

REGIONE LAZIO

Comune di Viterbo

PROGETTO DEFINITIVO

PROGETTO DEFINITIVO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO AGRIVOLTAICO SITO NEL COMUNE DI VITERBO DELLA POTENZA DI PICCO PARI A 28.584,0 kWp E POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 23.868 kW E DELLE RELATIVE OPERE DI CONNESSIONE NEI COMUNI DI VITERBO E TUSCANIA (VT)

TITOLO

Calcoli preliminari dimensionamento strutture

PROGETTAZIONE



SR International S.r.l.
C.so Vittorio Emanuele II, 282-284 - 00186 Roma
Tel. 06 8079555 - Fax 06 80693106
C.F e P.IVA 13457211004



BARTOLAZZI
ANDREA
Ingegnere
12.09.2022
16:56:20
GMT+01:00



PROPONENTE

FRV 2201 S.r.l.

FRV 2201 S.r.l.
Con sede legale a Torino (TO)
Via Assarotti 7 - 10122
C.F. e P.IVA 12696040018
PEC: frv2201@hyperpec.it

DocuSigned by:

A368684FD1C04C6...

Revisione	Data	Elaborato	Verificato	Approvato	Descrizione
00	01/05/2022	Lauretti	Bartolazzi	FRV 2201 S.r.l.	Calcoli preliminari strutture

N° DOCUMENTO

FRV-VTB-CPS

SCALA

-

FORMATO

A4

INDICE

1. PREMESSA	3
2. STRUTTURE.....	3
3. CARATTERISTICHE DEI MODULI FOTOVOLTAICI	4
4. NORMATIVA DI RIFERIMENTO.....	4
5. MATERIALI	5
6. AZIONI SULLE COSTRUZIONI	5
6.1. PESI PROPRI STRUTTURALI E CARICHI PERMANENTI	5
6.2. AZIONE DEL VENTO	6
6.3. CARICO NEVE	7
6.4. AZIONE SISMICA.....	8
7. COMBINAZIONI DI CARICO	10
8. ANALISI STRUTTURALE	12
8.1. MODELLO STRUTTURALE UTILIZZATO	12
8.2. VERIFICHE STRUTTURALI PRELIMINARI	12
8.3. VERIFICA DI CAPACITÀ PORTANTE DELLA FONDAZIONE DEI PALI	16
9. CONCLUSIONI	17

1. PREMESSA

La presente relazione illustra le strutture che andranno a sostenere i pannelli fotovoltaici che compongono l'impianto fotovoltaico in progetto.

La scelta della tipologia di fondazione da impiegare nell'ambito della realizzazione di un impianto fotovoltaico è dettata da diversi fattori: dimensione ed importanza dell'impianto; caratteristiche geotecniche del sito; posizionamento ed accessibilità dello stesso; tempistiche di realizzazione dell'impianto.

In via del tutto generale, un impianto fotovoltaico necessiterà di una fondazione di dimensioni ridotte, facilmente realizzabile, in grado di poter essere facilmente rimossa o addirittura riutilizzata una volta terminato il ciclo di vita utile del sito.

Gli impianti fotovoltaici, data la loro estesa superficie e la struttura leggera, sono fortemente soggetti all'azione del vento. Le fondazioni dovranno perciò sopportare carichi verticali relativamente bassi a fronte di ingenti momenti ribaltanti, tali da poter generare addirittura sforzi di trazione in fondazione.

Aggiungendo a queste considerazioni il fatto che molto spesso tali impianti vengono a realizzarsi in ambiti rurali in tempi relativamente brevi, dato il forte grado di prefabbricazione degli elementi che li costituiscono e di rapidi tempi di posa in opera, si ritiene che una scelta ottimale per le fondazioni sia quella che prevede l'impiego di pali infissi o a vite, soprattutto per gli impianti a terra.

2. STRUTTURE

Per la realizzazione dell'impianto si sono scelte strutture in acciaio zincato adatte a posa diretta tramite infissione nel terreno.

La struttura nel suo complesso si compone di telai replicati ad interasse di circa 3/4 m costituiti da montanti verticali singoli. L'impianto prevede installazioni di strutture fisse costituite da montanti verticali singoli, da un traverso di collegamento in testa al montante su cui sono impostati correnti longitudinali di collegamento ai pannelli. Ciascun elemento strutturale è in acciaio zincato tipo S275.

La lunghezza del tratto infisso dei pali sarà compresa fra i 2,00 e i 3,00 metri. Opportune prove di estrazione e carico preventive dovranno poi essere realizzate in sito ai fini della progettazione esecutiva dell'impianto e dell'ottimizzazione delle strutture di fondazione.

