



REGIONE BASILICATA



Comune di Pomarico (MT)



IMPIANTO AGRIVOLTAICO - POTENZA DI PICCO 52,50 MW - PER LA PRODUZIONE DI ENERGIA ELETTRICA ED ALLEVAMENTO DI OVINI NEL COMUNE DI POMARICO (MT) - CONTRADA SAN LORENZO

PROGETTO DEFINITIVO - RELAZIONE PRELIMINARE SULLE STRUTTURE -

Tavola: POM_FLPV_GEN.04	Nome File:	Data: Luglio 2023	Scala: /
-----------------------------------	------------	-----------------------------	--------------------

 Architettonico	Strutture	Impianti	Antincendio
---	------------------	-----------------	--------------------

Committente:

FLYNIS PV 25 SRL

Via Cappuccio 12 - 20121 Milano - C.F./P.IVA
12432020969 PEC: flynispv25srl@legalmail.it

Progettista:

 **TESE CONSULT**

ing.Vincenzo RAGAZZO
ing.Adelaide LAGUARDIA
arch.Caterina FICCO
arch.Beatrice GUIDA

Viale Salerno, 119 - 75025 Policoro (MT) tel.0835-98190 -
mail: teseoconsult@gmail.com pec: teseoconsult@pec.it




Supervisore:

Project Manager Senior
arch. Nunzio Paolo SIMMARANO

Collaboratori:

arch.Filippo TAURE





Sommario

RELAZIONE PRELIMINARE SULLE STRUTTURE	3
DESCRIZIONE DELL'OPERA	3
NORMATIVA DI RIFERIMENTO.....	3
MATERIALI IMPIEGATI	4
NOTE TECNICHE PER LA ZINCATURA A CALDO	4
CLASSIFICAZIONE E COMBINAZIONE DELLE AZIONI	6
CARICHI PERMANENTI STRUTTURALI G1	7
CARICHI PERMANENTI NON STRUTTURALI (PORTATI) G2.....	8
ANALISI STATICA	8
MODELLO FEM	9
SCHEMI DI CARICO	9
VISUALIZZAZIONE DELLE TENSIONI E DEGLI SPOSTAMENTI.....	10
VERIFICA AD AZIONE SISMICA	14
VERIFICA CONNESSIONI.....	14
CONCLUSIONI	17



RELAZIONE PRELIMINARE SULLE STRUTTURE

DESCRIZIONE DELL'OPERA

L'impianto oggetto della presente relazione è ubicato nel territorio del comune di Pomarico (MT) con destinazione d'uso agricolo E. L'area ha un'estensione totale di circa 91 ha, essa ha le caratteristiche della tipica area "Collinare" ed è situata ad un'altitudine media di 300 m sul livello del mare. L'area a livello urbanistico è classificata "Area Agricola". Nello Specifico l'area interessata dal progetto attualmente è caratterizzata come seminativo asciutto. Le strutture che terranno i Moduli fotovoltaici saranno in acciaio come di seguito riportato:

La struttura è in acciaio S235 zincato a caldo, per quanto riguarda i cavalletti di supporto, e acciaio S355 zincato a caldo per quanto riguarda gli arcarecci di supporto moduli FV; la struttura è fissata al suolo con il dispositivo denominato "dispositivo di ancoraggio ad inserti obliqui TreeSystem" costituito da 4 inserti in acciaio zincato di lunghezza variabile in base alle sollecitazioni da sopportare e stabilita nei disegni strutturali da realizzare in fase di progettazione esecutiva. Tale soluzione è stata adottata per evitare il getto dei plinti, ridurre i tempi di posa e ridurre l'impatto ambientale sia durante la vita nominale della struttura, sia nel suo successivo smantellamento.

NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Le normative a cui si fa riferimento per i calcoli strutturali e le verifiche necessarie per l'accuratezza del progetto, sono di seguito elencate ed attualmente vigenti:

- DM 17 gennaio 2018: "Norme tecniche per le costruzioni";
- Circ. M.LL.PP.617 del 2 Febbraio 2009: "Istruzioni per l'applicazione";
- UNI EN ISO 1461:2009: "Rivestimenti di zincatura per immersione a caldo su prodotti finiti ferrosi e articoli di acciaio - Specificazioni e metodi di prova";
- UNI EN ISO 14713-1:2010: "Rivestimenti di zinco - Linee guida e raccomandazioni per la protezione contro la corrosione di strutture di acciaio e di materiali ferrosi - Parte 1: Principi generali di progettazione e di resistenza alla corrosione".



MATERIALI IMPIEGATI

Acciaio per carpenteria metallica TIPO S235

Resistenza migliorata alla corrosione atmosferica mediante zincatura a caldo

Tensione caratteristica di rottura f_{tk} =

360 MPa

Tensione caratteristica di snervamento f_{yk} =

235 MPa

Modulo elastico (o di Young) E =

210.000 MPa Modulo di Poisson (o di contrazione laterale) $\nu = 0,3$

Peso specifico del materiale $\gamma = 78,5$ kN/mc

4

Acciaio per carpenteria metallica TIPO S355

Resistenza migliorata alla corrosione atmosferica mediante zincatura a caldo

Tensione caratteristica di rottura f_{tk} =

510 MPa Tensione caratteristica di snervamento

f_{yk} =

355 MPa Modulo elastico (o di Young) E =

210.000 MPa Modulo di Poisson (o di contrazione laterale) $\nu = 0,3$

Peso specifico del materiale $\gamma = 78,5$ kN/mc

NOTE TECNICHE PER LA ZINCATURA A CALDO

La protezione delle strutture in acciaio dalla corrosione è fatta tramite la zincatura a caldo con uno spessore di zincatura che assicura una vita utile minima di progetto pari a 25 anni nelle condizioni



ambientali in cui l'opera è inserita: con la zincatura a caldo si realizza sia una protezione con "effetto barriera" sia una protezione galvanica.

La corrosione nel tempo dello strato protettivo di zinco è principalmente influenzata dalla durata dell'esposizione all'umidità e dalla contaminazione superficiale.

Prodotti fabbricati con finitura superficiale realizzata mediante zincatura a caldo seguono dei requisiti tecnici dettati dalla Normativa vigente.

