




**Impianto di produzione di energia elettrica da fonte
solare fotovoltaica e relative opere connesse
della potenza di 16,99656 MWp, denominato
“PIANE VOMANO”**

**Regione Abruzzo
Comune di Morro D'Oro (TE), Località Piane Vomano**


**PROGETTO DEFINITIVO
CALCOLI PRELIMINARI DI DIMENSIONAMENTO STRUTTURE**

| | | | | | |
|---|------|-----------------------|--|----------------|----------------|
| | | | | | |
| | | | | | |
| 12/2023 | 00 | Prima emissione | Berardinelli G. – Fratianni L. | Francavilla G. | Francavilla G. |
| Data | Rev. | Descrizione Emissione | Preparato | Verificato | Approvato |
| Logo Committente e Denominazione Commerciale  | | | ID Documento Committente CoD044_FV_BCR_00008 CALCOLI PRELIMINARI DI DIMENSIONAMENTO STRUTTURE | | |
| Logo Appaltatore e Denominazione Commerciale  | | | ID Documento Appaltatore FV_IR_05.PianeVomano_PD.ELA.08 | | |

| | | |
|---|---|---------------------|
|  | ID Documento Committente | Pagina 2 / 25 |
| | CoD044_FV_BCR_00008 | Numero Revisione |
| | CALCOLI PRELIMINARI DI DIMENSIONAMENTO STRUTTURE | 00 |

Sommario

| | | |
|-------|---|----|
| 1 | Premessa..... | 3 |
| 2 | Riferimenti normativi..... | 4 |
| 3 | Calcolo azione del vento secondo NTC2018..... | 5 |
| 3.1 | Azione del vento inclinazione dei moduli di 0° | 6 |
| 3.2 | Azione del vento inclinazione dei moduli di 55° | 12 |
| 4 | Tracker di sostegno dei moduli..... | 18 |
| 4.1 | Tracker da 28 moduli fotovoltaici..... | 19 |
| 4.1.1 | Tracker da 28 moduli fotovoltaici inclinati a 55° | 19 |
| 4.1.2 | Tracker da 28 moduli fotovoltaici inclinati a 0° | 21 |
| 4.2 | Tracker da 14 moduli fotovoltaici..... | 22 |
| 4.2.1 | Tracker da 14 moduli fotovoltaici inclinati a 55° | 22 |
| 4.2.2 | Tracker da 14 moduli fotovoltaici inclinati a 0° | 23 |
| 5 | Conclusioni | 25 |

| | | |
|--|---|---------------------|
|  | ID Documento Committente | Pagina 3 / 25 |
| | CoD044_FV_BCR_00008 | Numero Revisione |
| | CALCOLI PRELIMINARI DI DIMENSIONAMENTO STRUTTURE | 00 |


1 Premessa

Il presente elaborato **Calcoli preliminari di dimensionamento strutture** è redatta a corredo del Progetto Definitivo inerente alla realizzazione di un impianto “fotovoltaico” denominato "**Piane Vomano**". L'impianto è progettato per produrre energia elettrica in collegamento alla rete di distribuzione. La **potenza di picco** dell'impianto prevista è pari a **16,99656 MWp**, il collegamento alla rete verrà realizzato tramite un cavidotto MT 30 kV, connesso ad una nuova Stazione Elettrica RTN 132 kV.

L'impianto fotovoltaico verrà realizzato a terra, nel Comune di **Morro D'Oro** in provincia di Teramo, in un terreno avente superficie totale di circa **21,8 ettari**. Il cavidotto, di lunghezza totale di 7,12 km circa, correrà quasi interamente su strada pubblica, nel territorio dei Comuni di Morro D'Oro e Roseto degli Abruzzi (TE), collegando l'impianto ad una nuova Stazione Elettrica RTN 132 kV", tramite nuova Sottostazione utente.


L'area dell'impianto in oggetto è situata nel Comune di Morro D'Oro in provincia di Teramo, censita in catasto terreni al Foglio 27 p.lle 17, 22, 145 e al Foglio 28 p.lle 6, 7, 17, 21, 23, e individuato alle coordinate 42°37'43.0"N - 13°55'51.0"E.

Lo scopo del presente elaborato è quello di illustrare i criteri di base per il dimensionamento preliminare delle strutture, in particolar modo delle strutture metalliche di sostegno mobili (tracker) poste a sostegno dei moduli fotovoltaici costituenti il generatore dell'impianto di produzione di energia elettrica da fonte rinnovabile fotovoltaica.

| | | |
|---|---|---------------------|
|  | ID Documento Committente | Pagina 4 / 25 |
| | CoD044_FV_BCR_00008 | Numero Revisione |
| | CALCOLI PRELIMINARI DI DIMENSIONAMENTO STRUTTURE | 00 |

2 Riferimenti normativi

- EUROCODICE 1 – Azioni sulle strutture – Parte 1-4: Azioni in generale – azioni del vento (UNI EN 1991-1-4:2005);
- EUROCODICE 3 – Progettazione delle Strutture in acciaio – Parte 1-1: Regole generali e regole per gli edifici (UNI EN 1993-1-1:2005);
- EUROCODICE 3 – Progettazione delle Strutture in acciaio – Parte 1-8: Progettazione dei collegamenti (UNI EN 1993-1-8:2005);
- D.M. 17 gennaio 2018 – Norme Tecniche per le Costruzioni;
- 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);
- NTC 2018: Nuove norme sismiche per il calcolo strutturale.

| | | |
|---|---|---------------------|
|  | ID Documento Committente | Pagina 5 / 25 |
| | CoD044_FV_BCR_00008 | Numero Revisione |
| | CALCOLI PRELIMINARI DI DIMENSIONAMENTO STRUTTURE | 00 |

3 Calcolo azione del vento secondo NTC2018

Prima di procedere ai calcoli strutturali sulle strutture, si è proceduto al calcolo dell'azione del vento secondo i requisiti richiesti dalla NTC2018.

Nei calcoli sono state prese in considerazione le due condizioni limite, ovvero l'inclinazione minima di 0° rispetto all'orizzontale e quella massima di 55° rispetto allo stesso piano di riferimento.

Si riportano di seguito i risultati ottenuti nei calcoli, corredati da tutte le informazioni necessarie al loro ottenimento, quali posizione geografica, classe di rugosità del terreno, tipologia di struttura, altezze, inclinazioni, ecc., calcolati ponendosi nelle condizioni più cautelative possibili.

Sulla base dei risultati ottenuti, si sono successivamente effettuati i calcoli strutturali sulle strutture metalliche di sostegno dei moduli (tracker).

CoD044_FV_BCR_00008
CALCOLI PRELIMINARI DI
DIMENSIONAMENTO STRUTTURE

3.1 Azione del vento inclinazione dei moduli di 0°

AZIONE DEL VENTO PAR. 3.3 NTC18

DEFINIZIONE DEI DATI

zona:

3) Toscana, Marche, Umbria, Lazio, Abruzzo, Molise, Puglia, Campania, Basilicata, Calabria (esclusa la provincia di Reggio Calabria)



Classe di rugosità del terreno:

D) Aree prive di ostacoli (aperta campagna, aeroporti, aree agricole, pascoli, zone paludose o sabbiose, superfici innevate o ghiacciate, mare, laghi,.....)

L'assegnazione della classe di rugosità non dipende dalla conformazione orografica e topografica del terreno. Affinchè una costruzione possa dirsi ubicata in classe A o B è necessario che la situazione che contraddistingue la classe permanga intorno alla costruzione per non meno di 1 km e comunque non meno di 20 volte l'altezza della costruzione. Laddove sussistano dubbi sulla scelta della classe di rugosità, a meno di analisi dettagliate, verrà assegnata la classe più sfavorevole.

Nelle fasce entro i 40km dalla costa delle zone 1,2,3,4,5 e 6 la categoria di esposizione è indipendente dall'altitudine del sito.

a_c (altitudine sul livello del mare della costruzione):

| | |
|----|--------|
| 50 | [m] |
| 9 | [km] |
| 50 | [anni] |
| II | |

Distanza dalla costa

T_R (Tempo di ritorno):

Categoria di esposizione

| ZONE 1,2,3,4,5 | | | | | | |
|--|---------------|------|-------|-------|------|------|
| | costa mare | 2 km | 10 km | 30 km | 500m | 750m |
| A | -- | IV | IV | V | V | V |
| B | -- | III | III | IV | IV | IV |
| C | -- | * | III | III | IV | IV |
| D | I | II | II | II | III | ** |
| * Categoria II in zona 1,2,3,4 Categoria III in zona 5 | | | | | | |
| ** Categoria III in zona 2,3,4,5 Categoria IV in zona 1 | | | | | | |

| ZONA 6 | | | | | |
|--------|-------|------|-------|-------|------|
| | costa | 2 km | 10 km | 30 km | 500m |
| A | -- | III | IV | V | V |
| B | -- | II | III | IV | IV |
| C | -- | II | III | III | IV |
| D | I | I | II | II | III |

| ZONE 7,8 | | | |
|---|--------|--------|-----|
| | mare | costa | |
| | 1.5 km | 0.5 km | |
| A | -- | -- | IV |
| B | -- | -- | IV |
| C | -- | -- | III |
| D | I | II | * |
| * Categoria II in zona 8 Categoria III in zona 7 | | | |

| ZONA 9 | | |
|--------|-------|---|
| | costa | |
| A | -- | I |
| B | -- | I |
| C | -- | I |
| D | I | I |

CoD044_FV_BCR_00008
CALCOLI PRELIMINARI DI
DIMENSIONAMENTO STRUTTURE

Altezza del colmo della copertura, rispetto al suolo e inclinazione della falda sopravvento

E' consigliabile calcolare la pressione del vento per ogni facciata del fabbricato modificando i parametri per ogni caso. Nel caso di studio su prospetto di timpano, la valutazione della pressione del vento si conduce come se la copertura fosse piana e la parete alta fino alla linea di colmo. Nel caso di coperture a padiglione, la valutazione delle pressioni si esegue su ogni facciata del fabbricato utilizzando di volta in volta l'angolo della falda investito dal vento. Nel caso di coperture curve, si deve inserire l'angolo della retta tangente al bordo della copertura, in sostanza l'angolo di attacco della copertura. (per cupole a tutto sesto l'angolo è di 90°, per cupole a sesto ribassato è minore di 90°). Nel caso di studio su prospetto piano l'analisi si conduce come su prospetto di timpano. Si osserva che oltre alle pressioni andrebbe considerata anche la forza tangenziale esercitata dal vento sul fabbricato. Generalmente essa si trascura, è necessaria modellarla solo per grandi coperture piane ad esempio: coperture di grandi capannoni industriali. Il foglio di calcolo è utilizzabile per fabbricati a base rettangolare.