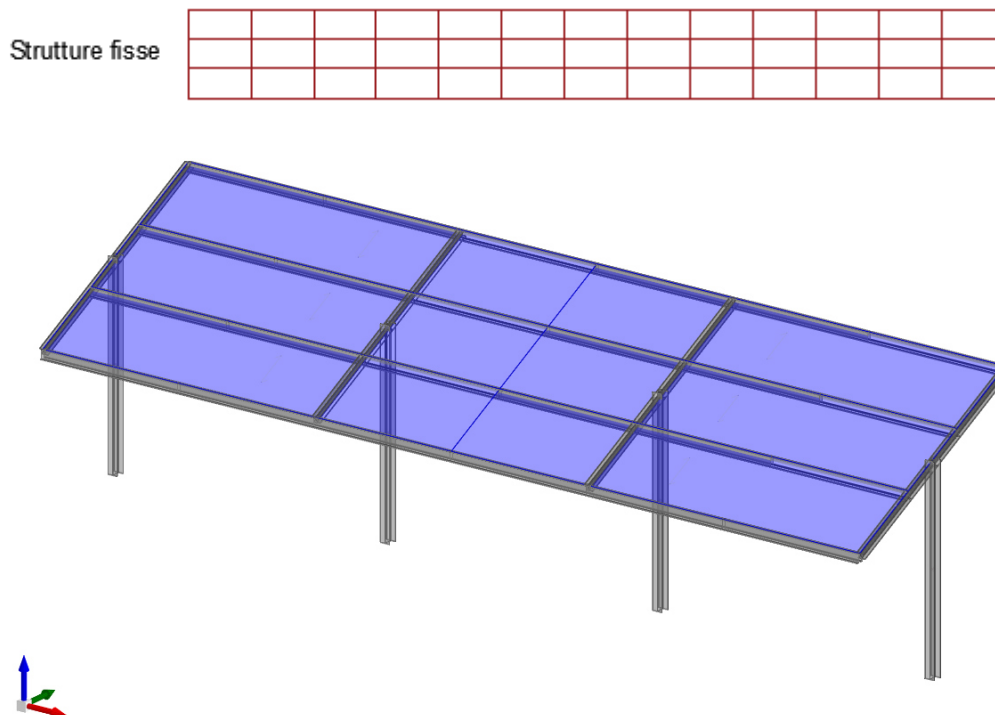
Ciascun palo sarà equipaggiato con un ritto verticale in acciaio zincato di lunghezza adeguata al fine di consentire la posa di profili metallici diagonali, inclinati sull'orizzontale dell'angolo di tilt di progetto, sui quali posare i binari metallici longitudinali di supporto dei pannelli fotovoltaici. I pannelli saranno ancorati ai binari tramite opportuni morsetti a vite di fissaggio.

L'infissione dei pali, ricoperti con uno strato adeguato di zincatura contro la corrosione, avviene tramite battitura con apposita macchina battipalo in modo da ridurre al minimo l'impiego di opere in calcestruzzo ed evitare il rilascio nell'ambiente di qualsiasi residuo di lavorazione.

Il sistema strutturale composto da pali infissi e ritte superiori di altezza e posizione variabile, permette anche di compensare eventuali dislivelli del terreno mantenendo costante l'allineamento e riducendo potenziali problemi di ombreggiamento tra gli impianti.

Le altre parti meccaniche che completano la struttura saranno quindi fissate mediante viteria, bulloni e staffaggio al palo, così come gli stessi moduli fotovoltaici.

Il progetto in questione è localizzato nel Comune di Viterbo (Lat. 42.501749°, Long. 11.975375°) e si prevede di realizzare strutture fisse, inclinate di 30° rispetto al suolo, in configurazione di tre moduli uniti sul lato più lungo:



Struttura tipo- Fisso

3. CARATTERISTICHE DEI MODULI FOTOVOLTAICI

Per una descrizione più completa fare riferimento al catalogo della ditta fornitrice. Nelle verifiche riportate di seguito si sono comunque considerati pannelli aventi dimensioni $B \cdot H = 1303 \cdot 2172$ (mm) con un peso proprio di circa 35,3 (daN/m²) oltre a 2 (daN/m²) di carpenteria per fissaggio.

Le staffe di supporto si adattano alla produzione commerciale generale, in particolare nel catalogo della ditta si fa riferimento a moduli con misure standard $B \cdot H = 1303 \cdot 2172$ (mm).

