

REGIONE BASILICATA

Comune di Craco (MT)




IMPIANTO AGRIVOLTAICO DA 20 MW

Per la Coltivazione di Erbe Officinali e Simili

Craco - Canzonieri

- Relazione Preliminare sulle Strutture -

| | | | |
|------------------------|------------|-----------------------------|--------|
| Tavola: R.06 | Nome File: | Data: Giugno 2022 | Scala: |
|------------------------|------------|-----------------------------|--------|

| | | | |
|--|------------------|-----------------|--------------------|
|  Achitettonico | Strutture | Impianti | Antincendio |
|--|------------------|-----------------|--------------------|

| | |
|---|---|
| Committente: Beta Gemini S.r.l. <small>Via Mercato, 3 - 20121 Milano - C.F./P.IVA 12299770961</small> | Progettisti: Arch. Nunzio Paolo SIMMARANO Collaboratori: Dott. Arch. Filippo TAURO Arch. Carmela VENTURA Ing. Maria SATRIANO |
|---|---|



Sommario

| | |
|--|----|
| RELAZIONE PRELIMINARE SULLE STRUTTURE | 3 |
| DESCRIZIONE DELL'OPERA | 3 |
| NORMATIVA DI RIFERIMENTO | 3 |
| MATERIALI DA IMPIEGARE | 4 |
| NOTE TECNICHE PER LA ZINCATURA A CALDO | 4 |
| CLASSIFICAZIONE E COMBINAZIONE DELLE AZIONI..... | 5 |
| CARICHI PERMANENTI STRUTTURALI G1..... | 7 |
| CARICHI PERMANENTI NON STRUTTURALI (PORTATI) G2..... | 7 |
| ANALISI STATICA | 8 |
| MODELLO FEM | 9 |
| SCHEMI DI CARICO | 9 |
| VISUALIZZAZIONE DELLE TENSIONI E DEGLI SPOSTAMENTI | 9 |
| VERIFICA AD AZIONE SISMICA | 10 |
| VERIFICA CONNESSIONI | 10 |
| DESCRIZIONE GENERALE DEL DISPOSITIVO | 12 |
| CONCLUSIONI | 12 |

RELAZIONE PRELIMINARE SULLE STRUTTURE

DESCRIZIONE DELL'OPERA

L'impianto Agrivoltaico oggetto della presente relazione è ubicato nel territorio del comune di Craco in contrada Canzonieri (MT) con destinazione d'uso agricolo E. L'area ha un'estensione totale di 44,86 Ha, essa ha le caratteristiche della tipica area "Collinare" ed è situata ad un'altitudine media di 145 m sul livello del mare. L'area a livello urbanistico è classificata "Area Agricola e seminaturale". Nello Specifico l'area interessata dal progetto attualmente è caratterizzata da seminativi asciutti. I moduli fotovoltaici saranno installati su inseguitori solari della PVH nello specifico il modello Monoline.

Monoline è l'inseguitore monoasse a fila singola di PVH che contiene due file di moduli posizionati verticalmente (configurazione 2P). Viene utilizzato in terreni scoscesi dove l'intenzione è di ridurre al minimo il movimento di terra e le opere civili. Viene anche utilizzato quando il contorno della trama è irregolare e quindi sfrutta molto meglio l'area disponibile. la combinazione del tracker monoasse Monoline e dei moduli bifacciali aumenta la resa, che va dal 10 al 15 per cento.

L'ampio rapporto tra altezza e larghezza massimizza l'irraggiamento del lato posteriore, che beneficia della luce solare riflessa sul terreno, riducendo l'intensità dell'ombra e la perdita di mancata corrispondenza. Questo tipo di Tracker è adatto al tipo di terreno che ospiterà l'impianto in oggetto. Esso è particolarmente adatto per terreni collinari e appezzamenti di forma irregolare, oltre a quelli con ostacoli. Ha solo cinque pile per tracker, il che fornisce all'EPC un'installazione più rapida e meno costosa. Il fissaggio diretto del modulo alle guide rigide del pannello in acciaio elimina i rischi di espansione termica/vibratoria e di torsione eccessiva associati ai morsetti sandwich in alluminio.

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 DA IMPIEGAREAcciaio 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) ν | | = | 0,3 | |
| Peso specifico del materiale | γ | = | 78,5 | kN/mc |

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) ν | | = | 0,3 | |
| Peso specifico del materiale | γ | = | 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.

| 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) 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 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 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 G₂.

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 γ_F | EQU | A1 | A2 |
|--|-------------|----------------------------|-----|-----|-----|
| 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 G_1

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) G_2

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.