CALCOLO VELOCITA' DI RIFERIMENTO DEL VENTO §3.3.2.

| Zona | $v_{b,0}$ [m/s] | a_0 [m] | k_s | C_a |
|------|-----------------|-----------|-------|-------|
| 3 | 27 | 500 | 0,37 | 1,000 |

$$v_b = v_{b,0} \cdot c_a$$

$c_a = 1$ per $a_s \leq a_0$
 $c_a = 1 + k_s (a_s/a_0 - 1)$ per $a_0 < a_s \leq 1500$ m

v_b (velocità base di riferimento) 27,00 m/s

$$v_r = v_b \cdot c_r$$

c_r coefficiente di ritorno 1,00
 v_r (velocità di riferimento) 27,02 m/s

PRESSIONE CINETICA DI RIFERIMENTO §3.3.6.

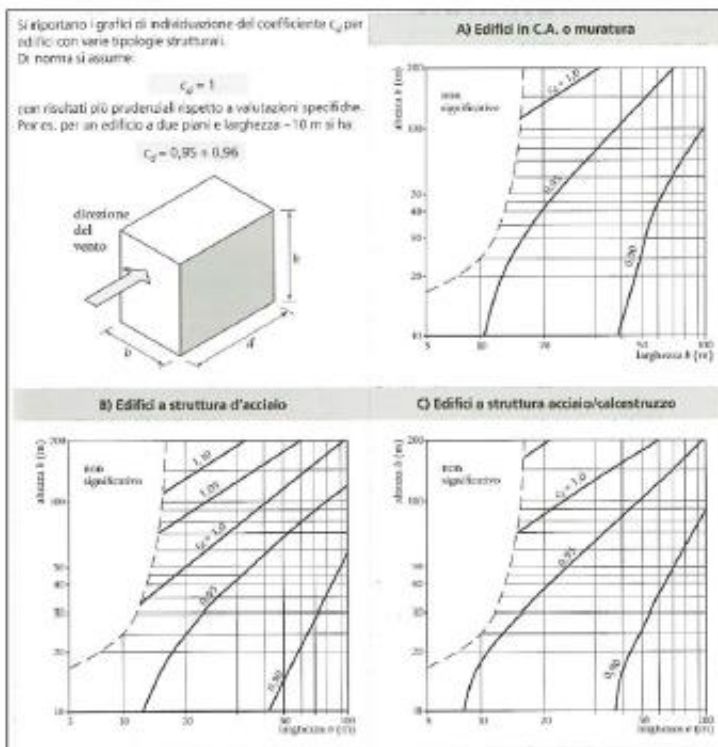
q_r (pressione cinetica di riferimento [N/mq])
 $q_r = 1/2 \cdot \rho \cdot v_r^2$ ($\rho = 1,25$ kg/m³)
 Pressione cinetica di riferimento q_r 456,29 [N/m²]

CALCOLO DEI COEFFICIENTI

Coefficiente dinamico [§3.3.8]

c_d

Esso può essere assunto cautelativamente pari ad 1 nelle costruzioni di tipologia ricorrente, quali gli edifici di forma regolare non eccedenti 80 m di altezza ed i capannoni industriali, oppure può essere determinato mediante analisi specifiche o facendo riferimento a dati di comprovata affidabilità.



Coefficiente Topografico (Orografico)

Il coefficiente topografico si assume di norma uguale ad 1, sia per zone pianeggianti, ondulate, collinose e montane. Nel caso di costruzioni che sorgono presso la sommità di colline o pendii isolati si procede nel modo seguente:

| 1 | 2 | 3 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|--|--|----------------------|-----------------------|-------------------------|--|-----------------------|--|--|--|------|-------------------------|--------------------------------|----------------------|------|-------------------------|--------------------------------|---------------------|---------|---------------|---------------------------------------|-------------|----------|--------------|--|--------------|
| Costruzioni ubicate sulla cresta di una collina | Costruzioni ubicate sul livello superiore | Costruzioni ubicate su di un pendio | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| $C_t = 1 + \beta \cdot \gamma$ | $C_t = 1 + \beta \cdot \gamma \cdot \left(1 - 0,1 \cdot \frac{x}{H} \right) \geq 1$ | $C_t = 1 + \beta \cdot \gamma \cdot \frac{h}{H}$ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <table><tr><th colspan="4">Coefficiente β</th><th colspan="4">Coefficiente γ</th></tr><tr><td>per:</td><td>$\frac{z}{H} \leq 0,75$</td><td>$0,75 \leq \frac{z}{H} \leq 2$</td><td>$\frac{z}{H} \geq 2$</td><td>per:</td><td>$\frac{H}{D} \leq 0,10$</td><td>$0,10 < \frac{H}{D} \leq 0,30$</td><td>$\frac{H}{D} > 0,3$</td></tr><tr><td>$\beta$</td><td>$\beta = 0,5$</td><td>$\beta = 0,8 - 0,4 \cdot \frac{z}{H}$</td><td>$\beta = 0$</td><td>$\gamma$</td><td>$\gamma = 0$</td><td>$\gamma = 5 \cdot \left(\frac{H}{D} - 0,10 \right)$</td><td>$\gamma = 1$</td></tr></table> | | | Coefficiente β | | | | Coefficiente γ | | | | per: | $\frac{z}{H} \leq 0,75$ | $0,75 \leq \frac{z}{H} \leq 2$ | $\frac{z}{H} \geq 2$ | per: | $\frac{H}{D} \leq 0,10$ | $0,10 < \frac{H}{D} \leq 0,30$ | $\frac{H}{D} > 0,3$ | β | $\beta = 0,5$ | $\beta = 0,8 - 0,4 \cdot \frac{z}{H}$ | $\beta = 0$ | γ | $\gamma = 0$ | $\gamma = 5 \cdot \left(\frac{H}{D} - 0,10 \right)$ | $\gamma = 1$ |
| Coefficiente β | | | | Coefficiente γ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| per: | $\frac{z}{H} \leq 0,75$ | $0,75 \leq \frac{z}{H} \leq 2$ | $\frac{z}{H} \geq 2$ | per: | $\frac{H}{D} \leq 0,10$ | $0,10 < \frac{H}{D} \leq 0,30$ | $\frac{H}{D} > 0,3$ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| β | $\beta = 0,5$ | $\beta = 0,8 - 0,4 \cdot \frac{z}{H}$ | $\beta = 0$ | γ | $\gamma = 0$ | $\gamma = 5 \cdot \left(\frac{H}{D} - 0,10 \right)$ | $\gamma = 1$ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Caso selezionato:

Condizione non isolata

Il coefficiente topografico vale: C_t **1,00**

Coefficiente di esposizione [§3.3.7]

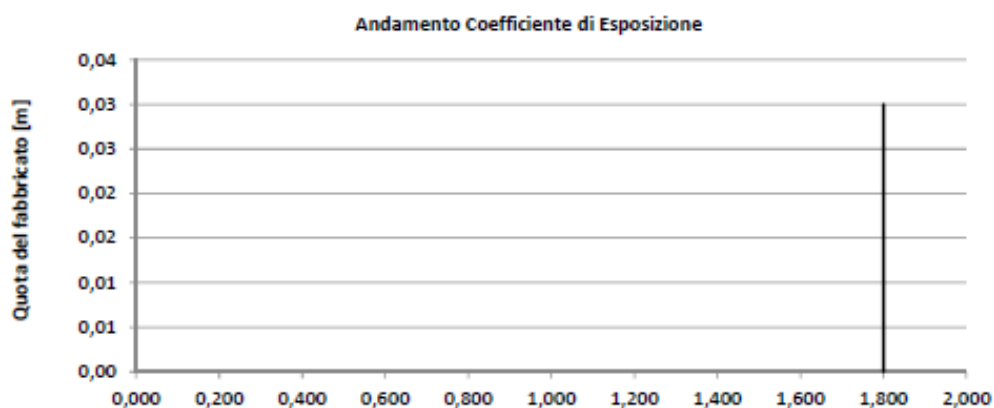
Il coefficiente di esposizione dipende dall'altezza z sul suolo del punto considerato, dalla topografia del terreno e dalla categoria di esposizione del sito (e quindi dalla classe di rugosità del terreno) ove sorge la costruzione; per altezze non maggiori di $z=200\text{m}$ valgono le seguenti espressioni

$$c_e(z) = k_r^2 \cdot c_t \cdot \ln(z/z_0) [7 + c_t \cdot \ln(z/z_0)] \quad \text{per } z \geq z_{\min}$$

$$c_e(z) = c_e(z_{\min}) \quad \text{per } z < z_{\min}$$

| k_r | z_0 [m] | z_{\min} [m] |
|-------|-----------|----------------|
| 0,19 | 0,05 | 4,00 |

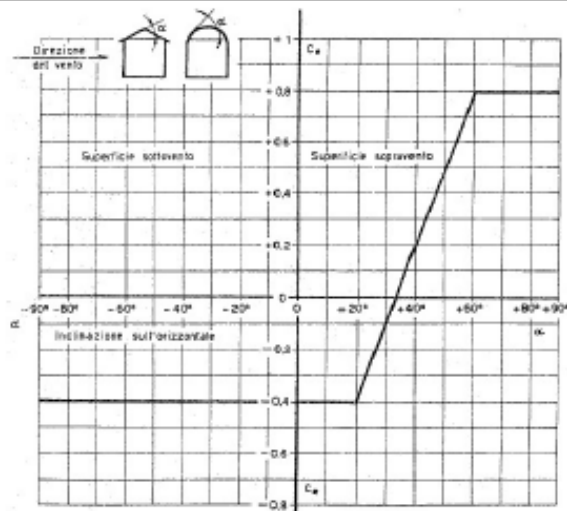
| | | | |
|---|-----------------------|------|------------|
| Coefficiente di esposizione minimo | $c_{e,\min}$ | 1,80 | $z < 4,00$ |
| Coefficiente di esposizione alla gronda | $c_{e,\text{gronda}}$ | 1,80 | $z = 0,00$ |
| Coefficiente di esposizione al colmo | $c_{e,\text{colmo}}$ | 1,80 | $z = 0,03$ |