I pannelli hanno carcassa in alluminio e il collegamento al supporto avviene mediante staffe in alluminio o acciaio, tasselli plastici scorrevoli di tipo rinforzato e bulloneria in acciaio inox equivalente per caratteristiche alle Classi 8.8.

4. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Le verifiche strutturali preliminari sono state eseguite in accordo alle seguenti normative nazionali:

- D.M. Infrastrutture 17 gennaio 2018: "Nuove Norme tecniche per le Costruzioni 2018" (NTC);
- Circolare C.S.LL.PP. n. 7 del 21/01/2019 "Istruzioni per l'applicazione dell'Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. 17 gennaio 2018"
- UNI EN 1993-1-3:2007 "Eurocodice 3 - Progettazione delle strutture di acciaio – Parte 1-3: Regole generali - Regole supplementari per l'impiego dei profilati e delle lamiere sottili piegati a freddo".

5. MATERIALI

Ai fini delle verifiche e dei calcoli preliminari, per l'acciaio costituente le membrature della struttura di supporto dei pannelli fotovoltaici, si utilizza il seguente:

- Acciaio tipo: S275 JR
- Tensione caratteristica di snervamento 275 MPa
- Tensione caratteristica di rottura: 430 MPa
- Modulo elastico: $E = 210.000 \text{ MPa}$
- Coefficiente di Poisson = 0.3
- Coefficiente di dilatazione termica: $\lambda = 1.2 \times 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$
- Densità: 7850 kg/m³

6. AZIONI SULLE COSTRUZIONI

Per le verifiche del sistema proposto, da effettuarsi in sede di progettazione esecutiva, si utilizzeranno i seguenti dati:

- pesi propri strutturali e carichi permanenti
- spinta del vento
- carico da neve
- variazioni termiche
- azione sismica

In prima approssimazione è possibile trascurare gli effetti derivanti dalle variazioni termiche.

Per ciascuna di queste azioni e laddove applicabile, per questo tipo di struttura si prevede una vita nominale di 30 anni. Rispetto a tale periodo di riferimento vengono calcolate le azioni così come a seguito indicato.

6.1. PESI PROPRI STRUTTURALI E CARICHI PERMANENTI

La struttura è progettata per il sostegno dei pannelli fotovoltaici e per resistere alle azioni ambientali. Sono escluse azioni derivanti da operazioni di montaggio e/o manutenzione che vengono comunque svolte da operatori a terra.

Il peso proprio dei soli pannelli fotovoltaici è pari $\sim 0.132 \text{ kN/m}^2$. Tenuto conto del peso proprio degli elementi strutturali (calcolati in automatico dal programma di calcolo), si considera cautelativamente un carico complessivo pari a 0.2 kN/m^2 per i soli pannelli e i morsetti-collegamenti.

6.2. AZIONE DEL VENTO

Località: VITERBO

Provincia: VITERBO

Regione: LAZIO

Coordinate GPS:

Latitudine : 42.501749°

Longitudine: 11.975375°

Zona vento = 3

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

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

Altitudine del sito, $A_s = 350$ m

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

Periodo di ritorno, $T_r = 50$ anni

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

Velocità riferita al periodo di ritorno di progetto, $V_r = V_b C_r = 27,00$ m/s

Classe di rugosità del terreno: D

[Aree prive di ostacoli o con al di più rari ostacoli isolati (aperta campagna, aeroporti, aree agricole, zone paludose o sabbiose, superfici innevate o ghiacciate, mare, laghi,..)]

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

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

Pressione cinetica di riferimento, $q_b = 46$ daN/mq

Coefficiente di forma, $C_p = 1,00$

Coefficiente dinamico, $C_d = 1,00$

Coefficiente di esposizione, $C_e = 1,80$

Coefficiente di esposizione topografica, $C_t = 1,00$

Altezza dell'edificio, $h = 4,00$ m

Pressione del vento, $p = q_b C_e C_p C_d = 83$ daN/mq

Il coefficiente di forza è quello relativo alle tettoie a falda singola C3.3.8.2.1

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 pari all'altezza massima h della tettoia. L'area di riferimento L^2 , ossia l'area su cui è applicata la forza risultante, è pari all'area della tettoia.