Le seguenti tabelle, estratte dalla norma UNI EN ISO 1461, rappresentano lo spessore minimo ottenibile e la durata tipica del manufatto di acciaio rivestito con trattamento di zincatura a caldo.

5

Article and its thickness	Local coating thickness (minimum) ^a	Local coating mass (minimum) ^b	Mean coating thickness (minimum) ^c	Mean coating mass (minimum) ^b
	µm	g/m ²	µm	g/m ²
Steel > 6 mm	70	505	85	610
Steel > 3 mm to ≤ 6 mm	55	395	70	505
Steel ≥ 1,5 mm to ≤ 3 mm	45	325	55	395
Steel < 1,5 mm	35	250	45	325
Castings ≥ 6 mm	70	505	80	575
Castings < 6 mm	60	430	70	505

NOTE This table is for general use: individual product standards may include different requirements including different categories of thickness. Local coating mass and mean coating mass requirements are set out in this table for reference in such cases of dispute.

	Corrosivity category	Average corrosion rate µm/year	Expected life of 50 µm coating.
C1	Interior: dry	< 0.1	500 years
C2	Interior: Occasional condensation Exterior: rural	0.1 to 0.7	Min 70 years
C3	Interior: high humidity, some air pollution. Exterior: Urban inland or mild coastal.	0.7 to 2	Min 25 years
C4	Interior: swimming pools, chemical plants. Exterior: Industrial inland or urban coastal.	2 to 4	Min 12 years
C5	Exterior: Industrial with humidity or high salinity coastal.	4 to 8	Min 6 years



CLASSIFICAZIONE E COMBINAZIONE DELLE AZIONI

Le azioni da considerare nella progettazione sono:

- a) azioni permanenti (G): azioni che agiscono durante tutta la vita nominale della costruzione, la cui variazione di intensità nel tempo è così piccola e lenta da poterle considerare con sufficiente approssimazione costanti nel tempo:
 - peso proprio di tutti gli elementi strutturali e non strutturali G1;
 - carichi permanenti portati G2 (peso moduli FV);
 - altre azioni permanenti G3 (spinta delle terre, spinte idrauliche, ecc.);
- b) azioni variabili (Q): azioni sulla struttura o sull'elemento strutturale con valori istantanei che possono risultare sensibilmente diversi fra loro nel tempo:
 - carico variabile dovuto al vento (§3.3 NTC '18);
 - carico variabile dovuto alla neve (§3.4 NTC '18);
- c) azioni sismiche (E): azioni derivanti dai terremoti.

Ai fini delle verifiche degli stati limite si definiscono le seguenti combinazioni delle azioni.

- 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), generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) irreversibili:

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

- Combinazione frequente, generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio

$$(SLE) \text{ reversibili: } G_1 + G_2 + P + \psi_{11} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot$$

$$Q_{k3} + \dots$$



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

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

- Combinazione sismica, impiegata per gli stati limite ultimi e di esercizio connessi

$$\text{all'azione sismica E: } E + G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \dots$$

....

Nelle combinazioni per SLE, si intende che vengono omissi i carichi Q_{kj} che danno un contributo favorevole ai fini delle verifiche e, se del caso, i carichi G_2 .

Nelle verifiche nei confronti degli stati limite ultimi strutturali (STR) e geotecnici (GEO) si sono adottati i seguenti coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni nelle verifiche SLU:

Tab. 2.6.I – Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni nelle verifiche SLU

		Coefficiente	EQU	A1	A2
		γ_F			
Carichi permanenti G_1	Favorevoli	γ_{G1}	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevoli		1,1	1,3	1,0
Carichi permanenti non strutturali $G_2^{(1)}$	Favorevoli	γ_{G2}	0,8	0,8	0,8
	Sfavorevoli		1,5	1,5	1,3
Azioni variabili Q	Favorevoli	γ_{Qi}	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevoli		1,5	1,5	1,3

⁽¹⁾ Nel caso in cui l'intensità dei carichi permanenti non strutturali o di una parte di essi (ad es. carichi permanenti portati) sia ben definita in fase di progetto, per detti carichi o per la parte di essi nota si potranno adottare gli stessi coefficienti parziali validi per le azioni permanenti.

Le verifiche del sistema di ancoraggio saranno effettuate secondo l'Approccio 2, con la combinazione (A1+M1+R3), tenendo conto dei valori dei coefficienti parziali riportati in Normativa.

Nelle verifiche nei confronti di SLU di tipo strutturale, il coefficiente γ_R non deve esser portato in conto.

CARICHI PERMANENTI STRUTTURALI G1

Si riporta il peso proprio della struttura in acciaio:

il peso proprio della struttura è tenuto in considerazione automaticamente dal solutore attivando al

corrispondente 'Load Case' l'accelerazione di gravità espressa in $-9806\text{mm}/\text{sec}^2$ (in cui con il meno si intende la direzione cielo-terra).

CARICHI PERMANENTI NON STRUTTURALI (PORTATI) G₂

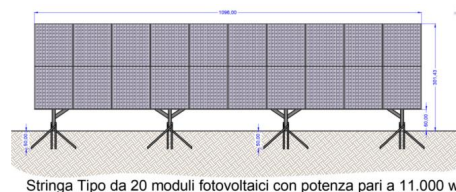
Tra i carichi permanenti si possono annoverare il peso dei pannelli fotovoltaici, in quanto vengono intesi compiutamente definiti, come concesso dalle NTC '18 al pt. 2.5.1, precisando tra l'altro che la mancanza di detti elementi comporterebbe la mancanza di pressioni/depressioni del vento, in quanto tale azione incide sulla superficie degli stessi. Le dimensioni del pannello sono le seguenti: 1978x997mm. Il carico permanente complessivo, considerato che ogni modulo pesa circa 25kg, è quindi pari a:

$$G_2 = 0,245\text{kN}$$

Oltre ai carichi sopra riportati si terrà presente delle Azioni del Vento, della Neve. Delle Azioni Sismiche.