Coefficiente di forma

Edifici a pianta rettangolare con coperture piane, a falde, inclinate, curve

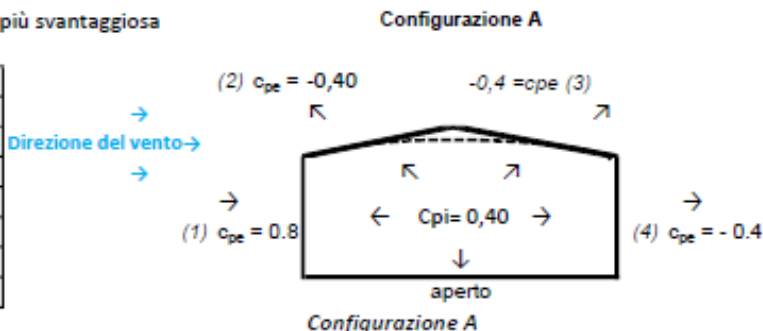
E' il coefficiente di forma (o coefficiente aerodinamico), funzione della tipologia e della geometria della costruzione e del suo orientamento rispetto alla direzione del vento. Il suo valore può essere ricavato da dati suffragati da opportuna documentazione o da prove sperimentali in galleria del vento.



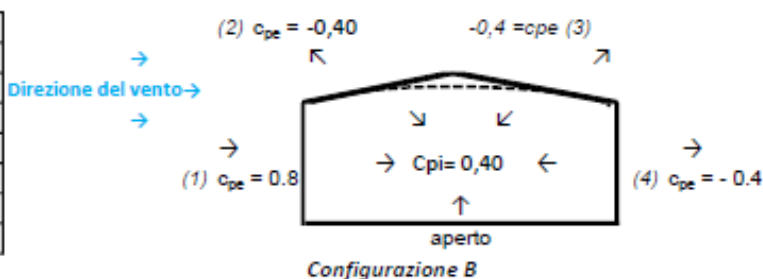
Costruzioni che presentano su due pareti opposte, normali alla direzione del vento, aperture di superficie non minore di 1/3 di quella totale

Configurazione più svantaggiosa

| | |
|---------------------------|-------|
| (1) parete sopravvento | c_p |
| | 0,40 |
| (2) copertura sopravvento | c_p |
| | -0,80 |
| (3) copertura sottovento | c_p |
| | -0,80 |
| (4) parete sottovento | c_p |
| | -0,80 |



| | |
|---------------------------|-------|
| (1) parete sopravvento | c_p |
| | 1,20 |
| (2) copertura sopravvento | c_p |
| | 0,00 |
| (3) copertura sottovento | c_p |
| | 0,00 |
| (4) parete sottovento | c_p |
| | 0,00 |



PRESSIONI DEL VENTO

Combinazione più sfavorevole per pareti e copertura:

Valori massimi della pressione per ogni elemento

p (pressione del vento) = $q_f \cdot c_d \cdot c_t \cdot c_e \cdot c_p$

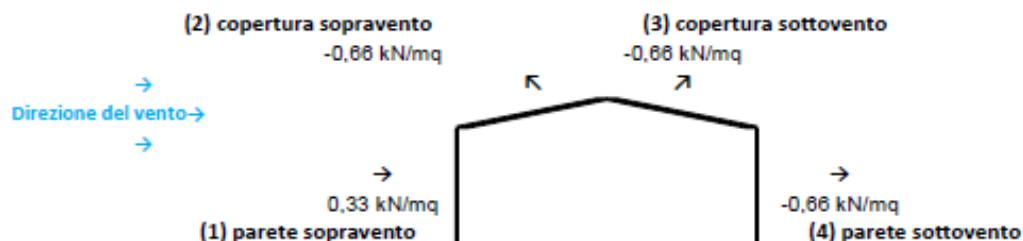
c_d (coefficiente dinamico)

c_t (coefficiente topografico)

c_e (coefficiente di esposizione)

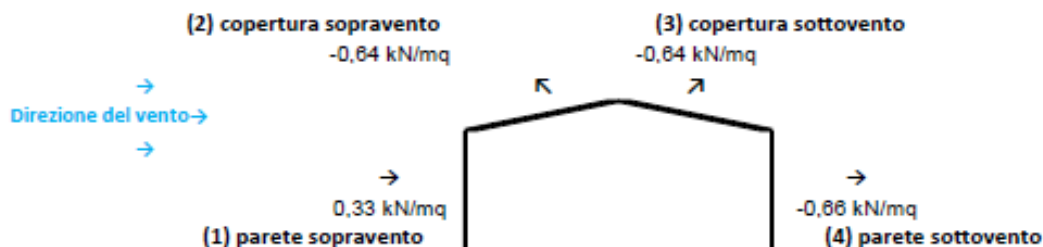
c_p (coefficiente di forma)

| | p [kN/m ²] | c_d | c_t | c_e | c_p | P [kN/m ²] |
|----------------------|--------------------------|-------|-------|-------|-------|--------------------------|
| (1) par. sopravvent. | 0,456 | 1,00 | 1,00 | 1,801 | 0,40 | 0,33 |
| (2) cop. sopravvent. | 0,456 | 1,00 | 1,00 | 1,801 | -0,80 | -0,66 |
| (3) cop. Sottovent. | 0,456 | 1,00 | 1,00 | 1,801 | -0,80 | -0,66 |
| (4) par. sottovent. | 0,456 | 1,00 | 1,00 | 1,801 | -0,80 | -0,66 |

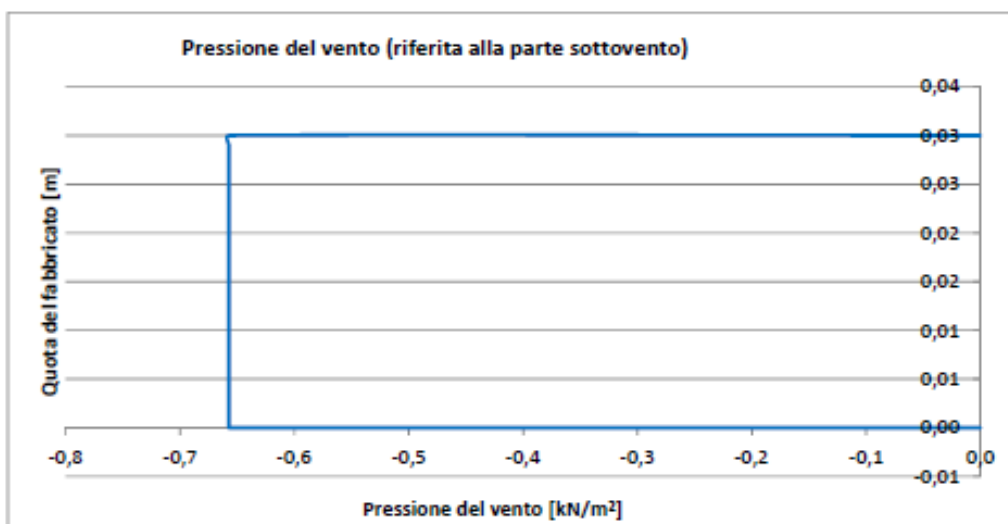
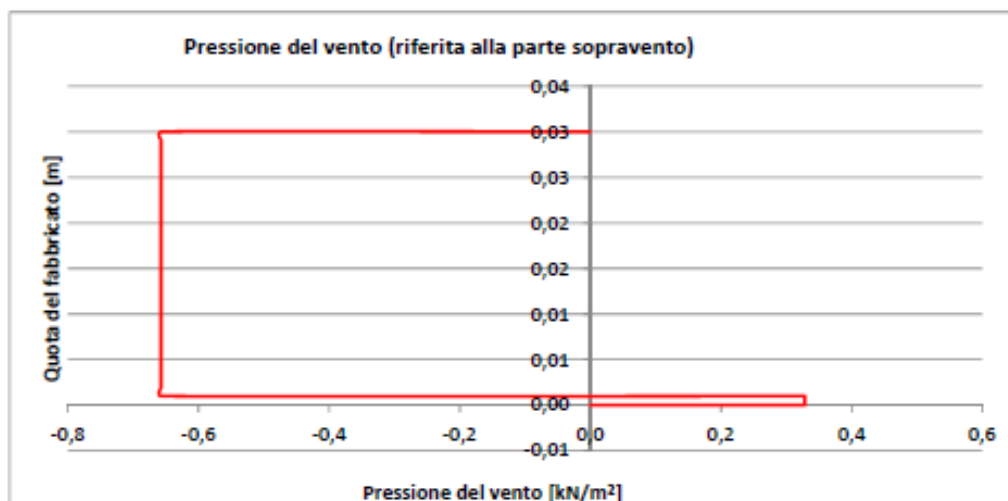


CoD044_FV_BCR_00008
CALCOLI PRELIMINARI DI
DIMENSIONAMENTO STRUTTURE

Valori medi della pressione per ogni elemento (da utilizzare per caricare il modello FEM)



Andamento delle pressioni più svataggiose



PRESSIONI DEL VENTO IN DIREZIONE TANGENZIALE [§3.3.5]

Tipo di superficie:

Superficie liscia (acciaio, calcestruzzo a faccia liscia...)

Pressione tangenziale del vento q_{tan} 8,22 [N/m²]

*Si applica solitamente alle superfici piane di grande estensione

Questo documento è proprietà di IREN Green Generation S.r.l. e di tutte le sue società controllate.
Se ne vieta la diffusione e l'utilizzo per scopi diversi da quelli per i quali è stato inviato.