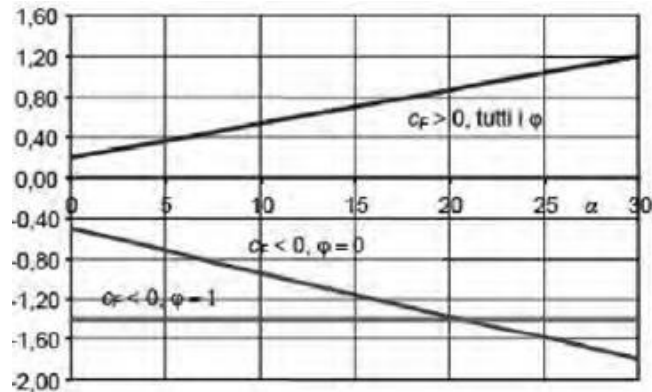
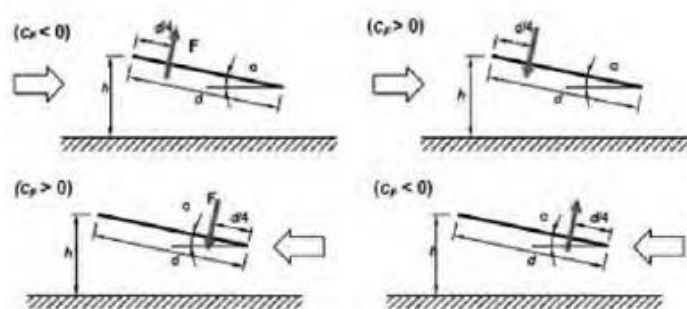


Figura C3.3.21 - Coefficienti di pressione complessiva per tettoie a semplice falda

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

Valori positivi:	Tutti i valori di ϕ	$c_F = +0,2 + \alpha/30$
Valori negativi:	$\phi = 0$	$c_F = -0,5 - 1,3 \alpha/30$
	$\phi = 1$	$c_F = -1,4$

Per il calcolo della tettoia si considerano le condizioni di carico più gravose tra le quattro indicate nella Figura C3.3.22, dove la forza risultante $F = q_p(z) L^2 c_F$



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

Figura C3.3.22

6.3. CARICO NEVE

Il carico provocato dalla neve sui pannelli è stato valutato mediante la seguente espressione:

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

dove:

q_s carico neve sulla copertura;

- μ_i coefficiente di forma della copertura. Per copertura ad un'unica falda a inclinazione $\leq 30^\circ$, il coefficiente è pari a 0,8.
- q_{sk} valore caratteristico di riferimento del carico neve al suolo [daN/m²] per un periodo di ritorno di 50 anni.
- C_e coefficiente di esposizione assunto pari a 1 in caso di topografia "normale"
- C_t coefficiente termico. Tiene conto della riduzione del carico neve a causa dello scioglimento della stessa, causata dalla perdita di calore della costruzione. In genere si pone pari a 1.

Si ipotizza che il carico agisca in direzione verticale e lo si riferisce alla proiezione orizzontale della superficie della copertura.

Normativa di riferimento:

D.M. 17 gennaio 2018 - NORME TECNICHE PER LE COSTRUZIONI

Cap. 3 - AZIONI SULLE COSTRUZIONI - Par. 3.3 e 3.4

NEVE:

Zona Neve = III

Periodo di ritorno, $T_r = 50$ anni

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

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

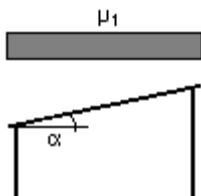
Valore caratteristico del carico al suolo = $q_{sk} C_e C_{tr} = 78$ daN/mq

Copertura ad una falda:

Angolo di inclinazione della falda $\alpha = 30,0^\circ$

$\mu_1 = 0,80 \Rightarrow Q_1 = 62$ daN/mq

Schema di carico:



6.4. AZIONE SISMICA

Il territorio di Viterbo è caratterizzato da medio alti livelli di rischio sismico. Tenuto conto delle ridotte masse strutturali e non strutturali presenti e tenuto conto che la combinazione di carico

sismica (SLU ed SLE) ai sensi delle NTC, non prevede cumulo con azioni da vento e neve (sotto la quota di 1000 m s.l.m.) si evince che l'azione sismica non risulta dimensionante ai fini delle strutture dei pannelli. Esse viene comunque considerata nelle combinazioni di calcolo, come disposto dalle vigenti NTC.

Individuazione del sito

Viterbo (VT)

Tipo di costruzione: 3 - Costruzioni rilevanti: Centrali Elettriche a Media Tensione, Centrali di cogenerazione, Impianti eolici. (DGR493_2019)

Vita nominale $V_n = 50$

Classe d'uso III $C_u = 1,5$

Periodo di riferimento $V_r = 75$

I parametri sismici del sito in oggetto sono i seguenti:

Stato limite	a_g/g	F_0	T_C^*	a_g
Operatività (SLO)	0,0579 (g)	2,497	0,258 s	0,568 m/s ²
Danno (SLD)	0,0726 (g)	2,477	0,267 s	0,712 m/s ²
Salvaguardia vita (SLV)	0,1623 (g)	2,512	0,287 s	1,593 m/s ²
Collasso (SLC)	0,1997 (g)	2,548	0,294 s	1,959 m/s ²

