

REGIONE SICILIANA  
COMUNE DI CASTELLANA SICULA (PA)

PROGETTO DEFINITIVO

Progetto per la realizzazione di un impianto agrovoltaico di potenza di picco 80,280 MWp e potenza in immissione 66,456 MW denominato "H136 - C.DA BELICE" e relative opere connesse

N° Elaborato: **D.6 - VNREL0006A0**

Scala: **N.D.**

Documento: **Relazione preliminare strutturale**

Formato: **A4**

Proponente:

**GT 1 S.r.l.**

Via Fratelli Ruspoli, n° 8  
00198, Roma (RM)  
P.IVA 16396191005  
gt1.srl@legalmail.it

Progettazione:

**XEQSOLAR**

**XEQUESTRIS SOLAR ITALIA s.r.l.**

Corso Principe Oddone, n°18  
10122, Torino (TO)  
P.IVA 06710470821

Ufficio Progettazione Xeq Solar:

**Ing. Dario Sinacori**

Ordine Ingegneri Trapani, n°1666  
Direttore Tecnico Energie Rinnovabili

**Ing. Giorgio Ricci**

Responsabile Attività Ingegneria  
Energie Rinnovabili

**Ing. Fabio Sinacori**

Tecnico Energie Rinnovabili

**Geom. Vincenzo Mistretta**

Tecnico Energie Rinnovabili

**Geom. Roberto Patanè**

Tecnico Energie Rinnovabili

**Ing. Giuseppe Lombardo**

Tecnico Energie Rinnovabili

**Arch. Eleonora Morgana**

Tecnico Energie Rinnovabili

**Ing. Aurora Scoma**

Tecnico Energie Rinnovabili

**Arch. Noemi Guarneri**

Tecnico Energie Rinnovabili

REV.	DATA	DESCRIZIONE	REDATTO	APPROVATO	RILASCIATO
00	15/09/2023	1° EMISSIONE	ARCH. MORGANA E.	ING. RICCI G	ING. SINACORI D

## Sommario

---

1.	PREMESSA.....	1
2.	NORMATIVI DI RIFERIMENTO.....	1
3.	INQUADRAMENTO TERRITORIALE .....	2
4.	DESCRIZIONE IMPIANTO .....	3
5.	TRACKER MONOASSIALI .....	3
6.	AZIONI AGENTI .....	6
7.	METODOLOGIA DI CALCOLO SEMPLIFICATA.....	7

---

## 1. PREMESSA

Il presente documento ha l'obiettivo di descrivere le tipologie strutturali, gli schemi ed i modelli di calcolo delle opere previste nel progetto dell'impianto agrovoltaiico di potenza di picco 80,280 MWp e potenza in immissione 66,456 MW denominato "H136 – C.DA BELICE" e relative opere connesse finalizzato alla produzione di energia elettrica in "grid parity" da realizzarsi nel comune di Castellana Sicula (PA) in C.da Belice, censito nel N.C.T. del comune al foglio di mappa n. 50 particelle 17-18-19-20-21-22-27-33-34-56-57-77-80-81-83-84-85 e foglio di mappa n. 51 particelle 23-24-30-31-32-33-34-45-46-47-48-49-50-51-52-57-58-89-90-103-104-105-160-165-234-235-249-253-266-267-269-270-272-273-275 connesso in parallelo alla R.T.N. e finalizzato alla cessione totale dell'energia elettrica prodotta.

Nella fattispecie nel presente documento verranno descritte le azioni agenti sulle strutture dei tracker (inseguitori monoassiali), come ad esempio l'azione del vento e le relative verifiche da effettuare per soddisfare i requisiti di sicurezza previsti dalla normativa tecnica vigente (D.M. 17.01.2018 e Circolare Esplicativa n°7 del 21.01.2019).

Si evidenzia che i sistemi monoassiali impiegati saranno quelli dell'azienda "Soltec Renewable Energies" (o azienda similare), tra i principali produttori e fornitori di inseguitori solari monoassiali, dotata di certificazione UL 3703, testata agli standard di sicurezza, meccanici ed elettrici dei sistemi di inseguimento solare. Resta inteso che le effettive strutture, in sede di progettazione esecutiva, saranno opportunamente verificate direttamente dall'azienda fornitrice che provvederà, qualora si manifestassero esigenze strutturali diverse a seconda del sito d'installazione, a sostituirli con i modelli più performanti sempre nel rispetto di dimensioni, sistema di inseguimento solare e tipologia.