ANALISI STATICA

La struttura in esame si costituisce di varie batterie di lunghezza variabile, composte da telai affiancati ad interasse principale prestabilito di 3050mm, incastrati alla base tramite un particolare dispositivo di ancoraggio denominato "dispositivo di ancoraggio ad inserti obliqui TreeSystem"; tale dispositivo crea un incastro alla base tramite l'infissione totale al suolo di n°4 inserti metallici cavi di idoneo diametro riveniente dal calcolo definitivo, spessore da calcolo e lunghezza nominale 730 o 990 mm, di cui circa 150mm rimarranno all'interno della "guida-camicia", per permettere l'instaurarsi della condizione di vincolo ad incastro. I telai sono successivamente collegati da arcarecci in acciaio zincato a caldo avente sezione 60x40x2mm, che, oltre a rappresentare una parte portante della struttura, compongono l'intelaiatura di sostegno per la posa dei pannelli fotovoltaici. I sopracitati arcarecci sono collocati in appositi collegamenti realizzati mediante un'aggiunta di profili ad "U" pre-saldati in stabilimento al telaio, che hanno il compito di dare l'alloggiamento e la giusta inclinazione all'arcareccio sovrastante nonché di bloccarne ogni spostamento. A tale proposito vengono poste delle viti autopercoranti in appositi fori predeterminati di bloccaggio dell'arcareccio al collegamento in ragione di n°4 viti (2 per lato) per i collegamenti in cui l'arcareccio incontra il collegamento in situazione di continuità e di n° 4 viti (2 per lato) per le situazioni di inizio e fine trave. La struttura inoltre non è interessata da vento in situazione tangenziale data la molteplicità di incastri a terra e la superficie liscia investita (vetro): per queste



ragioni non può essere considerata struttura pendolare, pertanto in tali ipotesi non sono necessarie controventature; tutte le azioni verranno affidate agli incastri alla base.

L'intero impianto è costituito da stringhe di dimensioni uguali, come quella riportata nell'immagine che precede, affiancate tra loro in modo variabile a raggiungere il numero totale di 1880 stringhe.

MODELLO FEM

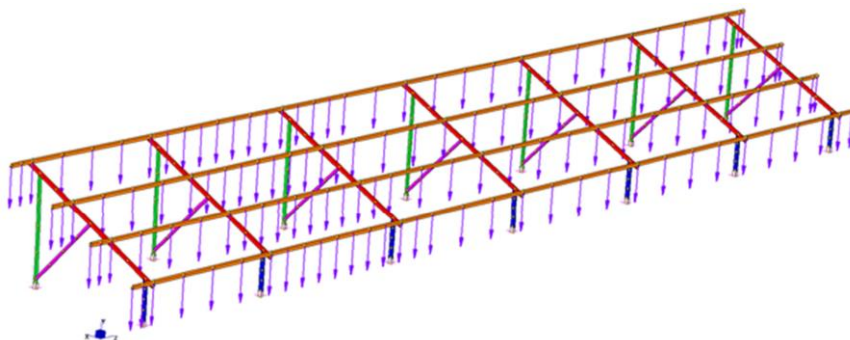
Per il calcolo delle sollecitazioni legate alle azioni appena descritte si è fatto ricorso ad un modello agli elementi finiti mediante il quale è stato modellato il telaio con elementi beam.

SCHEMI DI CARICO

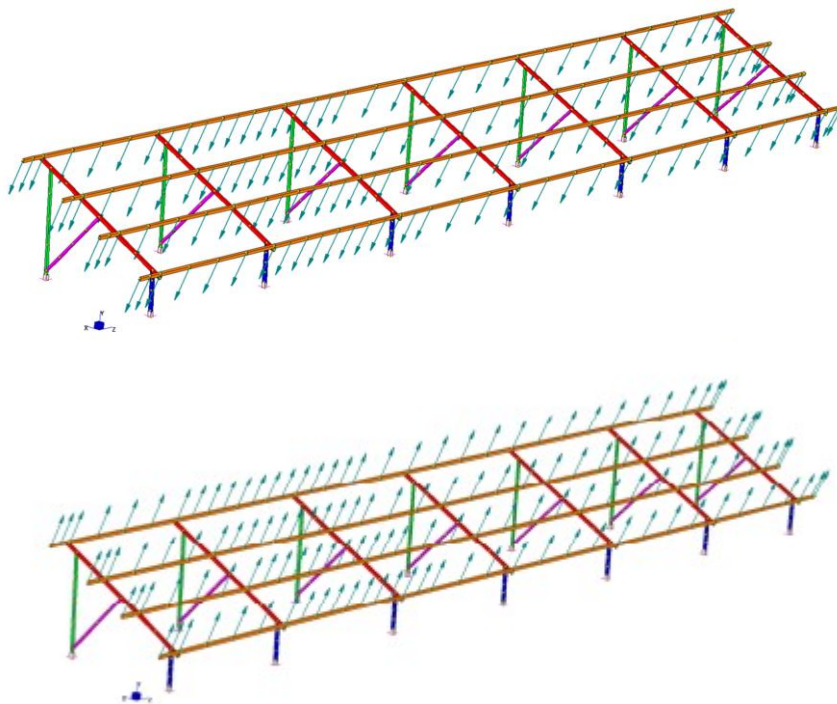
Sono state adottate 6 combinazioni di carico (3 a SLU e 3 a SLE), in cui viene massimizzato il carico neve e vento secondo i coefficienti da Normativa (NTC '18); tali valori si inseriscono nel programma di calcolo utilizzato, tramite la tabella dei "Load Case Combination":

CASES	1	2	3	4	5	6
	SLU Neve	SLU Vento+	SLU Vento-	SLE Neve	SLE Vento+	SLE Vento-
-Peso proprio struttura	1,3	1,3	1,0	1,0	1,0	1,0
-Peso moduli FV	1,3	1,3	1,0	1,0	1,0	1,0
-Carico Neve	1,5	0,75	0,0	1,0	0,5	0,0
-Carico Vento+	0,9	1,5	0,0	0,6	1,0	0,0
-Carico Vento-	0,0	0,0	1,5	0,0	0,0	1,0

Visualizzazione del carico distribuito dovuto al peso dei pannelli fotovoltaici e della neve, agente secondo la normale (direzione Y):