CoD044_FV_BCR_00008
CALCOLI PRELIMINARI DI
DIMENSIONAMENTO STRUTTURE

3.2 Azione del vento inclinazione dei moduli di 55°

AZIONE DEL VENTO PAR. 3.3 NTC18

DEFINIZIONE DEI DATI

zona:

3) Toscana, Marche, Umbria, Lazio, Abruzzo, Molise, Puglia, Campania, Basilicata, Calabria (esclusa la provincia di Reggio Calabria)



Classe di rugosità del terreno:

D) Aree prive di ostacoli (aperta campagna, aeroporti, aree agricole, pascoli, zone paludose o sabbiose, superfici innevate o ghiacciate, mare, laghi,....)

L'assegnazione della classe di rugosità non dipende dalla conformazione orografica e topografica del terreno. Affinchè una costruzione possa dirsi ubicata in classe A o B è necessario che la situazione che contraddistingue la classe permanga intorno alla costruzione per non meno di 1 km e comunque non meno di 20 volte l'altezza della costruzione. Laddove sussistano dubbi sulla scelta della classe di rugosità, a meno di analisi dettagliate, verrà assegnata la classe più sfavorevole.

Nelle fasce entro i 40km dalla costa delle zone 1,2,3,4,5 e 6 la categoria di esposizione è indipendente dall'altitudine del sito.

a_g (altitudine sul livello del mare della costruzione):

50 [m]

Distanza dalla costa

9 [km]

T_R (Tempo di ritorno):

50 [anni]

Categoria di esposizione

II

| ZONE 1,2,3,4,5 | | | | | | |
|--|-------|------|------|-------|-------|------|
| | costa | mare | 2 km | 10 km | 30 km | 750m |
| A | -- | IV | IV | V | V | V |
| B | -- | III | III | IV | IV | IV |
| C | -- | * | III | III | IV | IV |
| D | I | II | II | II | III | ** |
| * Categoria II in zona 1,2,3,4 Categoria III in zona 5 | | | | | | |
| ** Categoria III in zona 2,3,4,5 Categoria IV in zona 1 | | | | | | |

| ZONA 6 | | | | | |
|--------|-------|------|------|-------|-------|
| | costa | mare | 2 km | 10 km | 30 km |
| A | -- | III | IV | V | V |
| B | -- | II | III | IV | IV |
| C | -- | II | III | III | IV |
| D | I | I | II | II | III |

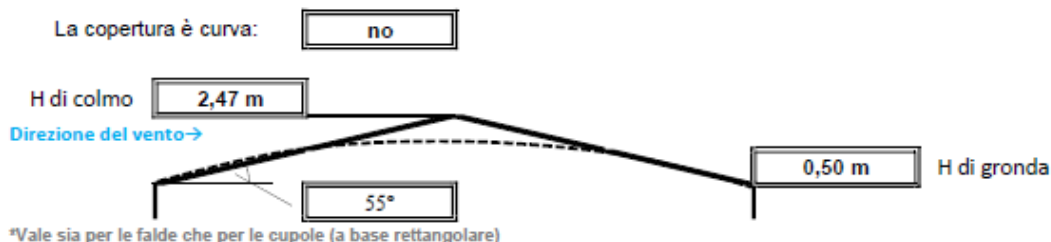
| ZONE 7,8 | | | |
|---|-------|------|--------|
| | costa | mare | 1.5 km |
| | | | 0.5 km |
| A | -- | -- | IV |
| B | -- | -- | IV |
| C | -- | -- | III |
| D | I | II | * |
| * Categoria II in zona 8 Categoria III in zona 7 | | | |

| ZONA 9 | | |
|--------|-------|------|
| | costa | mare |
| A | -- | I |
| B | -- | I |
| C | -- | I |
| D | I | I |

CoD044_FV_BCR_00008
**CALCOLI PRELIMINARI DI
DIMENSIONAMENTO STRUTTURE**

Altezza del colmo della copertura, rispetto al suolo e inclinazione della falda sopravvento

E' consigliabile calcolare la pressione del vento per ogni facciata del fabbricato modificando i parametri per ogni caso. Nel caso di studio su prospetto di timpano, la valutazione della pressione del vento si conduce come se la copertura fosse piana e la parete alta fino alla linea di colmo. Nel caso di coperture a padiglione, la valutazione delle pressioni si esegue su ogni facciata del fabbricato utilizzando di volta in volta l'angolo della falda investito dal vento. Nel caso di coperture curve, si deve inserire l'angolo della retta tangente al bordo della copertura, in sostanza l'angolo di attacco della copertura. (per cupole a tutto sesto l'angolo è di 90°, per cupole a sesto ribassato è minore di 90°). Nel caso di studio su prospetto piano l'analisi si conduce come su prospetto di timpano. Si osserva che oltre alle pressioni andrebbe considerata anche la forza tangenziale esercitata dal vento sul fabbricato. Generalmente essa si trascura, è necessaria modellarla solo per grandi coperture piane ad esempio: coperture di grandi capannoni industriali. Il foglio di calcolo è utilizzabile per fabbricati a base rettangolare.



CALCOLO VELOCITA' DI RIFERIMENTO DEL VENTO §3.3.2.

| Zona | $v_{b,0}$ [m/s] | a_0 [m] | k_s | C_a |
|------|-----------------|-----------|-------|-------|
| 3 | 27 | 500 | 0,37 | 1,000 |

$$v_b = v_{b,0} \cdot c_a$$

$c_a = 1$ per $a_s \leq a_0$
 $c_a = 1 + k_s (a_s/a_0 - 1)$ per $a_0 < a_s \leq 1500$ m

v_b (velocità base di riferimento) 27,00 m/s

$$v_r = v_b \cdot c_r$$

Cr coefficiente di ritorno 1,00
 v_r (velocità di riferimento) 27,02 m/s

PRESSIONE CINETICA DI RIFERIMENTO §3.3.6.

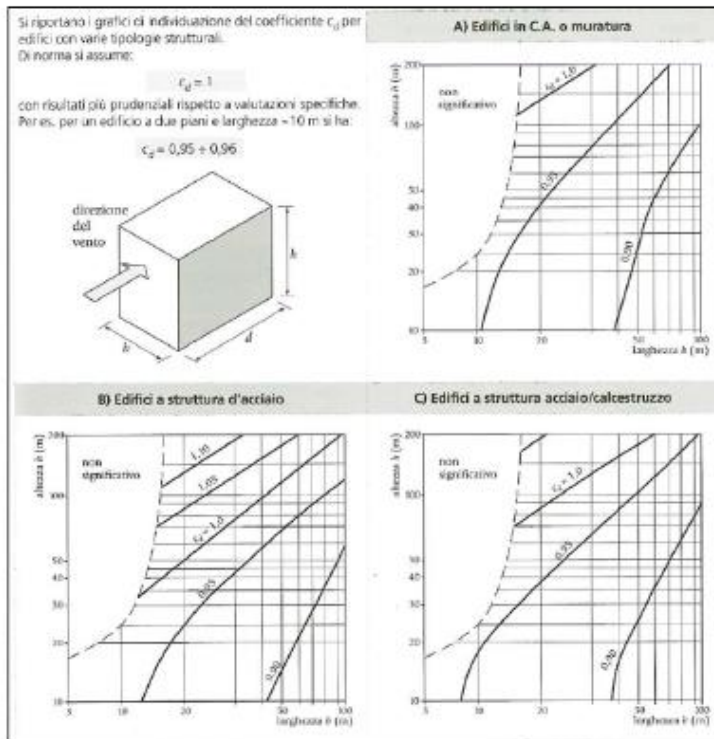
q_r (pressione cinetica di riferimento [N/mq])
 $q_r = 1/2 \cdot \rho \cdot v_r^2$ ($\rho = 1,25$ kg/m³)
 Pressione cinetica di riferimento q_r 456,29 [N/m²]

CALCOLO DEI COEFFICIENTI

Coefficiente dinamico [§3.3.8]

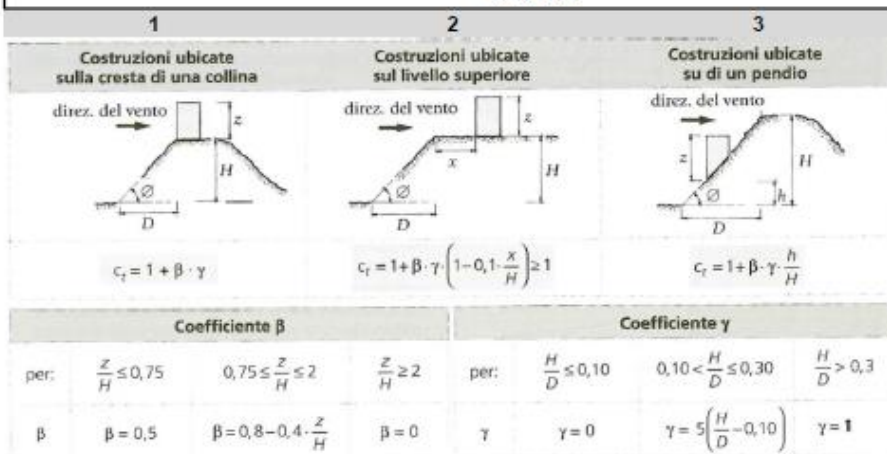
c_d

Esso può essere assunto cautelativamente pari ad 1 nelle costruzioni di tipologia ricorrente, quali gli edifici di forma regolare non eccedenti 80 m di altezza ed i capannoni industriali, oppure può essere determinato mediante analisi specifiche o facendo riferimento a dati di comprovata affidabilità.