## 2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Si riportano di seguito le principali norme a cui viene fatto riferimento nelle fasi di calcolo e verifiche strutturali:

- D.M. 17/01/2018 (Norme Tecniche per le Costruzioni);
- Circolare esplicativa n° 7 del 21/01/2019 "Istruzioni per l'applicazione delle Norme

---

tecniche per le costruzioni di cui al D.M. 17/01/2018;

- Legge n. 1086 del 05.11.1971 “Norme per la disciplina delle opere in c.a. normale e precompresso, ed a struttura metallica”;
- Legge n. 64 del 02.02.1974 – “Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche”;
- Eurocodice 2 “Progettazione delle strutture di calcestruzzo”;
- Eurocodice 3 “Progettazione delle strutture di acciaio”;
- Eurocodice 8 “Progettazione delle strutture per la resistenza sismica”.

### **3. INQUADRAMENTO TERRITORIALE**

Il sito del costruendo impianto è ubicato nel territorio del Comune di Castellana Sicula (PA) all’interno della città metropolitana di Palermo, ed è caratterizzato da un’orografia con leggere pendenze verso ovest-est tra il 11-15% e verso nord-sud tra il 10-14% posta a circa 430 m s.l.m.



*Figura 1 - Ubicazione impianto*

---

Il baricentro dell'impianto è individuato dalle seguenti coordinate:

**Latitudine 37.658356°- Longitudine 13.918144°**

#### **4. DESCRIZIONE IMPIANTO**

L'impianto agrovoltaico sarà costituito complessivamente da 119.821 moduli fotovoltaici di potenza pari a 670 Wp cad. che saranno installati su apposite strutture metalliche di sostegno del tipo ad inseguimento monoassiale (trackers), fissate al terreno. I cavi provenienti dai raggruppamenti delle stringhe dei moduli fotovoltaici collegati in serie saranno convogliati ai quadri di parallelo (*String Box*), da cui a loro volta partiranno le linee elettriche che andranno alle cabine di campo (*Skid Station*). Quest'ultime avranno la duplice funzione di convertire l'energia elettrica da corrente continua a corrente alternata ed elevare la tensione da bassa a media. L'impianto fotovoltaico nel suo complesso sarà suddiviso in sottocampi. Tutte le linee MT che partono dalle *Skid Station*, mediante una distribuzione di tipo radiale, saranno convogliate alla Cabina generale MT o *Delivery Station*, e allacciate alla rete elettrica di trasmissione nazionale (RTN) tramite realizzazione di una nuova sottostazione di trasformazione di utenza MT/AT, che rappresenta il punto di consegna dell'energia elettrica prodotta dall'impianto.

Sarà posizionato un box prefabbricato, denominato "*Control Room*", destinato ad ospitare la sala monitoraggio, i relativi servizi ed un deposito materiali, e che servirà come locale di guardiana, destinato ad ospitare gli uffici ed un servizio igienico. L'impianto sarà completato da tutte le infrastrutture tecniche necessarie e dalle opere accessorie, quali: impianti di illuminazione, videosorveglianza, antintrusione, monitoraggio, cancelli e recinzioni.

#### **5. TRACKER MONOASSIALI**

Le strutture di sostegno dei moduli fotovoltaici sono ad inseguimento monoassiale con asse di rotazione lungo la direttrice Nord – Sud e permettono al piano dei pannelli di seguire la rotazione del sole E-O.



*Figura 2 - Tracker ad inseguimento solare monoassiale*

Le strutture ad inseguimento utilizzate sono quindi rappresentati da inseguitori solari monoassiali con sopra debitamente ancorati i moduli fotovoltaici le cui caratteristiche metriche e geometriche sono meglio rappresentate nelle allegate tavole grafiche. Tali strutture vengono infisse nel terreno mediante battitura dei montanti e senza utilizzo di calcestruzzo o altro materiale.



*Figura 3 - Motoriduttore a rotazione*

---

La tipologia di tracker che si prevede di impiegare è il modello SF7 della Soltec nelle configurazioni:

a) **2 x 29** = costituito da n°5 campate sulle quali sono adagiati n° 58 pannelli disposti su due file. La larghezza complessiva di tale struttura mobile è pari a 4,92 m, la lunghezza complessiva è pari a 39,09 m e l'altezza massima raggiungibile nella configurazione di massima inclinazione è pari a 4,18 m;

b) **1 x 29** = costituito da n°3 campate sulle quali sono adagiati n° 29 pannelli disposti su due file. La larghezza complessiva di tale struttura mobile è pari a 4,92 m, la lunghezza complessiva è pari a 20,29 m e l'altezza massima raggiungibile nella configurazione di massima inclinazione è pari a 4,18 m;

c) **1 x 15** = costituito da n°1 campate sulle quali sono adagiati n° 15 pannelli disposti su due file. La larghezza complessiva di tale struttura mobile è pari a 4,92 m, la lunghezza complessiva è pari a 11,02 m e l'altezza massima raggiungibile nella configurazione di massima inclinazione è pari a 4,18 m.