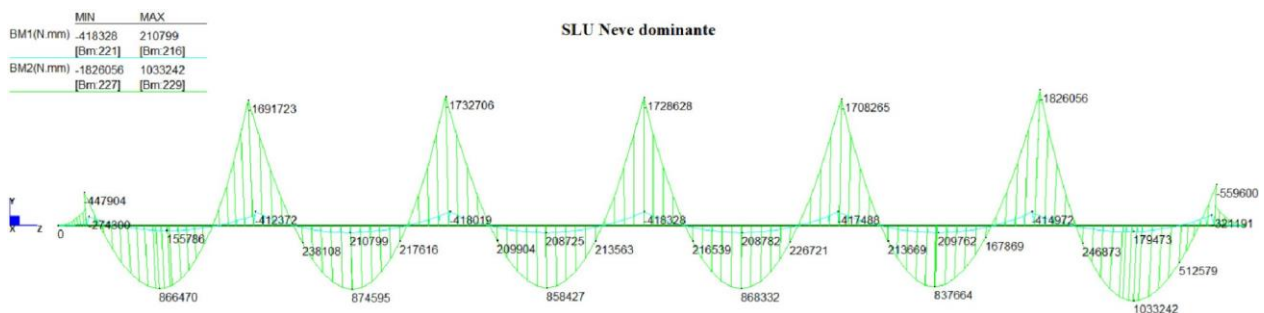


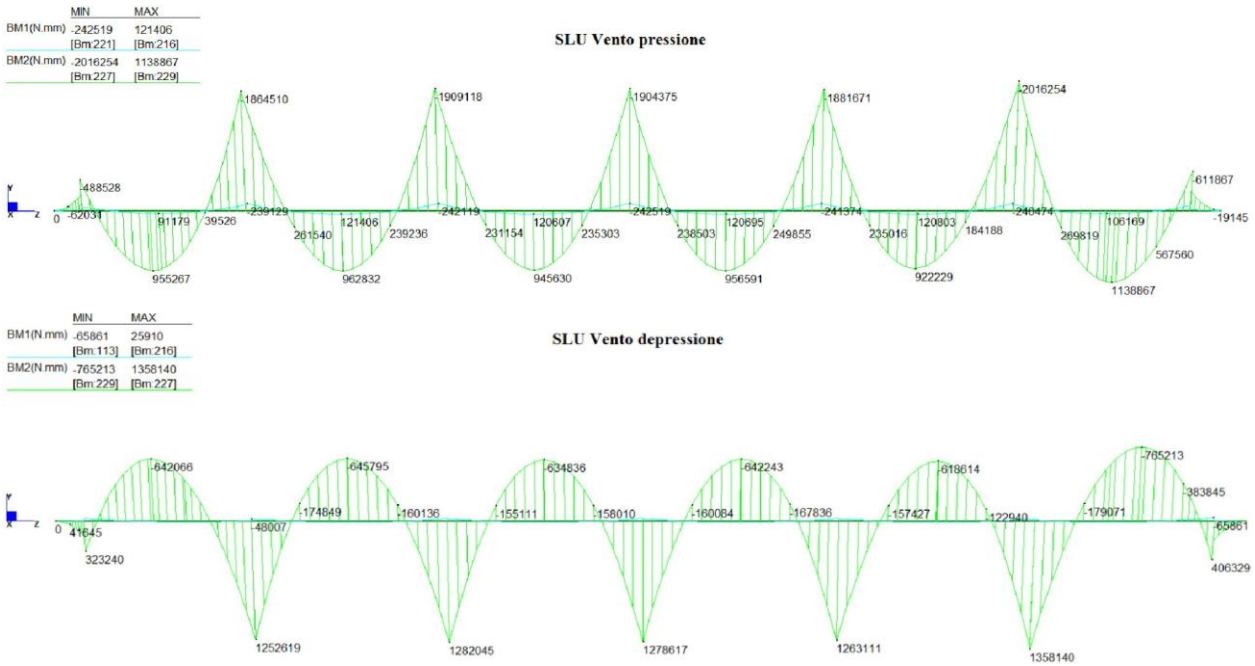
Visualizzazione del carico distribuito dovuto all'azione del vento, ortogonale alla superficie investita, in pressione e in depressione:



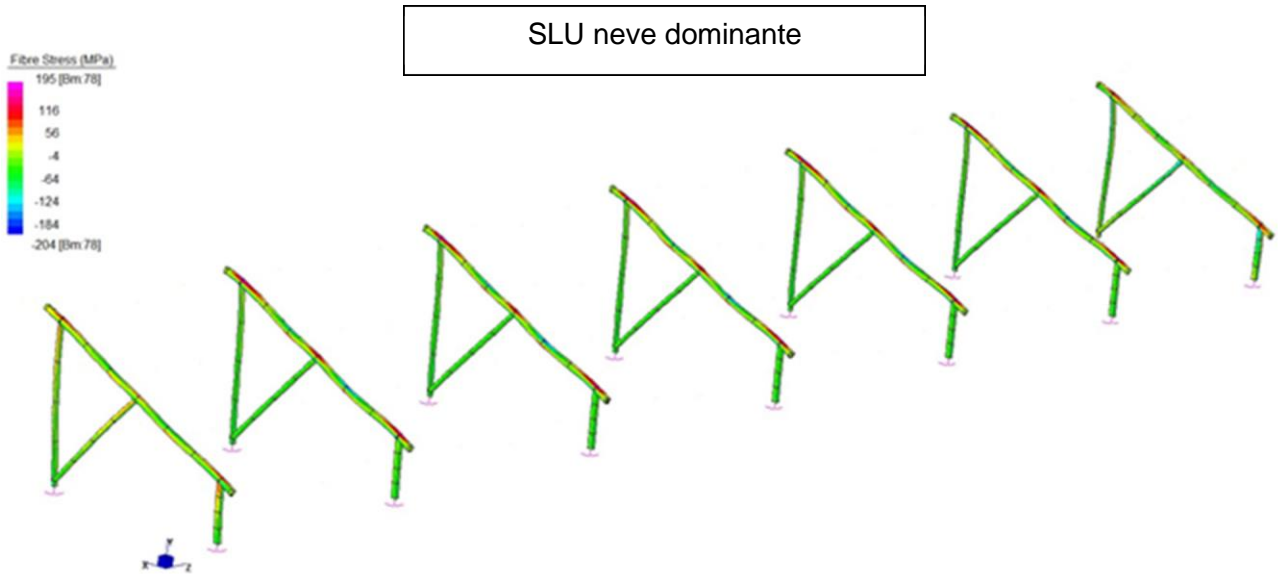
VISUALIZZAZIONE DELLE TENSIONI E DEGLI SPOSTAMENTI