Coefficiente Topografico (Orografico)

Il coefficiente topografico si assume di norma uguale ad 1, sia per zone pianeggianti, ondulate, collinose e montane. Nel caso di costruzioni che sorgono presso la sommità di colline o pendii isolati si procede nel modo seguente:



Caso selezionato:

Condizione non isolata

Il coefficiente topografico vale: c_t **1,00**

CoD044_FV_BCR_00008

CALCOLI PRELIMINARI DI DIMENSIONAMENTO STRUTTURE

Coefficiente di esposizione [§3.3.7]

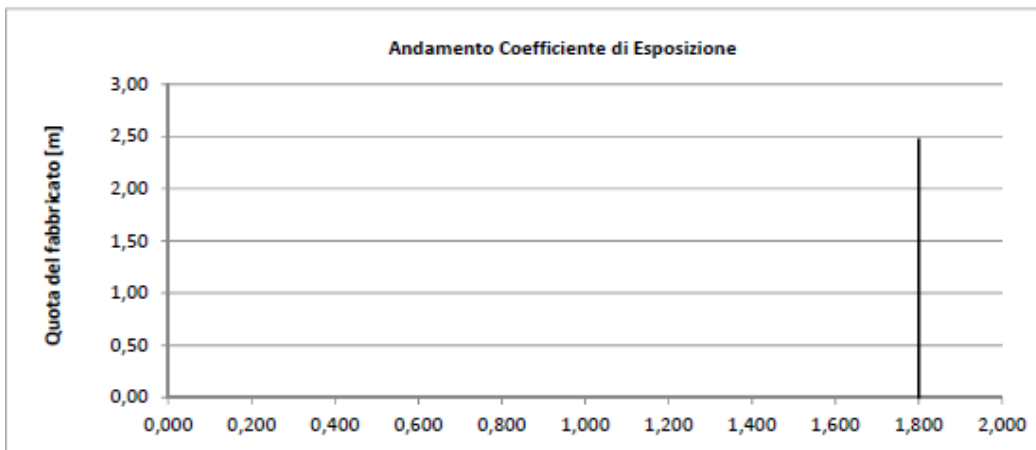
Il coefficiente di esposizione dipende dall'altezza z sul suolo del punto considerato, dalla topografia del terreno e dalla categoria di esposizione del sito (e quindi dalla classe di rugosità del terreno) ove sorge la costruzione; per altezze non maggiori di $z=200\text{m}$ valgono le seguenti espressioni

$$c_e(z) = k_r^2 \cdot c_t \cdot \ln(z/z_0) [7 + c_t \cdot \ln(z/z_0)] \quad \text{per } z \geq z_{\min}$$

$$c_e(z) = c_e(z_{\min}) \quad \text{per } z < z_{\min}$$

| k_r | z_0 [m] | z_{\min} [m] |
|-------|-----------|----------------|
| 0,19 | 0,05 | 4,00 |

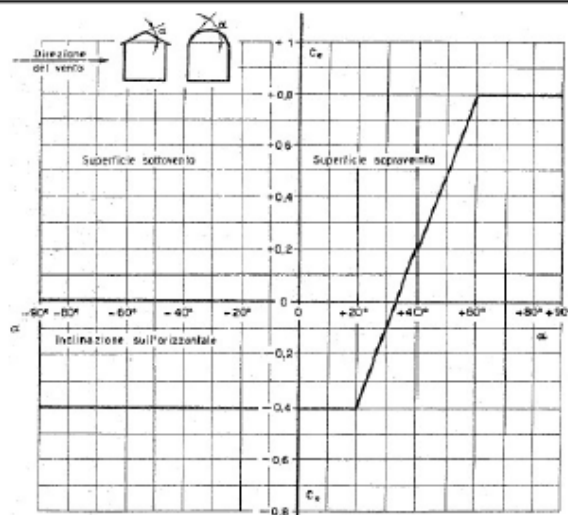
| | | | |
|---|-----------------------|------|------------|
| Coefficiente di esposizione minimo | $c_{e,\min}$ | 1,80 | $z < 4,00$ |
| Coefficiente di esposizione alla gronda | $c_{e,\text{gronda}}$ | 1,80 | $z = 0,50$ |
| Coefficiente di esposizione al colmo | $c_{e,\text{colmo}}$ | 1,80 | $z = 2,47$ |



Coefficiente di forma

Edifici a pianta rettangolare con coperture piane, a falde, inclinate, curve

E' il coefficiente di forma (o coefficiente aerodinamico), funzione della tipologia e della geometria della costruzione e del suo orientamento rispetto alla direzione del vento. Il suo valore può essere ricavato da dati suffragati da opportuna documentazione o da prove sperimentali in galleria del vento.



CoD044_FV_BCR_00008
CALCOLI PRELIMINARI DI
DIMENSIONAMENTO STRUTTURE

Tettoia ad uno spiovente

Configurazione più svantaggiosa

Configurazione A

| | |
|---------------------------|-------|
| (1) parete sopravvento | c_p |
| | 0,00 |
| (2) copertura sopravvento | c_p |
| | 2,18 |
| (3) copertura sottovento | c_p |
| | 0,00 |
| (4) parete sottovento | c_p |
| | 0,00 |

Direzione del vento →

(2) $c_{pe} = 2,18$



Configurazione A

| | |
|---------------------------|-------|
| (1) parete sopravvento | c_p |
| | 0,00 |
| (2) copertura sopravvento | c_p |
| | -2,18 |
| (3) copertura sottovento | c_p |
| | 0,00 |
| (4) parete sottovento | c_p |
| | 0,00 |

Direzione del vento →

(2) $c_{pe} = -2,18$



Configurazione B

PRESSIONI DEL VENTO

Combinazione più sfavorevole per pareti e copertura:

Valori massimi della pressione per ogni elemento

p (pressione del vento) = $q_r \cdot c_d \cdot c_t \cdot c_e \cdot c_p$

c_d (coefficiente dinamico) c_t (coefficiente topografico) c_e (coefficiente di esposizione)

c_p (coefficiente di forma)

| | p [kN/m ²] | c_d | c_t | c_e | c_p | P [kN/m ²] |
|---------------------|--------------------------|-------|-------|-------|-------|--------------------------|
| (1) par. sopravent. | 0,456 | 1,00 | 1,00 | 1,801 | 0,00 | 0,00 |
| (2) cop. sopravent. | 0,456 | 1,00 | 1,00 | 1,801 | 2,18 | 1,79 |
| (3) cop. Sottovent. | 0,456 | 1,00 | 1,00 | 1,801 | 0,00 | 0,00 |
| (4) par. sottovent. | 0,456 | 1,00 | 1,00 | 1,801 | 0,00 | 0,00 |

(2) copertura sopravvento

± 1,79 kN/mq

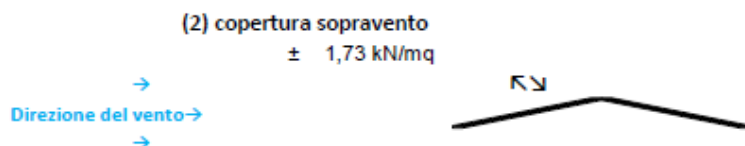
Direzione del vento →



CoD044_FV_BCR_00008

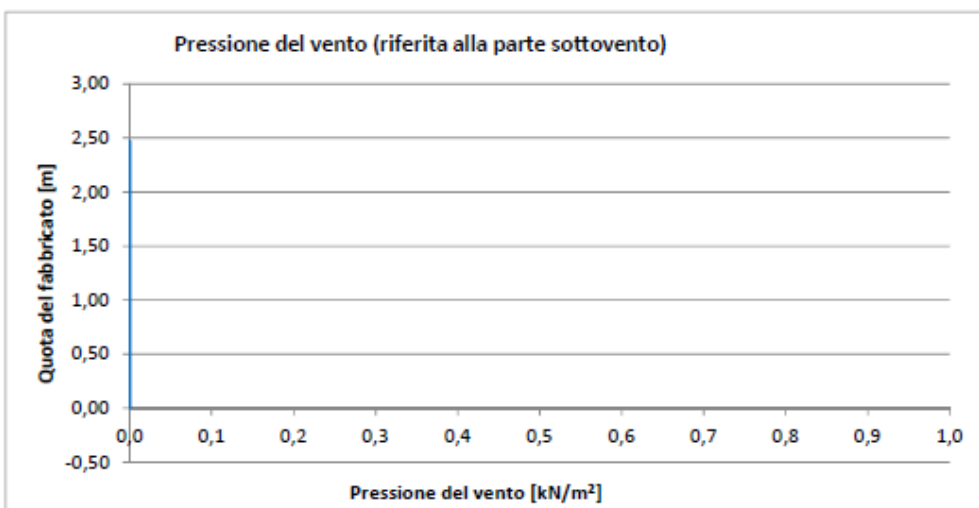
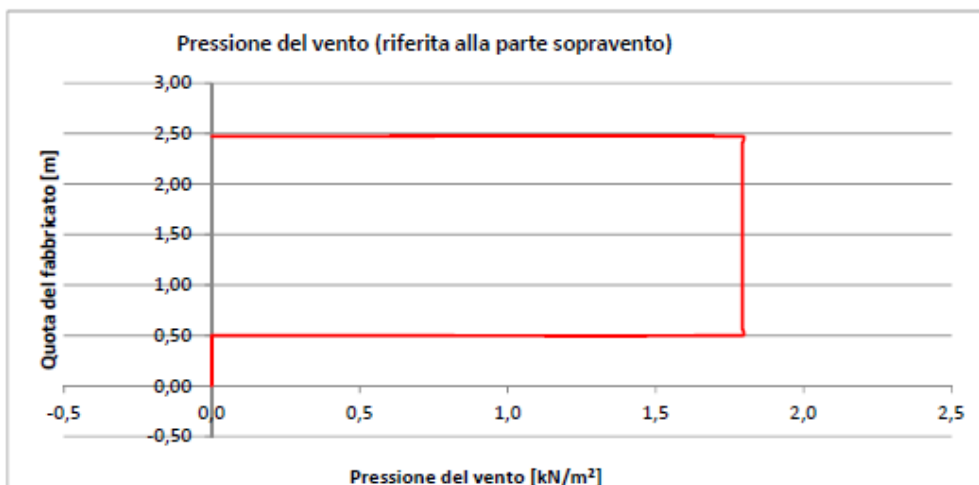
CALCOLI PRELIMINARI DI DIMENSIONAMENTO STRUTTURE

Valori medi della pressione per ogni elemento (da utilizzare per caricare il modello FEM)



Il simbolo \pm indica che bisogna considerare due combinazioni nel modello FEM

Andamento delle pressioni più svataggiose



PRESSIONI DEL VENTO IN DIREZIONE TANGENZIALE [§3.3.5]

Tipo di superficie:


Superficie liscia (acciaio, calcestruzzo a faccia liscia...)