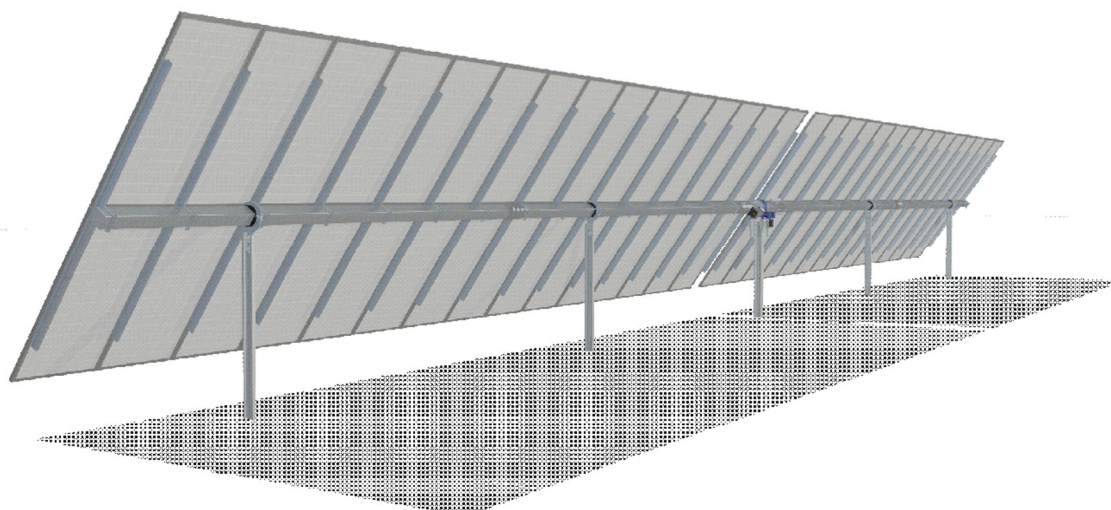
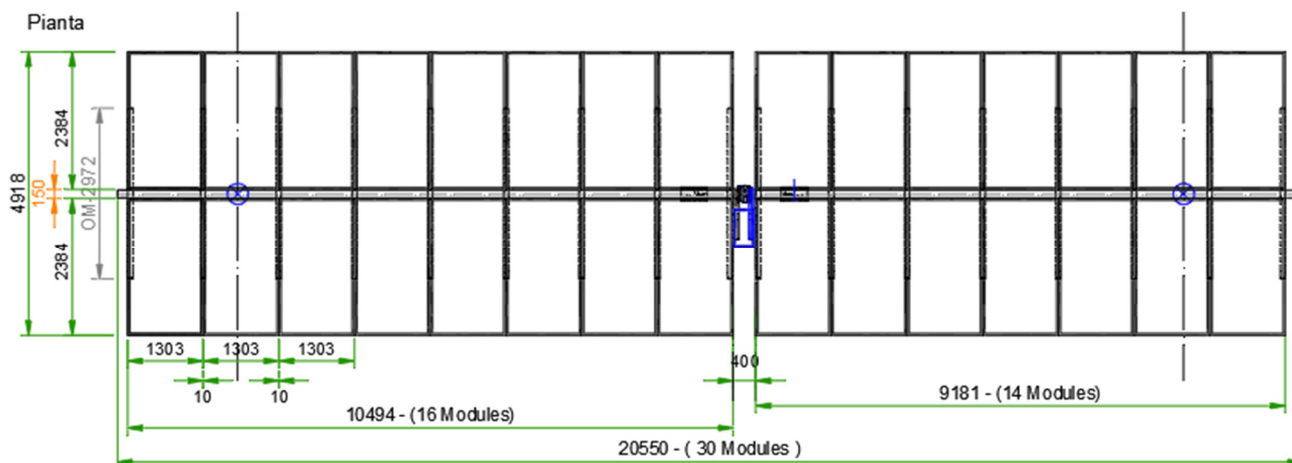
Il carico permanente complessivo, considerato che ogni modulo pesa circa 25kg, è quindi pari a:

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

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 uguale lunghezza, composte da due telai affiancati ad interasse principale prestabilito di 8800 mm e 7600, incastrati alla base con l'infissione nel terreno del ritto del telaio per almeno 1500 mm; per permettere l'instaurarsi della condizione di vincolo ad incastro. 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.



Schema Inseguitori Solari PVH Monoline

L'intero impianto è costituito da 1724 stringhe di cui 1614 stringhe composte da 20 pannelli cadauna e 110 stringhe composte da 15 pannelli cadauna. Le stringhe sono montate su 907 inseguitori solari come quello riportata nell'immagine che precede, affiancati tra loro in modo variabile.