Per la determinazione degli spettri di progetto per i vari stati limite agli SLU si assumono i seguenti parametri:

Categoria del sottosuolo = C

Categoria topografica = T1

La struttura è stata considerata non dissipativa con fattore di struttura calcolato secondo la formula [7.3.2]

Fattore di struttura per le componenti orizzontali X - Y: $q_0 = 1.50$

Fattore di struttura per la componente verticale - Z: $q_0 = 1.00$

7. COMBINAZIONI DI CARICO

Ai fini delle verifiche agli stati limite si considerano le seguenti combinazioni delle azioni

Combinazione SLU

$$\gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{G2} \cdot G_2 + \gamma_P \cdot P + \gamma_{Q1} \cdot Q_{k1} + \gamma_{Q2} \cdot \psi_{i2} Q_{k2} + \dots$$

Combinazioni SLE – rara

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

Combinazioni SLE - frequente

$$G_1 + G_2 + P + \psi_{11} Q_{k1} + \psi_{12} Q_{k2} + \psi_{13} Q_{k3} + \dots$$

Combinazioni SLE – quasi permanente

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

Combinazione sismica

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

In cui

- G_1 carico permanente strutturale;
- G_2 carico permanente portato;
- Q_{k1} valore caratteristico del carico variabile dominante;
- Q_{ki} valore caratteristico dell'i-esimo carico variabile;

Le condizioni elementari di carico statiche assunte sono:

- G_1 $Y_{G1} = 1.3$ Carichi permanenti strutturali
- G_2 $Y_{G2} = 1.3$ Carichi permanenti non strutturali compiutamente definiti
- Q $Y_Q = 1.5$ Carichi variabili

I coefficienti parziali di combinazione

Tab. 2.5.I – Valori dei coefficienti di combinazione

Categoria/Azione variabile	Ψ_{0j}	Ψ_{1j}	Ψ_{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 – Aree per immagazzinamento, uso commerciale e uso industriale Biblioteche, archivi, magazzini e ambienti ad uso industriale	1,0	0,9	0,8
Categoria F - Rimesse , parcheggi ed aree per il traffico di veicoli (per autoveicoli di peso ≤ 30 kN)	0,7	0,7	0,6

Categoria G – Rimesse, parcheggi ed aree per il traffico di veicoli (per autoveicoli di peso > 30 kN)	0,7	0,5	0,3
Categoria H - Coperture accessibili per sola manutenzione	0,0	0,0	0,0
Categoria I – Coperture praticabili	da valutarsi caso per caso		
Categoria K – Coperture per usi speciali (impianti, eliporti, ...)			
Vento	0,6	0,2	0,0
Neve (a quota ≤ 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

8. ANALISI STRUTTURALE

8.1. MODELLO STRUTTURALE UTILIZZATO

La modellazione preliminare delle strutture di sostegno dell'impianto fotovoltaico in oggetto è stata eseguita in accordo alle Nuove Norme Tecniche sulle Costruzioni del Gennaio 2018 utilizzando il criterio di verifica agli Stati Limite.

8.2. VERIFICHE STRUTTURALI PRELIMINARI

La struttura nel suo complesso si compone di telai replicati ad interasse di circa 3/4 m costituiti da montanti verticali singoli. Per l'impianto si prevede di realizzare strutture fisse, costituite da un montante verticale, da un trasverso di collegamento in testa al montante su cui sono collegati rigidamente i trasversi di sostegno dei pannelli. Ciascun elemento strutturale è in acciaio zincato tipo S275.