Pressione tangenziale del vento q_{tan}

8,22

[N/m²]

*Si applica solitamente alle superfici piane di grande estensione

| | | |
|--|---|---------------------|
|  | ID Documento Committente | Pagina 18 / 25 |
| | CoD044_FV_BCR_00008 | Numero Revisione |
| | CALCOLI PRELIMINARI DI DIMENSIONAMENTO STRUTTURE | 00 |

4 Tracker di sostegno dei moduli

Per il sostegno dei moduli fotovoltaici sarà utilizzato un inseguitore solare monoassiale (Tracker) disposto lungo l'asse Nord-Sud dell'impianto fotovoltaico, realizzato in Acciaio Zincato a Caldo ed Alluminio. L'inseguitore solare sarà in grado di ruotare secondo la Direttrice Est - Ovest in funzione della posizione del Sole. La variazione dell'Angolo avviene in modo automatico grazie ad un apposito algoritmo di controllo di tipo astronomico.

Nel progetto è previsto l'utilizzo di due taglie di inseguitore monoassiale sui quali saranno ancorati, mediante adeguati fissaggi meccanici, i moduli fotovoltaici: uno che sarà in grado di ospitare n. 28 moduli fotovoltaici, l'altro in grado di ospitarne 14. La parte fissa degli inseguitori sarà installata nel terreno mediante infissione di pali di fondazione in acciaio zincato direttamente infissi nel terreno, senza necessità di opere in calcestruzzo.

La lunghezza dei pali infissi, è commisurata alle condizioni di carico specifiche dell'impianto (carichi di neve e vento) e alle caratteristiche locali di portanza del terreno interessato dall'infissione. La lunghezza del tratto dei pali infissi sarà comunque non inferiore a 1,5 metri. Opportune prove di estrazione e di carico preventive potranno poi essere realizzate in sito ai fini della progettazione esecutiva dell'impianto e dell'ottimizzazione delle strutture.

Per ciascun inseguitore solare (tracker), ciascun palo sarà equipaggiato con un ritto verticale in acciaio zincato di lunghezza adeguata al fine di consentire la corretta installazione della trave centrale che rappresenta l'asse attorno a cui ruoteranno i moduli fotovoltaici in direzione Est-Ovest. La suddetta trave centrale sarà realizzata tramite tubolare in acciaio zincato sostenuta attraverso l'applicazione di appositi cuscinetti dai montanti infissi nel terreno. L'infissione dei pali, dotati di uno strato adeguato di zincatura contro la corrosione, avviene tramite battitura con apposita macchina battipalo in modo da azzerare l'utilizzo di opere in calcestruzzo ed evitare il rilascio nell'ambiente di qualsiasi residuo di lavorazione. Il sistema strutturale composto da pali infissi e ritti 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 i moduli fotovoltaici.

I tracker avranno caratteristiche dimensionali per poter ospitare rispettivamente 28 o 14 moduli fotovoltaici solidali con la parte mobile degli stessi. Di seguito sono riportati i calcoli effettuati per il dimensionamento di entrambe le tipologie di tracker.



Figura 4.1: Tracker di sostegno moduli fotovoltaici.

4.1 Tracker da 28 moduli fotovoltaici

In Figura 4.2 sono mostrate le caratteristiche dimensionali dei tracker atti ad ospitare 28 moduli fotovoltaici.

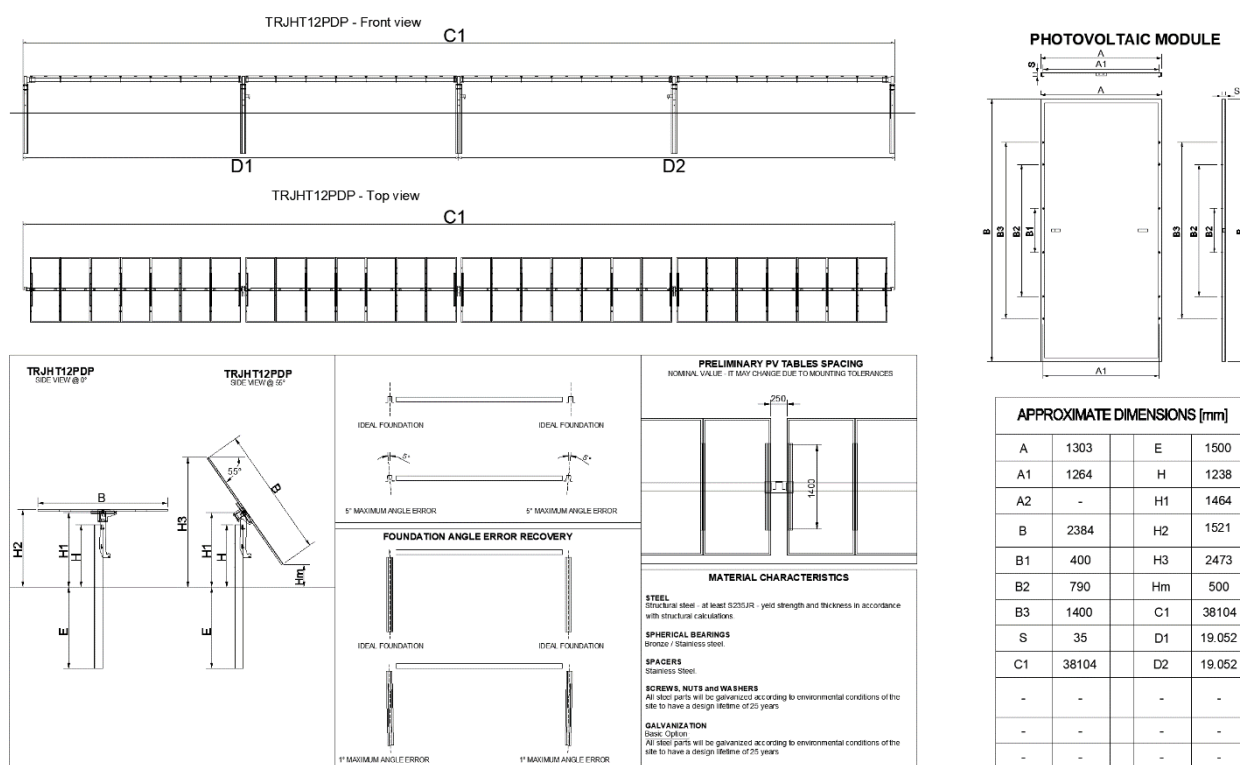


Figura 4.2: Dimensioni geometriche dei tracker da 28 moduli

I pali verticali di sostegno saranno collocati equidistanziati con interasse pari a circa 9 m, distanza che, secondo certificazione del costruttore, consente il rispetto dei dettami normativi considerando i carichi di seguito descritti ed analizzati, affrontando singolarmente le due inclinazioni limite di 0° e 55°.

Resta chiaro che in questa fase progettuale, tutti i calcoli effettuati sono puramente indirizzati alla scelta della tipologia di struttura. In fase esecutiva tutti i calcoli saranno accuratamente riefettuati, tenendo precisamente conto della conformazione del terreno, la profondità di infissione, la tipologia e lo spessore delle strutture portanti in acciaio nonché il loro materiale, tutti i carichi e tutti gli ulteriori dettagli propri di una progettazione esecutiva.

4.1.1 Tracker da 28 moduli fotovoltaici inclinati a 55°

Considerando uniformemente distribuiti tutti i carichi dovuti sia ai sovrastanti moduli fotovoltaici, che costituiscono un carico pari a 10,63 kN (dato dal prodotto tra il numero di moduli pari a 28 e il peso del singolo modulo pari a 38,7 kg), sia dalle azioni degli agenti atmosferici che, nel caso in

esame, risulta pari a circa 150,5 kN (legato alla pressione del vento massima pari a 1,73 kN/mq moltiplicata per l'intera superficie dei moduli fotovoltaici ancorati al singolo sistema strutturale).

In Figura 4.3 è mostrata la struttura utilizzata per la simulazione che, considerando i carichi sopra determinati e profili a sezione rettangolare aventi dimensioni 160x160x6 mm per la realizzazione delle travature della struttura di sostegno, porta ai valori delle sollecitazioni delle singole parti della struttura di riferimento mostrati nel grafico di Figura 4.4 e riportati nelle successive tabelle. In particolare, in Tabella 4.1 sono riportate le sollecitazioni sulle travi componenti la struttura mentre in Tabella 4.2 sono riportati gli spostamenti calcolati sui nodi di riferimento.

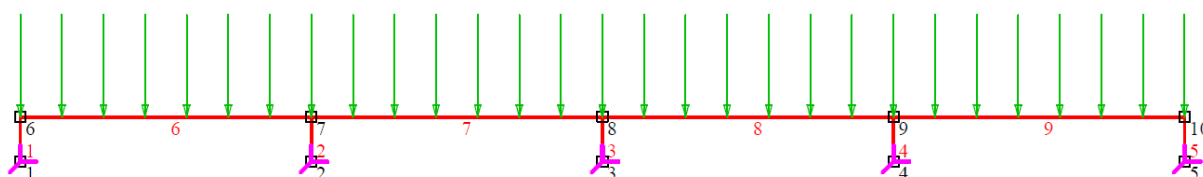


Figura 4.3: Struttura di riferimento utilizzata per la simulazione

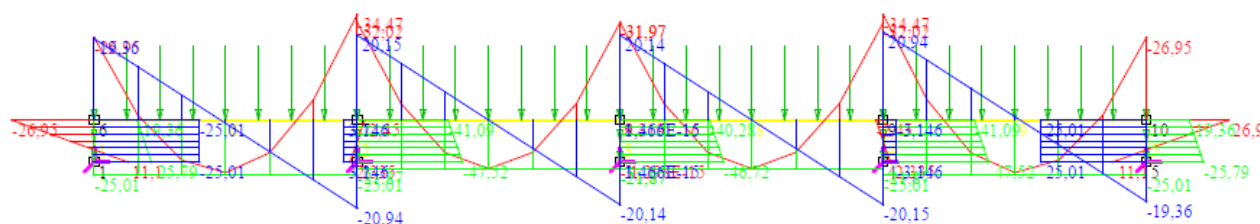


Figura 4.4: Grafico dei risultati ottenuti dalla simulazione

| ID elemento | σ_{sup} [MPa] | σ_{inf} [MPa] | $N(x)$ [kN] | $V(x)$ [kN] | $M(x)$ [kNm] |
|-------------|-------------------------|-------------------------|----------------|----------------|-----------------|
| Trave #1 | -175,8 | 148,4 | -25,79 | -25,01 | 11,1 |
| Trave #2 | 8,894 | -59,34 | -47,52 | 3,146 | -2,335 |
| Trave #3 | -24,8 | -24,8 | -46,72 | 1,466E-15 | -1,298E-15 |
| Trave #4 | -59,34 | 8,894 | -47,52 | -3,146 | 2,335 |
| Trave #5 | 148,4 | -175,8 | -25,79 | 25,01 | -11,1 |
| Trave #6 | 380,5 | -407,1 | -25,01 | 19,36 | -26,95 |
| Trave #7 | 456,3 | -479,5 | -21,87 | 20,15 | -32,02 |
| Trave #8 | 455,5 | -478,7 | -21,87 | 20,14 | -31,97 |
| Trave #9 | 490,4 | -517 | -25,01 | 20,94 | -34,47 |

