          | 0,0 | 0,0  | 0,0  |
|                                         | Sfavorevole |                                                     | 1,5 | 1,5  | 1,3  |

<sup>(1)</sup> Per i carichi permanenti  $G_2$  si applica quanto indicato alla Tabella 2.6.I. Per la spinta delle terre si fa riferimento ai coefficienti  $\gamma_{G1}$

Nella valutazione della combinazione delle azioni i coefficienti di combinazione  $\psi_{ij}$  vengono assunti come specificato nel Cap. 2.

**Tabella 2.5.I – Valori dei coefficienti di combinazione**

| Categoria/Azione variabile                                                | $\Psi_{0j}$ | $\Psi_{1j}$ | $\Psi_{2j}$ |
|---------------------------------------------------------------------------|-------------|-------------|-------------|
| Categoria A Ambienti ad uso residenziale                                  | 0,7         | 0,5         | 0,3         |
| Categoria B Uffici                                                        | 0,7         | 0,5         | 0,3         |
| Categoria C Ambienti suscettibili di affollamento                         | 0,7         | 0,7         | 0,6         |
| Categoria D Ambienti ad uso commerciale                                   | 0,7         | 0,7         | 0,6         |
| Categoria E Biblioteche, archivi, magazzini e ambienti ad uso industriale | 1,0         | 0,9         | 0,8         |
| Categoria F Rimesse e parcheggi (per autoveicoli di peso $\leq 30$ kN)    | 0,7         | 0,7         | 0,6         |
| Categoria G Rimesse e parcheggi (per autoveicoli di peso $> 30$ kN)       | 0,7         | 0,5         | 0,3         |
| Categoria H Coperture                                                     | 0,0         | 0,0         | 0,0         |
| Vento                                                                     | 0,6         | 0,2         | 0,0         |
| Neve (a quota $\leq 1000$ m s.l.m.)                                       | 0,5         | 0,2         | 0,0         |
| Neve (a quota $> 1000$ m s.l.m.)                                          | 0,7         | 0,5         | 0,2         |
| Variazioni termiche                                                       | 0,6         | 0,5         | 0,0         |

**Tab. 6.2.II – Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno**

| Parametro                                    | Grandezza alla quale applicare il coefficiente parziale | Coefficiente parziale $\gamma_M$ | (M1) | (M2) |
|----------------------------------------------|---------------------------------------------------------|----------------------------------|------|------|
| Tangente dell'angolo di resistenza al taglio | $\tan \varphi'_k$                                       | $\gamma_{\varphi'}$              | 1,0  | 1,25 |
| Coesione efficace                            | $c'_k$                                                  | $\gamma_c$                       | 1,0  | 1,25 |
| Resistenza non drenata                       | $c_{uk}$                                                | $\gamma_{cu}$                    | 1,0  | 1,4  |
| Peso dell'unità di volume                    | $\gamma_r$                                              | $\gamma_\gamma$                  | 1,0  | 1,0  |

**Resistenza per carichi assiali**

Il valore di progetto  $R_d$  della resistenza si ottiene a partire dal valore caratteristico  $R_k$  applicando i coefficienti parziali  $\gamma_R$  della Tab. 6.4.II.

**Tab. 6.4.II – Coefficienti parziali  $\gamma_R$  da applicare alle resistenze caratteristiche a carico verticale dei pali**

| Resistenza               | Simbolo       | Pali infissi | Pali trivellati | Pali ad elica continua |
|--------------------------|---------------|--------------|-----------------|------------------------|
|                          | $\gamma_R$    | (R3)         | (R3)            | (R3)                   |
| Base                     | $\gamma_b$    | 1,15         | 1,35            | 1,3                    |
| Laterale in compressione | $\gamma_s$    | 1,15         | 1,15            | 1,15                   |
| Totale (*)               | $\gamma$      | 1,15         | 1,30            | 1,25                   |
| Laterale in trazione     | $\gamma_{st}$ | 1,25         | 1,25            | 1,25                   |

(\*) da applicare alle resistenze caratteristiche dedotte dai risultati di prove di carico di progetto.

Una volta determinata la resistenza caratteristica del palo  $R_k$ , la resistenza di progetto  $R_d$  viene determinata attraverso la seguente espressione:

$$R_d = R_k / \xi$$

essendo  $\xi$  (fattore di correlazione) un fattore funzione del numero di verticali di indagine.