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 bim.

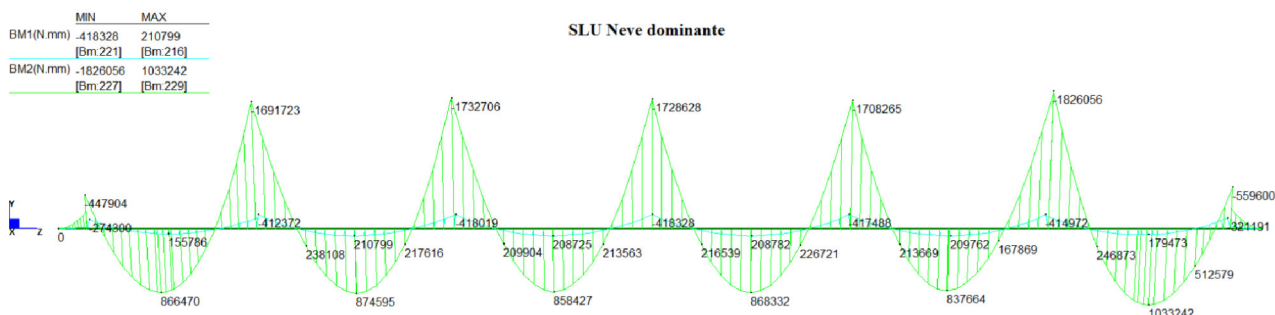
SCHEMI DI CARICO

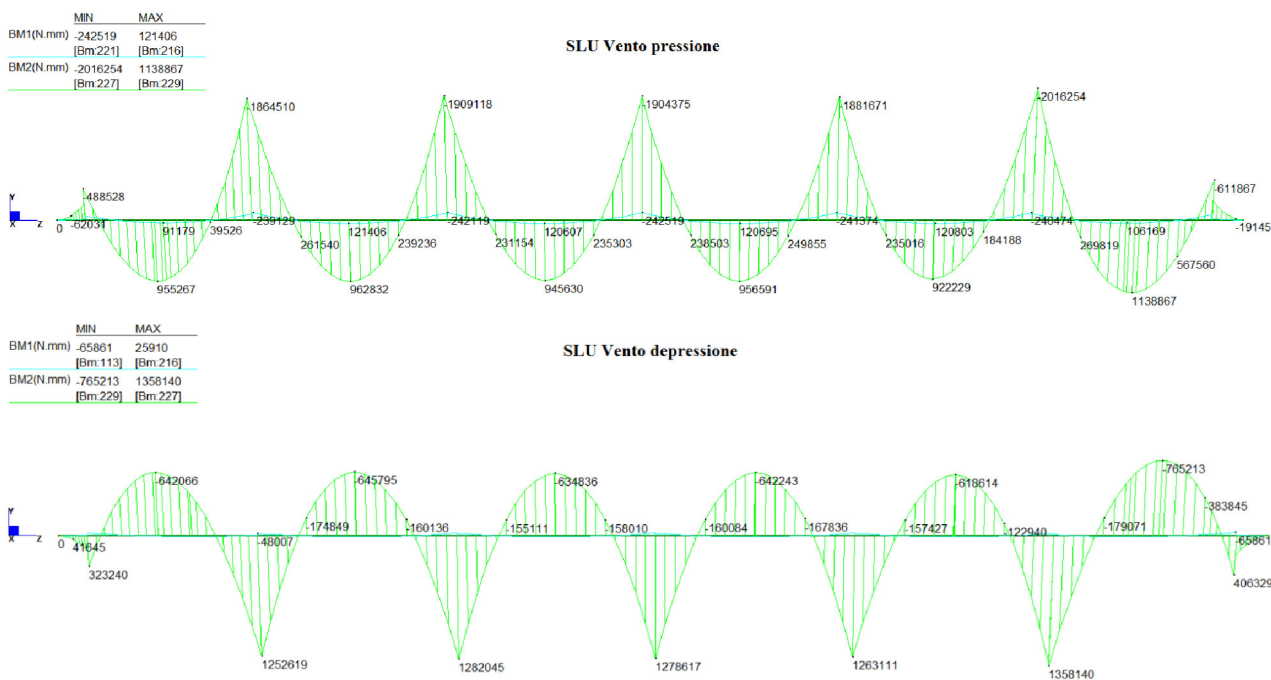
Sono state adottate 6 combinazioni di carico (3 a SLU e 3 a SLE), in cui viene massimizzato il carico neve e vento secondo i coefficienti da Normativa (NTC '18); tali valori si inseriscono nel programma di calcolo utilizzato, tramite la tabella dei "Load Case Combination":

| 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 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 coefficiente di sicurezza per il materiale). Il telaio risulta verificato, in quanto **222 MPa < 223,8 MPa**.