Tabella 4.1: Sollecitazioni calcolate sulle travi

| ID elemento | Dx [m] | Dy [m] | R [rad] |
|-------------|-------------|-------------|--------------|
| Nodo #6 | 0,001129 | -8,649E-05 | -0,007416 |
| Nodo #7 | 0,0005265 | -0,0001703 | 5,36E-05 |
| Nodo #8 | 3,947E-19 | -0,0001672 | -1,714E-19 |
| Nodo #9 | -0,0005265 | -0,0001703 | -5,363E-05 |
| Nodo #10 | -0,001129 | -8,679E-05 | 0,007416 |

Tabella 4.2: Spostamenti calcolati sui nodi di riferimento

4.1.2 Tracker da 28 moduli fotovoltaici inclinati a 0°

Considerando uniformemente distribuiti tutti i carichi dovuti sia ai sovrastanti moduli fotovoltaici, che costituiscono un carico pari a 10,63 kN (dato dal prodotto tra il numero di moduli pari a 28 e il peso del singolo modulo pari a 38,7 kg), sia dalle azioni degli agenti atmosferici che, nel caso in esame, risulta pari a circa 0,73 kN (legato alla pressione del vento massima pari a 0,64 kN/mq moltiplicata per l'intera superficie dei moduli fotovoltaici ancorati al singolo sistema strutturale).

In Figura 4.5 è mostrata la struttura utilizzata per la simulazione che, considerando i carichi sopra determinati e profili a sezione rettangolare aventi dimensioni 160x160x6 mm per la realizzazione delle travature della struttura di sostegno, porta ai valori delle sollecitazioni delle singole parti della struttura di riferimento mostrati nel grafico di Figura 4.6 e riportati nelle successive tabelle. In particolare, in Tabella 4.3 sono riportate le sollecitazioni sulle travi componenti la struttura mentre in Tabella 4.4 sono riportati gli spostamenti calcolati sui nodi di riferimento.

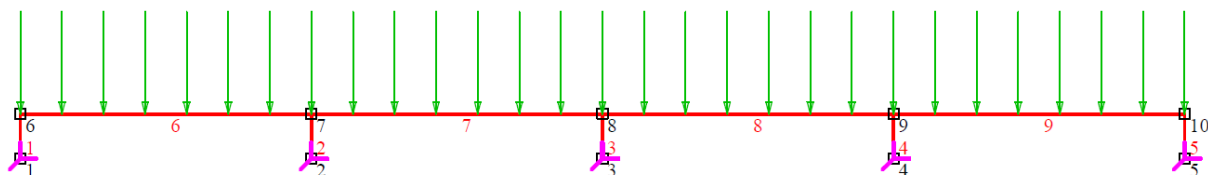


Figura 4.5: Struttura di riferimento utilizzata per la simulazione

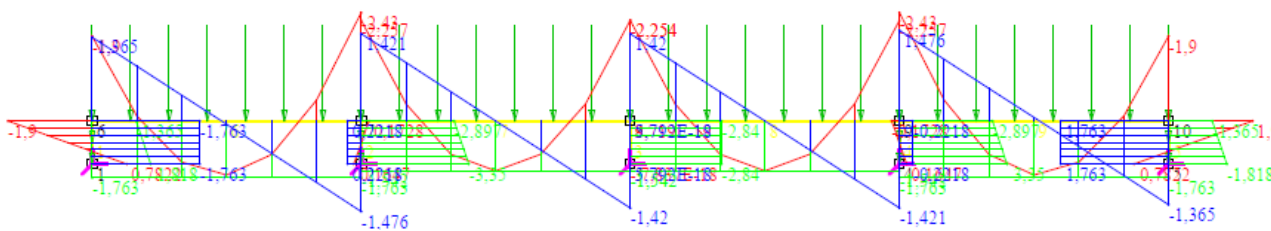


Figura 4.6: Grafico dei risultati ottenuti dalla simulazione

| ID elemento | σ_{sup} [MPa] | σ_{inf} [MPa] | $N(x)$ [kN] | $V(x)$ [kN] | $M(x)$ [kNm] |
|-------------|-------------------------|-------------------------|----------------|----------------|-----------------|
| Trave #1 | -12,39 | 10,46 | -1,818 | -1,763 | 0,7822 |
| Trave #2 | 0,6275 | -4,184 | -3,35 | 0,2218 | -0,1647 |
| Trave #3 | -1,507 | -1,507 | -2,84 | 5,792E-18 | -7,873E-18 |
| Trave #4 | -4,184 | 0,6275 | -3,35 | -0,2218 | 0,1647 |
| Trave #5 | 10,46 | -12,39 | -1,818 | 1,763 | -0,7822 |
| Trave #6 | 26,82 | -28,7 | -1,763 | 1,365 | -1,9 |
| Trave #7 | 32,17 | -33,8 | -1,542 | 1,421 | -2,257 |
| Trave #8 | 32,11 | -33,75 | -1,42 | 1,42 | -2,254 |
| Trave #9 | 34,57 | -36,44 | -1,763 | 1,476 | -2,43 |

Tabella 4.3: Sollecitazioni calcolate sulle travi

| ID elemento | Dx [m] | Dy [m] | R [rad] |
|-------------|-------------|-------------|--------------|
| Nodo #6 | 7,958E-05 | -6,118E-06 | -0,0005228 |
| Nodo #7 | 3,712E-05 | -1,201E-05 | 3,798E-06 |
| Nodo #8 | 0 | -1,092E-05 | 0 |
| Nodo #9 | -3,712E-05 | -1,201E-05 | -3,798E-06 |
| Nodo #10 | -7,958E-05 | -6,118E-06 | 0,0005228 |

Tabella 4.4: Spostamenti calcolati sui nodi di riferimento

4.2 Tracker da 14 moduli fotovoltaici

In Figura 4.7 sono mostrate le caratteristiche dimensionali dei tracker atti ad ospitare 14 moduli fotovoltaici.

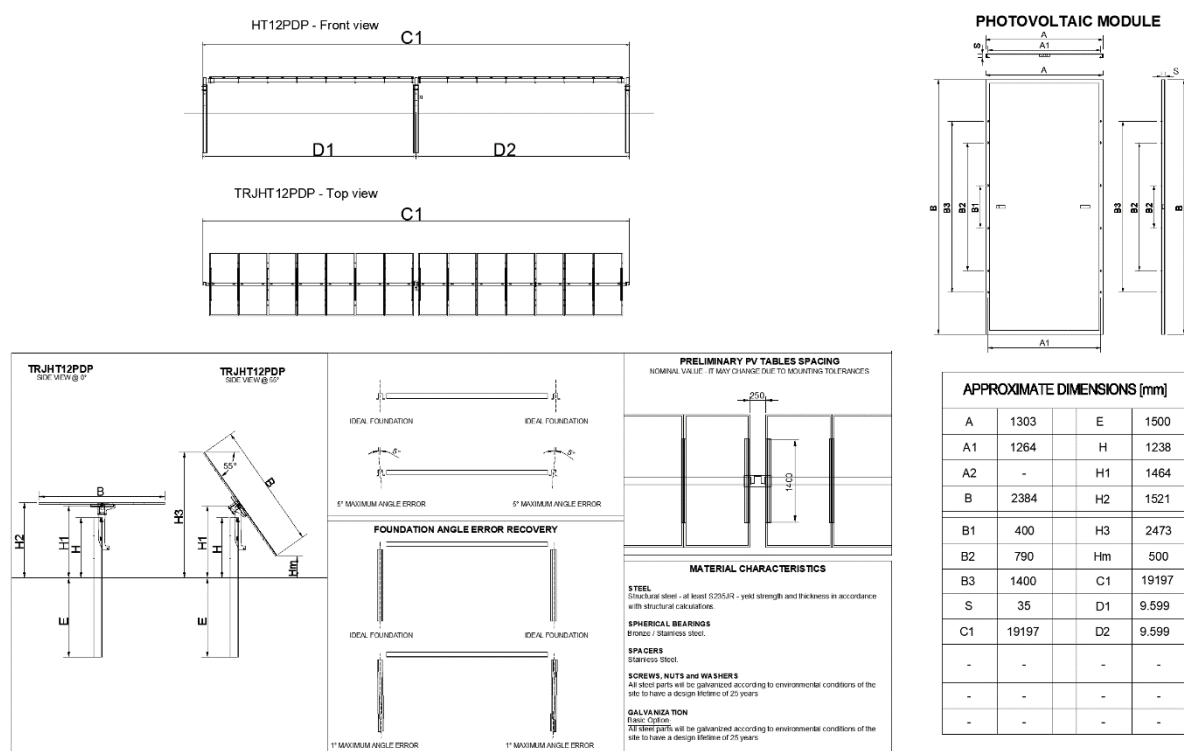


Figura 4.7: Dimensioni geometriche dei tracker da 14 moduli

I pali verticali di sostegno saranno collocati equidistanziati con interasse pari a circa 9 m, distanza che, secondo certificazione del costruttore, consente il rispetto dei dettami normativi considerando i carichi di seguito descritti ed analizzati, affrontando singolarmente le due inclinazioni limite di 0° e 55°.