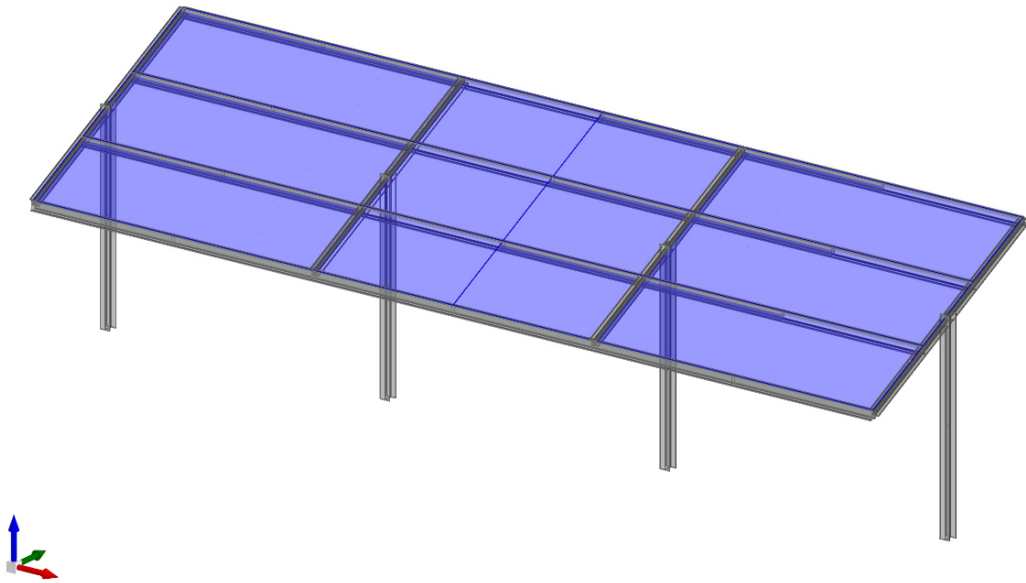


La costruzione del modello, finalizzata alla verifica degli elementi strutturali è stata eseguita facendo ricorso al programma agli elementi finiti Sismicad 12.15 della Concrete s.r.l., introducendo elementi monodimensionali D2 a due nodi e 6 g.d.l per nodo nello spazio per la definizione dei montanti, elementi monodimensionali D2 (asta tesa) per la definizione delle travi, elementi bidimensionali Shell a quattro nodi e 5 g.d.l. per nodo nello spazio per la definizione dei pannelli fotovoltaici veri e propri. A ciascun elemento sono state attribuite opportune caratteristiche geometriche e di materiale.

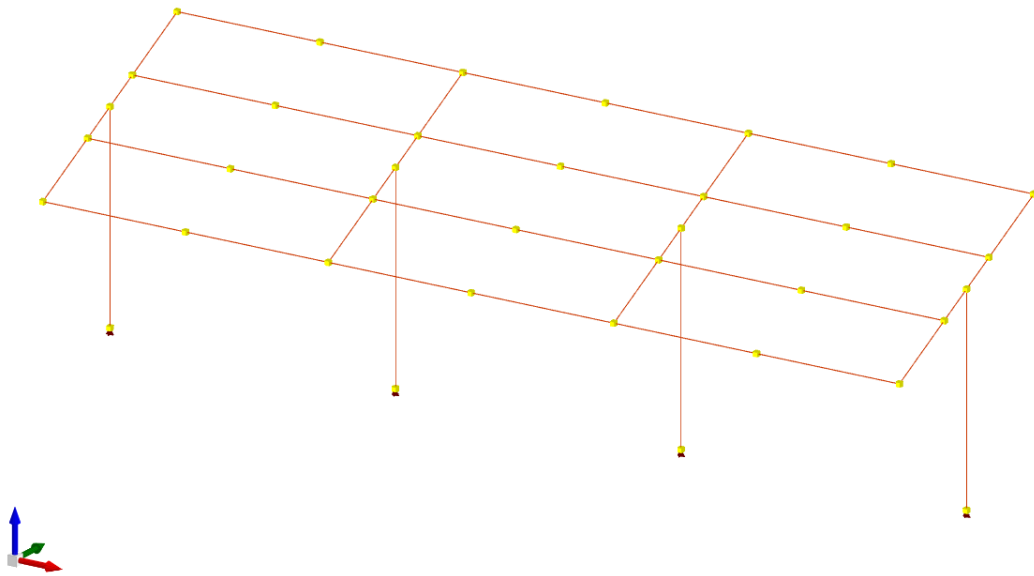
I carichi introdotti sono stati rispettivamente:

- il carico dovuto al vento e applicato in compressione e depressione sui pannelli
- il carico da neve applicato come pressione ortogonale ai pannelli
- il peso proprio della struttura valutato in maniera automatica dal programma alla luce dei materiali assegnati