Con riferimento alle procedure analitiche che prevedano l'utilizzo dei parametri geotecnici o dei risultati di prove in sito, il valore caratteristico della resistenza  $R_{c,k}$  (o  $R_{t,k}$ ) è dato dal minore dei valori ottenuti applicando al valore medio e al valore minimo delle resistenze calcolate  $R_{c,cal}$  ( $R_{t,cal}$ ) i fattori di correlazione riportati nella Tab. 6.4.IV, in funzione del numero  $n$  di verticali di indagine

$$R_{c,k} = \text{Min} \left\{ \frac{(R_{c,cal})_{media}}{\xi_3}, \frac{(R_{c,cal})_{min}}{\xi_4} \right\}$$

$$R_{t,k} = \text{Min} \left\{ \frac{(R_{t,cal})_{media}}{\xi_3}, \frac{(R_{t,cal})_{min}}{\xi_4} \right\}$$

Tab. 6.4.IV - Fattori di correlazione  $\xi$  per la determinazione della resistenza caratteristica in funzione del numero di verticali indagate

| Numero di verticali indagate | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | 7    | $\geq 10$ |
|------------------------------|------|------|------|------|------|------|-----------|
| $\xi_3$                      | 1,70 | 1,65 | 1,60 | 1,55 | 1,50 | 1,45 | 1,40      |
| $\xi_4$                      | 1,70 | 1,55 | 1,48 | 1,42 | 1,34 | 1,28 | 1,21      |

## CALCOLO CARICO LIMITE VERTICALE IN TRAZIONE

Si riporta di seguito la verifica della capacità portante del palo infisso nella condizione più gravosa che si manifesta in condizioni di trazione,

### VERIFICA

La condizione più gravosa per pannello con inclinazione  $\alpha=8$  si ha per azione del vento negativo ossia dal basso verso l'alto. Nel calcolo delle combinazioni delle azioni si considerano il peso  $G1$  e  $G2$ , non si considera l'effetto combinato della neve in quanto detto carico ha un effetto favorevole.

Per la determinazione del massimo sforzo vale l'espressione generale:

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

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

$$F_{Ed} = \gamma_{G1} G_1 + \gamma_{G2} G_2 + \gamma_{Q1} Q_{k1} + \gamma_{Q2} \psi_{02} Q_{k2} + \dots$$

### **Azione assiale verticale negativa**

$$F_{Ed} = 0,9 \times 0,25 + 0,8 \times 0,25 - 1,5 \times 6,24 - 1,15 \times 1,900 = 12.414 \text{ KN}$$

$\gamma_{Qi} = 1,5$  azione sfavorevole (tabella 2.6.I colonna A1 - azione sfavorevole)

$\gamma_{G1} = 0,8$  -  $\gamma_{G1} = 0,9$  (tabella 2.6.I colonna A1 - azione favorevole) -

### **Azione resistente**

$$Q_l = A_p \times \Delta L_p \times S =$$

- $A_p$ = Superficie punta al palo =  $0.05 \text{ cm}^2$
- $L_p$ = Lunghezza palo infisso =  $0.80 \text{ m}$
- $\sigma_h$ = tensione orizzontale =  $\gamma \times z \times K$
- $S$  = resistenza unitaria all'interfaccia palo terreno  $\sigma_h \times \tan \delta$  (con  $\delta=\phi$ )

$$Q_l = A_p \times \Delta L_p \times \sigma_h \times \tan \delta = 61.25 \text{ KN}$$

$$\text{Coeff. } \zeta_3 = 1,70$$

$$R_{tk} = Q_{lim}/\zeta_3 = 36.02 \text{ KN}$$

Applico Coeff.  $\gamma_{R3} = 2,3$  (Tabella 4.6.I) -  **$R_3 = 1,25$  - profilato in trazione**

$$R_{tk} = R_k/\gamma_{R3} = 28.82 \text{ KN}$$

Risulta pertanto

$$N_{ed} < R_{tk} = 12,412 \text{ KN} < 28.82 \text{ KN}$$

**Come si evince dai risultati ottenuti la verifica risulta soddisfatta.**

### **CALCOLO CARICO LIMITE VERTICALE IN TRAZIONE**

L'Azione vento si scompone nelle forze  $F_v$ , verticale ed  $F_o$ , orizzontale.

In particolare, considerando la massima azione del vento  **$F_{max} = 12.25 \text{ KN}$**  determinata per azione del vento negativa, si ha :

$$F_v = F \cos \alpha = - 12.13 \text{ KN}$$

$$F_o = F \sin \alpha = 0.31 \text{ KN}$$

Verifica per azioni verticali

Vale sempre l'espressione:

$$F_{Ed} = \gamma_{G1} G1 + \gamma_{G2} G2 + \gamma_{Q1} Qk1 + \gamma_{Q2} \psi_{02} Qk2 + \dots$$

Risulta in questo caso:  **$F_{Ed} = 0,9 \times 0.27 + 0,8 \times 0.25 - 1,5 \times 12.13 = 13.84 \text{ KN}$**

$\gamma_{Qi} = 1,5$  azione sfavorevole (tabella 2.6.I colonna A1 - azione sfavorevole)

$\gamma_{G1} = 0,8$  -  $\gamma_{G1} = 0,9$  (tabella 2.6.I colonna A1 - azione favorevole) -

Per quanto già sopra determinato risulta

$$N_{ed} < R_{tk} = 13.84 \text{ KN} < 28.82 \text{ KN}$$

Come si evince dai risultati ottenuti la verifica risulta soddisfatta.