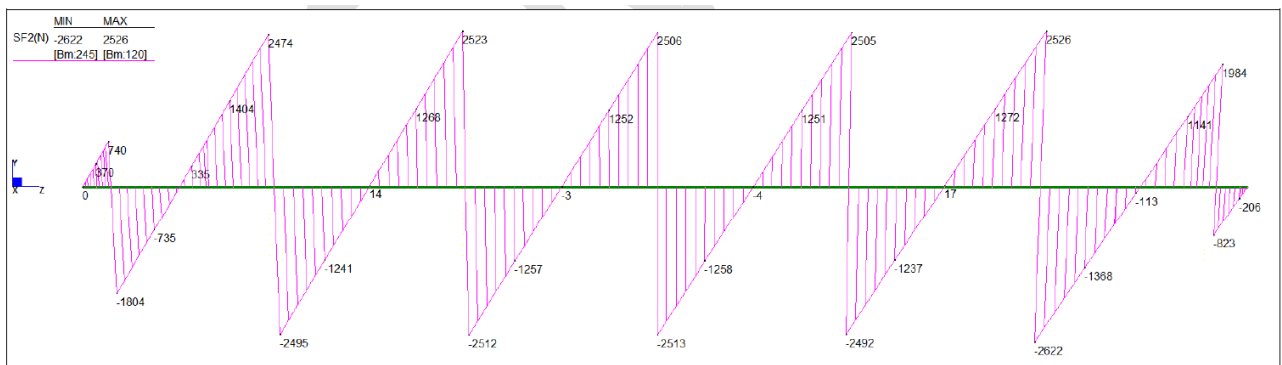
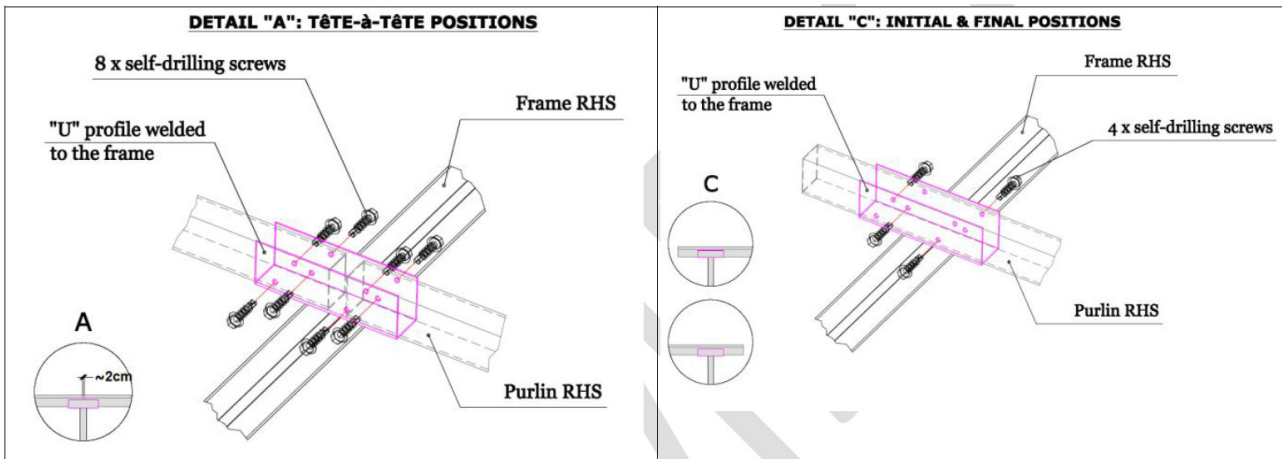
VERIFICA AD AZIONE SISMICA

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

Il profilo porta modulo è assicurato alla struttura mediante appositi alloggiamenti sagomati ad "U": tali alloggiamenti sono 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 ($d=6,3\text{ mm}$; $l=25\text{ mm}$) con tensione caratteristica a rottura pari a $f_{tb} = 300\text{MPa}$.

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

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

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!

12

DESCRIZIONE GENERALE DEL DISPOSITIVO

La posa in opera del sistema è semplice e rapida e prevede l'infissione nel terreno dei paletti.

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).

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;

Al di là di quanto fin qui riportato, in fase esecutiva, dalla ditta fornitrice degli inseguitori solari sarà redatto e consegnato il calcolo puntuale delle strutture tenendo presente di tutte le peculiarità sia del sito sia della configurazione precisa delle stringhe.