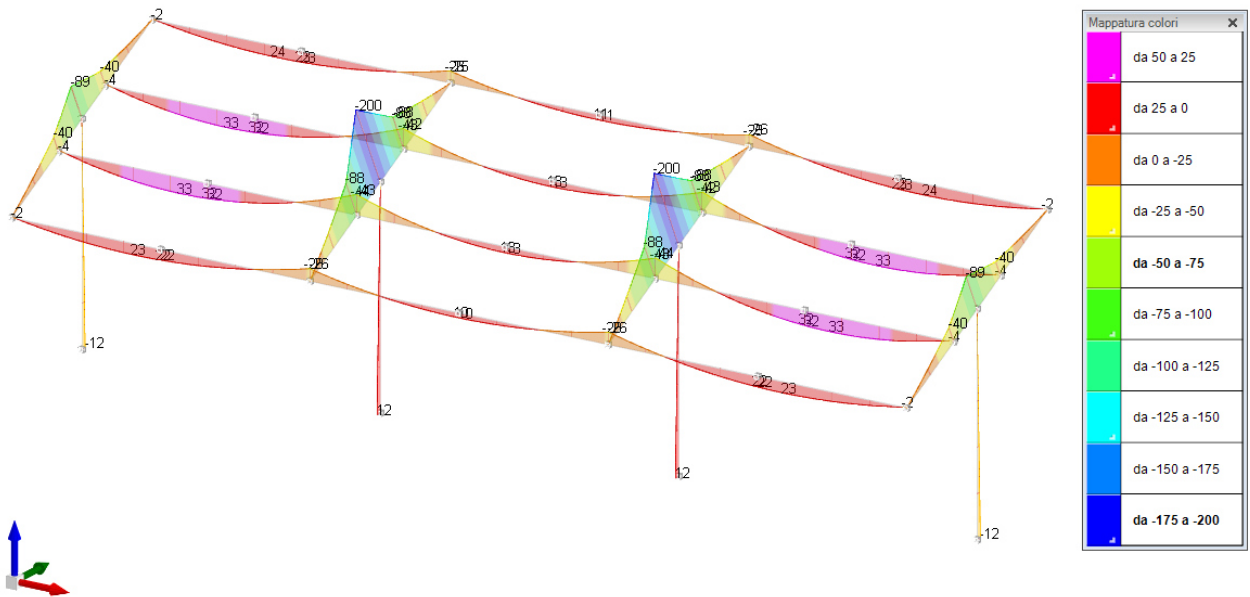
Le verifiche sono state effettuate allo Stato Limite Ultimo e allo Stato Limite di Esercizio. Di seguito si riporta una vista assonometrica del modello tridimensionale costruito.