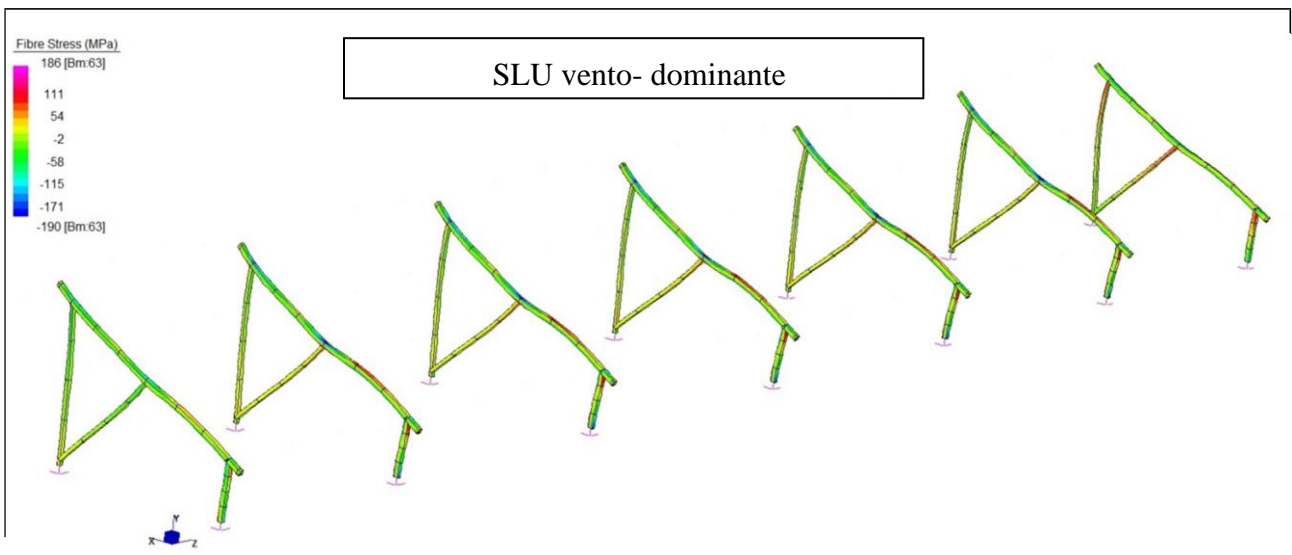
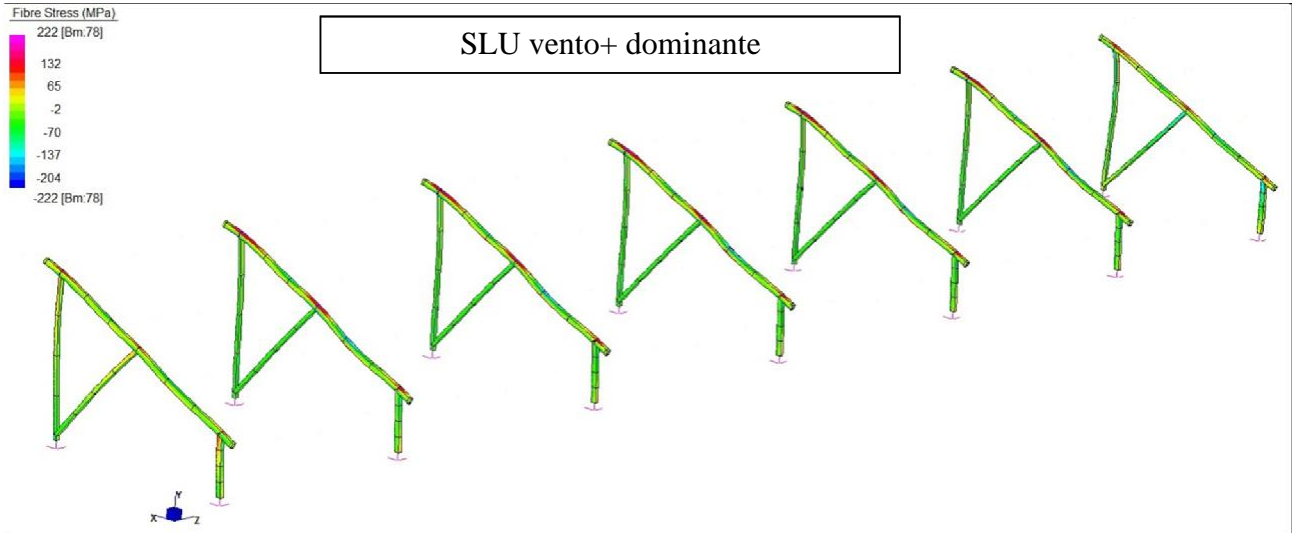
Vengono ora riportate le sollecitazioni massime in termini di tensioni agli SLU, sia con la combinazione neve dominante, sia con vento dominante; successivamente vengono riportate le deformazioni ricavate dalle combinazioni SLE.