d) **1 x 14** = costituito da n°1 campate sulle quali sono adagiati n° 14 pannelli disposti su due file. La larghezza complessiva di tale struttura mobile è pari a 4,92 m, la lunghezza complessiva è pari a 9,7 m e l'altezza massima raggiungibile nella configurazione di massima inclinazione è pari a 4,18 m.

In tutte e quattro le configurazioni sopra descritte i moduli fotovoltaici sono collegati, per mezzo di profilati trasversali ad "Ω", ad un'asse centrale di sezione quadrata di tipo scatolare che ruota attorno alla direttrice nord-sud grazie ad un attuatore meccanico alimentato elettricamente. L'asse orizzontale è posto ad una altezza pari a 2,40 m fuori terra, con un angolo di rotazione di +/- 60°, sfruttando così al meglio l'assorbimento dell'energia solare.

Il corrente che governa il moto della struttura è sostenuto da profili metallici aventi sezione a "U" cui è collegato mediante delle cerniere con asse parallelo all'asse di rotazione. Nella cerniera centrale trova collocazione una ghiera metallica che, collegata ad un motore ad azionamento remoto, regola l'inclinazione del piano dei pannelli. I pali metallici di sostegno sono fissati al terreno ad una profondità variabile in funzione delle caratteristiche meccaniche e litostratigrafiche dei terreni di fondazione. Le modalità di ammorsamento di tali profilati variano della battitura alla trivellazione.