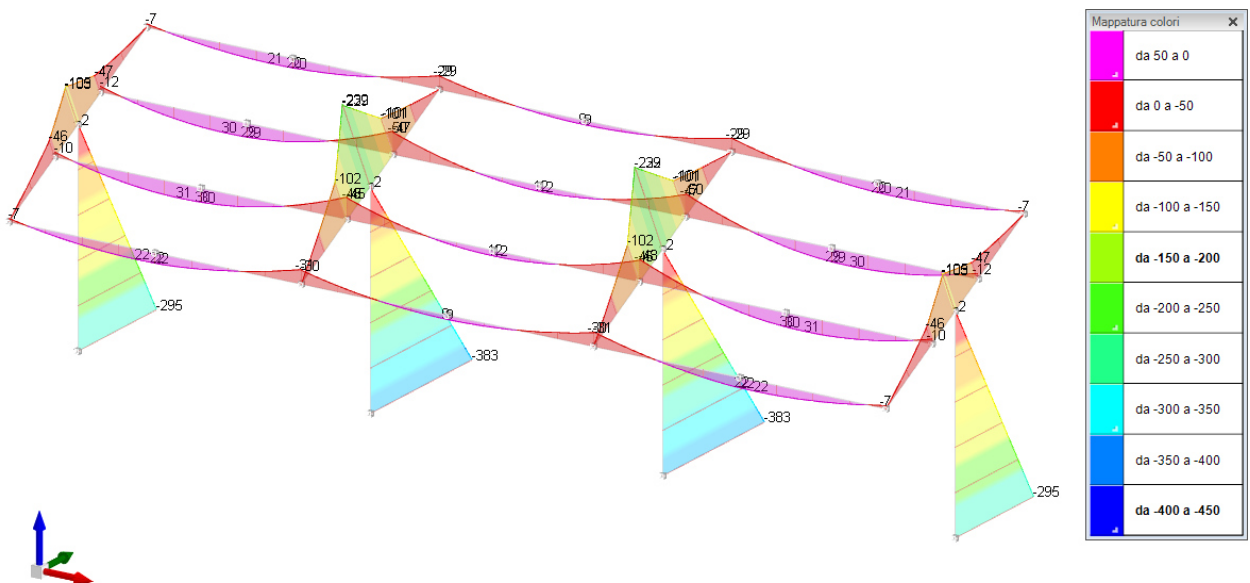
Struttura tipo - Fisse



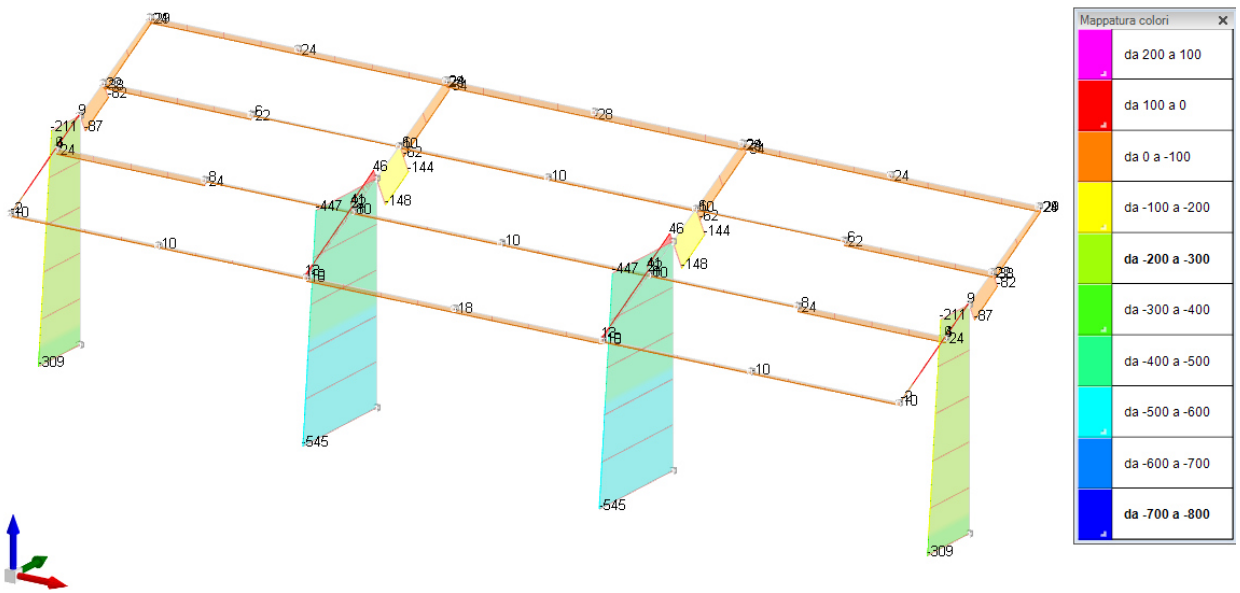
Modello FEM



Sollecitazione flettente - Pesì propri e permanenti



Sollecitazione flettente massima alla base dei pali di acciaio



Sforzo N: valori minimi-inviluppo

8.3. VERIFICA DI CAPACITÀ PORTANTE DELLA FONDAZIONE DEI PALI

Dal punto di vista della stabilità delle fondazioni delle strutture, vista l'esiguità dei carichi verticali propri, l'attenzione maggiore è dedicata alla profondità di infissione al fine di garantire la tenuta allo sfilamento derivante dall'azione del vento. Per la determinazione del massimo valore dell'azione di sfilamento esercitata sui montanti verticali infissi nel terreno si è presa in esame la combinazione di involucro delle sollecitazioni normali. Di seguito si riporta il diagramma suddetto

Prendendo in esame la componente di sfilamento nella direzione del palo si ottiene uno sforzo normale si ha un $N_{max} = 545 \text{ daN}$.

Sulla base dei dati ottenuti dalla relazione geologica allegata al presente progetto, di seguito in tabella:

Parametri	Litologia	γ	φ'	C'
Unità tipo	Terreni Sabbioso limosi	1900	30	0

γ Massa volumica apparente (daN/m^3);

φ' Angolo di resistenza al taglio (gradi);

C' Coesione drenata (daN/cm^2);

inserendo i valori di

$$\mu = \text{tg } \varphi' = 0,577$$

$$\kappa = 1 - \text{sen } \varphi' = 0,5$$

$$\gamma = 1900$$

ed applicando la formula seguente:

$$h = \sqrt{\frac{2 \cdot N_{\max}}{\gamma \cdot \kappa \cdot \mu \cdot A_s}} =$$

Si considera un palo di sezione Heb, che sviluppa una superficie per metro di infissione pari a $0,805 \text{ m}^2/\text{m}$ si ottiene una profondità di infissione h pari a:

$$h = 1,57 \text{ m}$$

9. CONCLUSIONI

In base a quanto analizzato e verificato nella presente relazione per le strutture metalliche portanti gli elementi "pannelli FV", considerata la natura geologica, geomorfologica e geomeccanica del sito in esame, si può asserire che il sistema strutturale configurato è confacente e performante allo sviluppo dell'impianto localizzata nel comune di Viterbo.