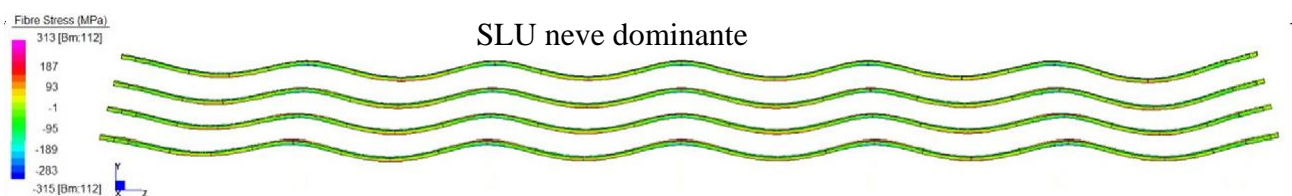


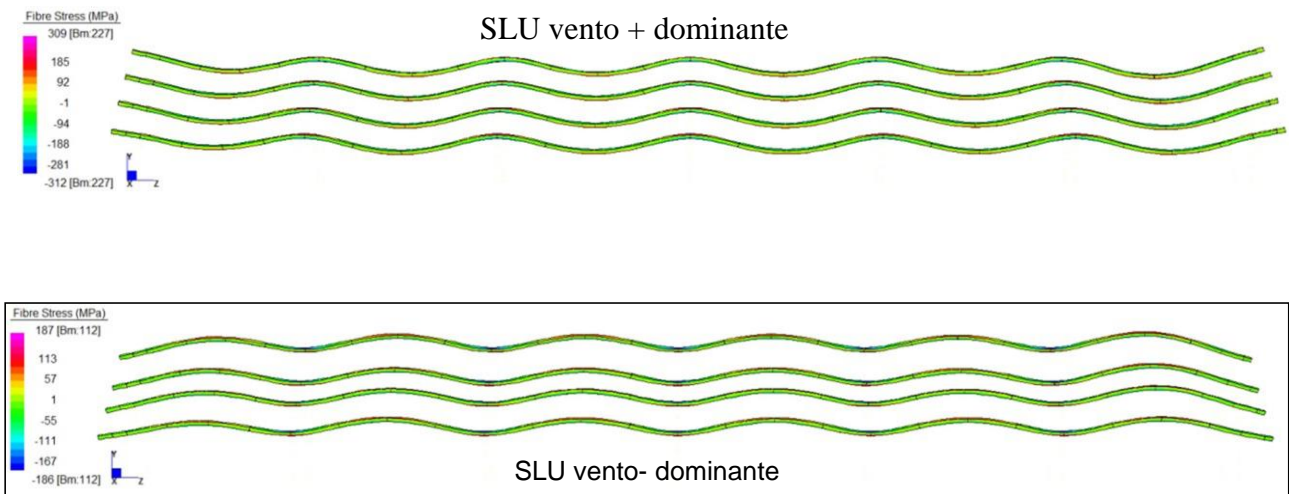
Visualizzazione degli output delle tensioni massime dei profili dei telai secondo le varie combinazioni SLU previste. Tutte le tensioni risultano inferiori alla tensione di snervamento del materiale usato (acciaio S235: $\sigma_{max} = 235/1,05 = 223,8$ MPa, dove $\gamma_M = 1,05$ rappresenta il coefficient di sicurezza per il materiale). Il telaio risulta verificato, in quanto **222 MPa < 223,8 MPa**.





Nell'immagine successiva sono rappresentati gli arcarecci orizzontali per il supporto dei moduli FV, che differiscono per la tipologia di acciaio usato: per questi infatti la tensione di snervamento massima (acciaio S355) è di $\sigma_{max} = 355/1,05 = 338\text{MPa}$. Le tensioni dei profili usati per le varie combinazioni soddisfano questo requisito, in quanto **315M Pa < 338MPa**.





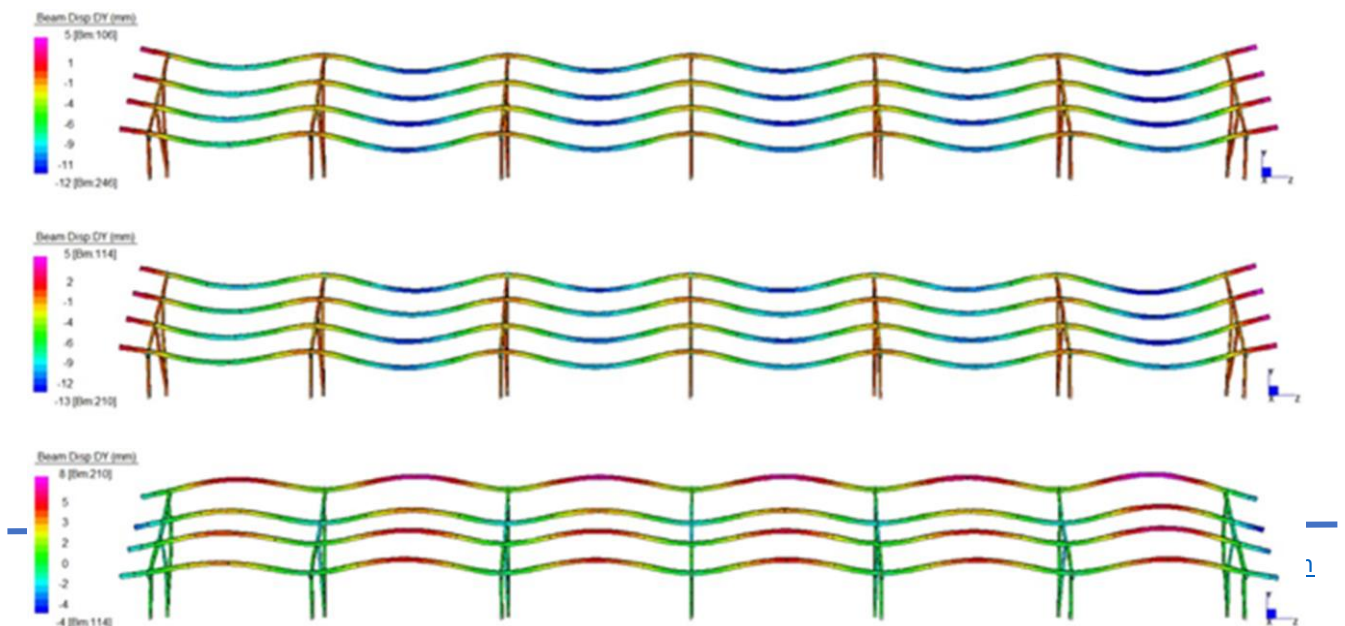
Per questa struttura si è imposto uno spostamento massimo (freccia) degli arcarecci, quali elementi più lunghi e più influenzati dall'effetto di deformazione e considerati come elementi secondari, pari a:

$$f_{max} = L/200 = 3050/200 = 15,25mm$$

Si riportano le massime deformazioni in esercizio dovute alle varie combinazioni di carico previste: dagli output si evince uno spostamento massimo in campata pari a 9mm in direzione verticale, minore di L/200, compatibile con le assunzioni fatte e pertanto idoneo; nella tabella sottostante sono riportati i risultati per ogni combinazione.

Load Case Combination	Spostamenti [mm]
SLE neve dominante	- 12
SLE vento+ dominante	- 13
SLE vento- dominante	+ 8

Visualizzazione della configurazione deformata della struttura.