Resta chiaro che in questa fase progettuale, tutti i calcoli effettuati sono puramente indirizzati alla scelta della tipologia di struttura. In fase esecutiva tutti i calcoli saranno accuratamente riefettuati, tenendo precisamente conto della conformazione del terreno, la profondità di infissione, la tipologia e lo spessore delle strutture portanti in acciaio nonché il loro materiale, tutti i carichi e tutti gli ulteriori dettagli propri di una progettazione esecutiva.

4.2.1 Tracker da 14 moduli fotovoltaici inclinati a 55°

Considerando uniformemente distribuiti tutti i carichi dovuti sia ai sovrastanti moduli fotovoltaici, che costituiscono un carico pari a 5,32 kN (dato dal prodotto tra il numero di moduli pari a 14 e il peso del singolo modulo pari a 38,7 kg), sia dalle azioni degli agenti atmosferici che, nel caso in esame, risulta pari a circa 150,5 kN (legato alla pressione del vento massima pari a 1,73 kN/mq moltiplicata per l'intera superficie dei moduli fotovoltaici ancorati al singolo sistema strutturale).

In Figura 4.8 è mostrata la struttura utilizzata per la simulazione che, considerando i carichi sopra determinati e profili a sezione rettangolare aventi dimensioni 160x160x6 mm per la realizzazione delle travature della struttura di sostegno, porta ai valori delle sollecitazioni delle singole parti della struttura di riferimento mostrati nel grafico di Figura 4.9 e riportati nelle successive tabelle. In particolare, in Tabella 4.5 sono riportate le sollecitazioni sulle travi componenti la struttura mentre in Tabella 4.6 sono riportati gli spostamenti calcolati sui nodi di riferimento.

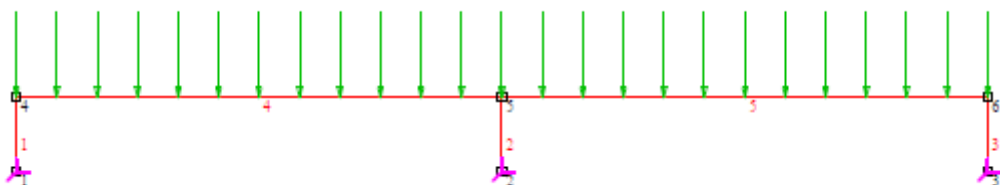


Figura 4.8: Struttura di riferimento utilizzata per la simulazione

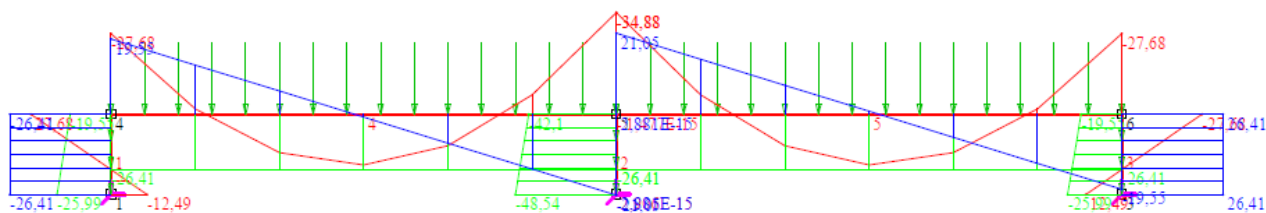


Figura 4.9: Grafico dei risultati ottenuti dalla simulazione

| ID elemento | σ_{sup} [MPa] | σ_{inf} [MPa] | $N(x)$ [kN] | $V(x)$ [kN] | $M(x)$ [kNm] |
|-------------|-------------------------|-------------------------|----------------|----------------|-----------------|
| Trave #1 | -414,7 | 394 | -19,55 | -26,41 | 27,68 |
| Trave #2 | -22,35 | -22,35 | -42,1 | 2,881E-15 | -1,477E-15 |
| Trave #3 | 394 | -414,7 | -19,55 | 26,41 | -27,68 |
| Trave #4 | 390,4 | -418,4 | -26,41 | 19,55 | -27,68 |
| Trave #5 | 495,6 | -523,6 | -26,41 | 21,05 | -34,88 |

Tabella 4.5: Sollecitazioni calcolate sulle travi

| ID elemento | Dx [m] | Dy [m] | R [rad] |
|-------------|-------------|-------------|--------------|
| Nodo #4 | 0,0006406 | -8,753E-05 | 0,007104 |
| Nodo #5 | 1,028E-18 | 0,0001742 | -6,681E-19 |
| Nodo #6 | -0,0006406 | -8,753E-05 | 0,007104 |

Tabella 4.6: Spostamenti calcolati sui nodi di riferimento

4.2.2 Tracker da 14 moduli fotovoltaici inclinati a 0°

Considerando uniformemente distribuiti tutti i carichi dovuti sia ai sovrastanti moduli fotovoltaici, che costituiscono un carico pari a 5,32 kN (dato dal prodotto tra il numero di moduli pari a 14 e il

peso del singolo modulo pari a 38,7 kg), sia dalle azioni degli agenti atmosferici che, nel caso in esame, risulta pari a circa 0,36 kN (legato alla pressione del vento massima pari a 0,64 kN/mq moltiplicata per l'intera superficie dei moduli fotovoltaici ancorati al singolo sistema strutturale).

In Figura 4.10 è mostrata la struttura utilizzata per la simulazione che, considerando i carichi sopra determinati e profili a sezione rettangolare aventi dimensioni 160x160x6 mm per la realizzazione delle travature della struttura di sostegno, porta ai valori delle sollecitazioni delle singole parti della struttura di riferimento mostrati nel grafico di Figura 4.11 e riportati nelle successive tabelle. In particolare, in Tabella 4.7 sono riportate le sollecitazioni sulle travi componenti la struttura mentre in Tabella 4.8 sono riportati gli spostamenti calcolati sui nodi di riferimento.

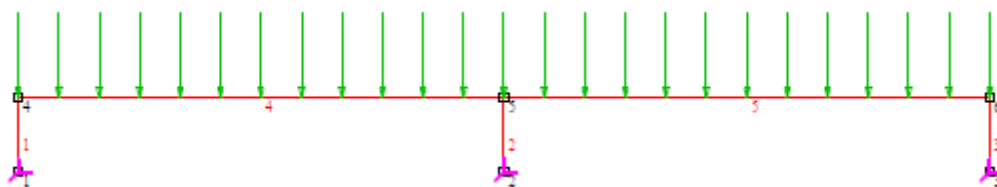


Figura 4.10: Struttura di riferimento utilizzata per la simulazione

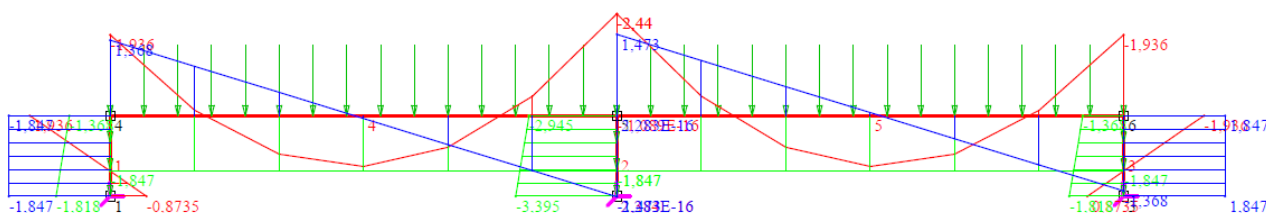



Figura 4.11: Grafico dei risultati ottenuti dalla simulazione

| ID elemento | σ_{sup} [MPa] | σ_{inf} [MPa] | $N(x)$ [kN] | $V(x)$ [kN] | $M(x)$ [kNm] |
|-------------|-------------------------|-------------------------|----------------|----------------|-----------------|
| Trave #1 | -29,01 | 27,56 | -1,368 | -1,847 | 1,936 |
| Trave #2 | -1,563 | -1,563 | -2,945 | 2,283E-16 | -1,089E-16 |
| Trave #3 | 27,56 | -29,01 | -1,368 | 1,847 | -1,936 |
| Trave #4 | 27,31 | -29,27 | -1,847 | 1,368 | -1,936 |
| Trave #5 | 34,67 | -36,63 | -1,847 | 1,473 | -2,44 |

Tabella 4.7: Sollecitazioni calcolate sulle travi

| ID elemento | Dx [m] | Dy [m] | R [rad] |
|-------------|-------------|-------------|--------------|
| Nodo #4 | 4,481E-05 | -6,123E-06 | -0,0004969 |
| Nodo #5 | 0 | -1,219E-05 | 0 |
| Nodo #6 | -4,481E-05 | -6,123E-06 | 0,0004969 |

Tabella 4.8: Spostamenti calcolati sui nodi di riferimento

| | | |
|--|---|---------------------|
|  | ID Documento Committente CoD044_FV_BCR_00008 CALCOLI PRELIMINARI DI DIMENSIONAMENTO STRUTTURE | Pagina 25 / 25 |
| | | Numero Revisione |
| | | 00 |

5 Conclusioni

Le strutture metalliche di sostegno installate in campo presentano caratteristiche dimensionali tali da sostenere i carichi di riferimento indicati dalla normativa tecnica. In fase di progettazione esecutiva, una volta definiti i modelli definitivi dei tracker, sarà il produttore stesso ad effettuare il corretto dimensionamento delle strutture, in modo da assicurare che rispondano alle specifiche dettagliate fornite dal cliente. Sarà cura dello stesso produttore, fornire le strutture dotate di idonea certificazione di rispondenza ai progetti esecutivi i quali saranno depositati presso gli enti secondo le procedure previste in materia.

I tecnici

Arch. Gianluca Francavilla



Ing. Giuseppe Berardinelli



Ing. Luigi Fratianni