N.B.: le verifiche sono state ipotizzate considerando una campata pari a 3050mm, come quelle di progetto.

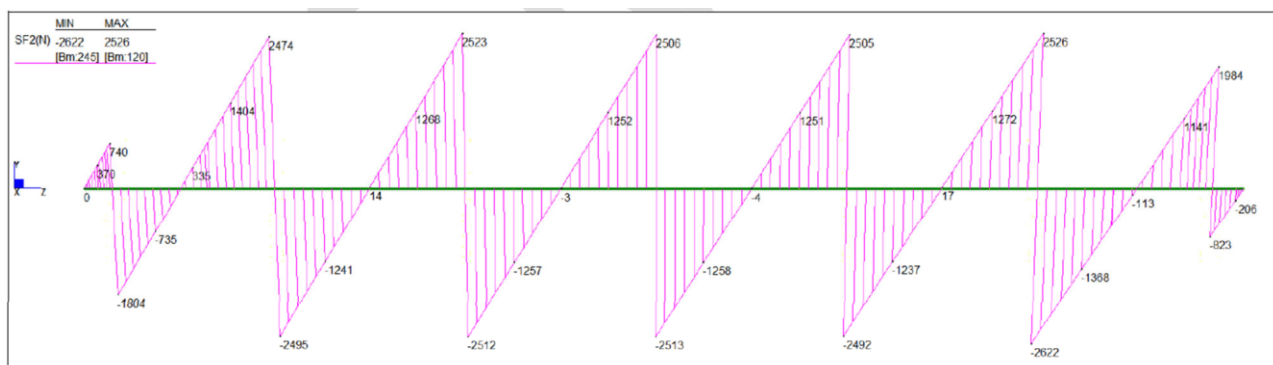
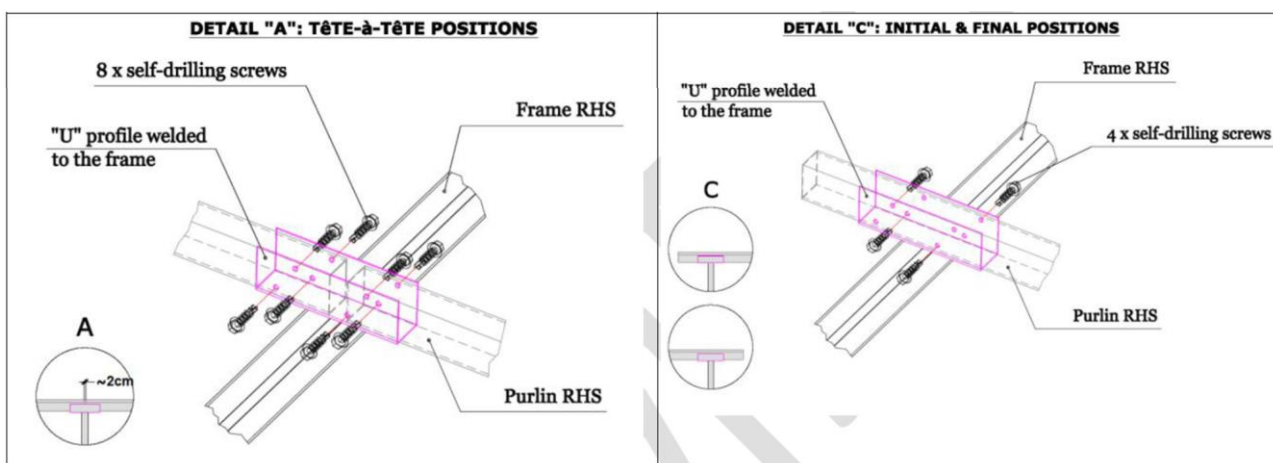
VERIFICA AD AZIONE SISMICA

Dato il basso peso della struttura e in relazione all'entità delle sollecitazioni indotte dai carichi dati da neve e vento (molto maggiori rispetto a quelle sismiche), tale verifica viene implicitamente soddisfatta e pertanto non riportata in questa relazione.

VERIFICA CONNESSIONI

Supporto telaio-arcareccio

L'arcareccio è assicurato alla struttura mediante appositi alloggiamenti sagomati ad "U": tali alloggiamenti però non sono sufficienti a trattenere il longherone nel caso di vento in depressione. Affinché la struttura mantenga la sua integrità, è necessario che il sagomato ad "U" e gli arcarecci siano connessi solidamente mediante viti.



AZIONI: $T_{max} = 2.526 + 2.622 = 5.148N$

Si considera la condizione che il profilo da 60x40x2mm sia in continuità; si adottano viti autoforanti al carbonio SN6/14 ($d=6,3$ mm; $l=25$ mm) con tensione caratteristica a rottura pari a $f_{tb} = 300MPa$.

VERIFICA A TAGLIO: $F_{V,Ed} = 5.148 N$

$$F_{V,Rd} = 2 \cdot \left(\frac{0,6 \cdot f_{tb} \cdot A_s}{\gamma_{M2}} \right) = 8.100N$$

dove "2" rappresenta il numero delle viti installate.

CONFRONTO: $F_{V,Ed} < F_{V,Rd}$ ($5.148 < 8.100$) → Verificato!

VERIFICA A RIFOLLAMENTO:

- $\alpha = 1$
- $k = 2,5$
- n° 2 facce di taglio

$$F_{b,Rd} = 2 \cdot \left(\frac{2,5 \cdot \alpha \cdot f_{tk} \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} \right) = 17.200N$$

CONFRONTO: $F_{V,Ed} < F_{b,Rd}$ ($5.148 < 17.200$) → Verificato!

DESCRIZIONE GENERALE DEL DISPOSITIVO

La posa in opera del sistema è semplice e rapida e prevede l'infissione nel terreno dei paletti a mezzo di martello o mazza da muratore senza eccessivo sforzo anche nel caso di terreni piuttosto compatti.

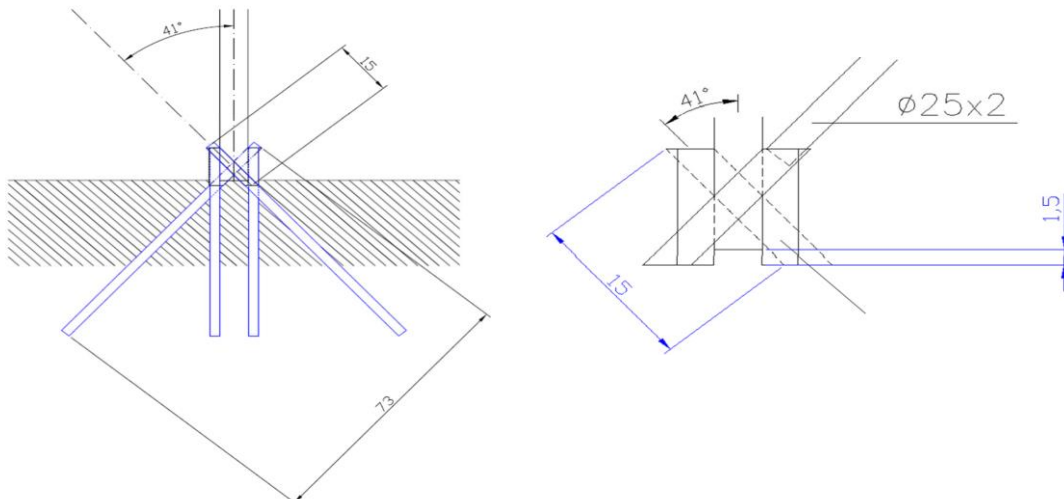
La presenza di elementi di ghiaia non rappresenta, generalmente, un problema in quanto gli inserti sono internamente cavi per convogliare al loro interno elementi più consistenti o frammenti di rottura (anche elementi piuttosto grossolani come ciottolame non rappresentano un problema in quanto l'infissione, qualora non ne crei lo sbriciolamento, è comunque in grado di spostarli lateralmente).

L'angolo d'ingresso nel terreno è di circa 41° e consente a detti elementi di distribuirsi nell'intorno del



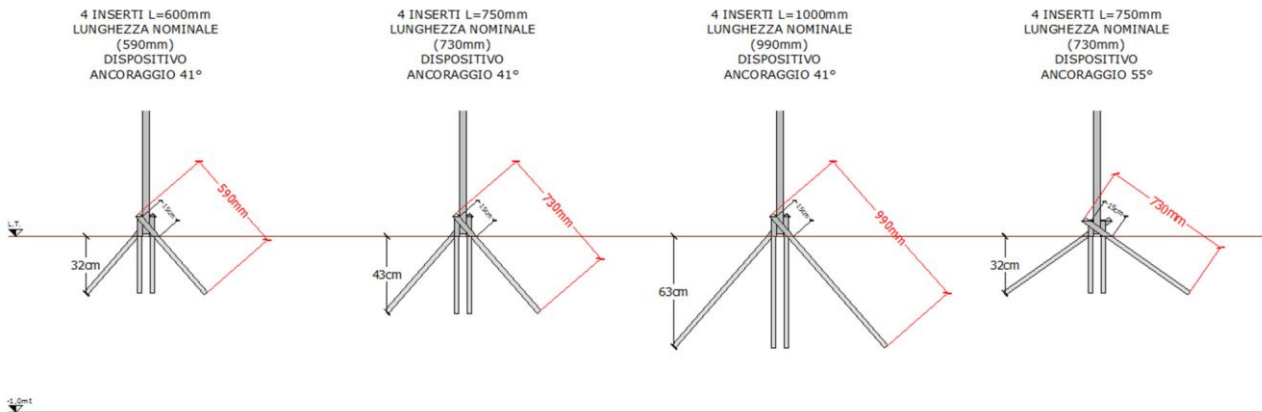
supporto in modo regolare e lungo diverse direttrici; così facendo si viene ad interessare un volume di terreno (che definiamo bulbo di tenuta) piuttosto ampio, in relazione anche con la lunghezza degli inserti. Il principio su cui si basa questo sistema sfrutta la tenuta dei vari inserti che si oppongono allo sfilamento diretto ed al ribaltamento facendo leva sulla diversa direzione d'ingresso nel terreno nonché sul fatto che vengono a lavorare in sinergia (analogamente a quanto accade per il sistema dei micropali impiegati per rinforzare fondazioni o murature esistenti). Ricorda inoltre l'apparato radicale degli alberi, da cui la denominazione commerciale.

L'ANCORAGGIO: il dispositivo per l'installazione su terreno di telai per il supporto di pannelli fotovoltaici, a 4 guide, con inserti di ancoraggio di lunghezze variabili, è realizzato in acciaio S235JR zincato a caldo per preservarne le capacità di resistenza nel tempo.





Ai fini di testare le performance del sistema di ancoraggio e determinare la lunghezza più idonea degli inserti da utilizzare, sulla base anche dei vari limiti di infissione imposti, si sono svolti diversi pull-out test. Le tipologie di dispositivo testate sono le seguenti:



CONCLUSIONI

Al fine del corretto montaggio della struttura e per poter rispettare le condizioni per cui è stata pensata, e progettata, nonché assicurare le prestazioni attese, si devono seguire scrupolosamente le seguenti prescrizioni:

- assicurarsi che il terreno sia discretamente costipato;
- assicurarsi che la posa degli elementi metallici sia fatta da personale qualificato e che gli elementi siano quindi messi in posa "a bolla" per quanto riguarda la direzione orizzontale e secondo il "filo a piombo" per quanto riguarda la direzione verticale;
- assicurarsi che l'interasse tra i singoli telai sia costante e uguale per ogni campata, come riportato nel progetto (3050mm);
- assicurarsi che vengano completamente inseriti n°4 inserti circolari cavi nel terreno (forniti con le strutture e secondo disegno strutturale), tramite martello elettropneumatico o, in alternativa, con una mazza da muratore, fino a che non sia più possibile far scendere l'inserto all'interno del tubo camicia, data la presenza di contrasto del tubo camicia stesso;
- assicurarsi che gli arcarecci vengano collocati nelle relative sedi e bloccati per mezzo di viti autoforanti in ragione di n°4 viti (2 per lato) come da manuale d'installazione.

Al di là di quanto fin qui riportato, in fase esecutiva si redigerà il calcolo puntuale delle strutture tenendo presente di tutte le peculiarità sia del sito sia della configurazione precisa delle stringhe.