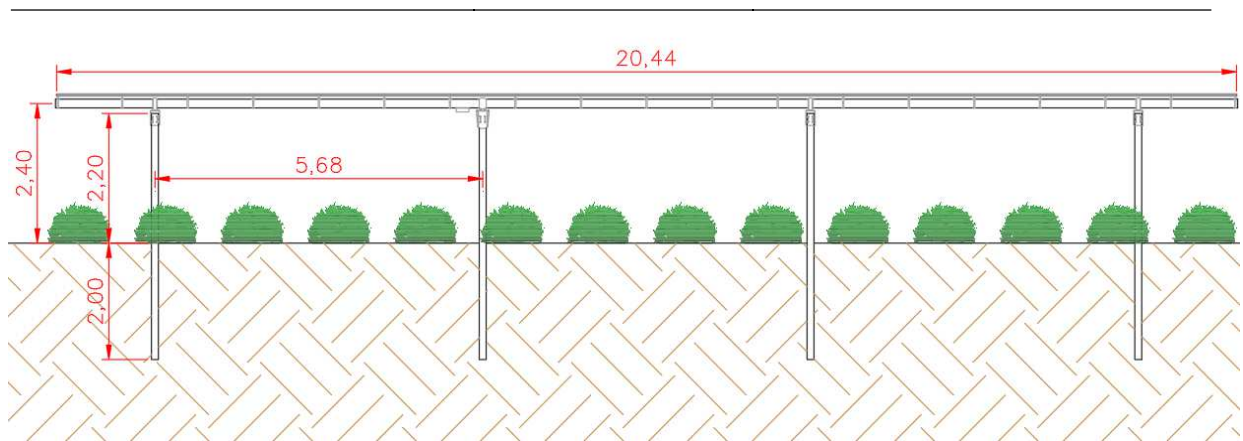


Figura 4 - Sezione longitudinale tracker

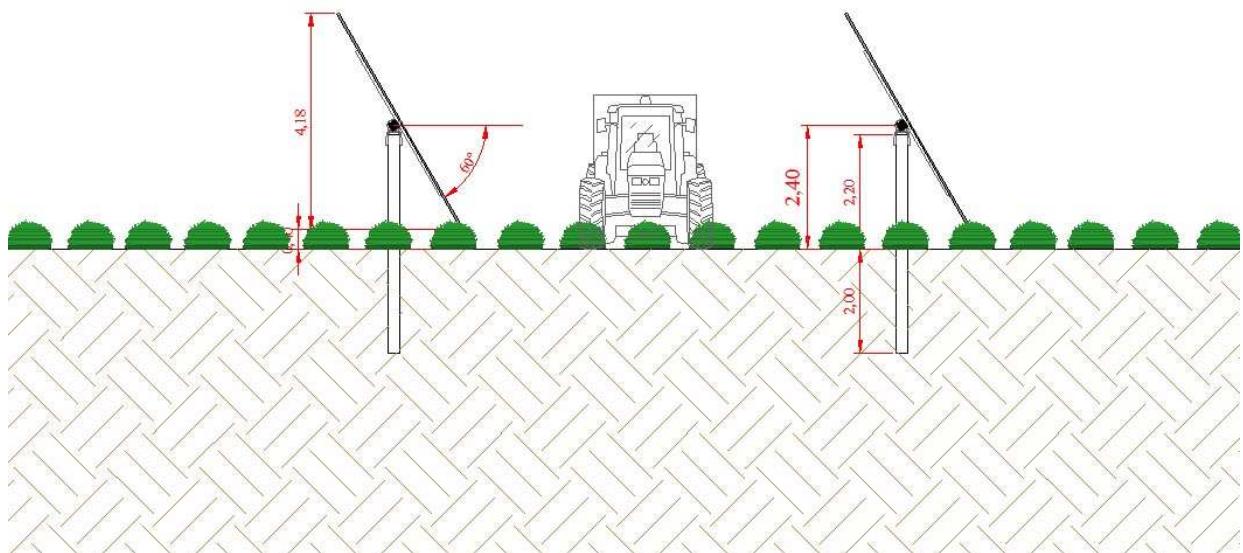


Figura 5 - Sezione trasversale con tracker a 60°

## 6. AZIONI AGENTI

In generale, le azioni agenti sulle strutture sono:

- Peso proprio degli elementi strutturali;
- Carichi permanenti non strutturali e apparecchiature;
- Carichi variabili legati alla destinazione d'uso;
- Azione sismica;
- Azione della neve;



- 
- Azione del vento.

Ai fini del calcolo preliminare delle sollecitazioni che agiscono sulle strutture di sostegno dei tracker, in questa fase si terrà in considerazione solamente l'azione del vento trascurando le altre azioni come quella sismica il carico neve il peso proprio etc.

L'azione del vento è stata determinata in conformità al par. 3.3 del D.M. 17/01/18 e della Circolare del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti del 21 gennaio 2019 n. 7, secondo l'espressione:

$$p = q_r \cdot c_d \cdot c_e \cdot c_p \cdot c_t$$

essendo:

$p$  = pressione del vento;

$q_r$  = pressione cinetica di riferimento valutata secondo il punto 3.3.6 del D.M.2018;

$c_d$  = coefficiente dinamico valutato secondo il punto 3.3.9. del DM 2018;

$c_e$  = coefficiente di esposizione valutato secondo il punto 3.3.7 del D.M. 2018;

$c_p$  = è il coefficiente di forma (o aerodinamico);

$c_t$  = è il coefficiente topografico;

## 7. METODOLOGIA DI CALCOLO SEMPLIFICATA

Il calcolo delle sollecitazioni che agiscono sulle strutture dei trackers viene effettuato, in questa fase di progetto definitivo, per mezzo di modalità semplificate che tengono conto della conformazione della struttura in elevazione e di come questa è collegata ai pali di fondazione.

Si precisa che le strutture in elevazione saranno del tipo prefabbricato e prodotte in stabilimento da un costruttore che ne fornirà i calcoli e/o i certificati di prodotto nella fase esecutiva. In questa fase pertanto l'attenzione è focalizzata sulla determinazione delle sollecitazioni in fondazione provenienti dalla sovrastruttura al fine di dimensionare i profili metallici dei pali di sezione a "C". A tal fine sono stati sottoposti a verifica n° 2 configurazioni di carico:

- configurazione 1 con inclinazione dei traversi a 0° e vento a 28m/s, che rappresenta la velocità di riferimento del vento di progetto desunto della normativa che investe

la struttura in posizione di protezione;

- configurazione 2 con inclinazione dei traversi a  $55^\circ$  e vento a  $28\text{m/s}$ , che rappresenta la combinazione di progetto della struttura in posizione di lavoro.

Le azioni elementari sono state definite per il sostegno centrale del tracker "2x29", con una zona di influenza della larghezza complessiva di  $6,94\text{ m}$  pari alla larghezza media delle campate e larghezza pari a  $4,92\text{ m}$  per una superficie totale della zona di influenza pari a  $34\text{ m}^2$  circa.

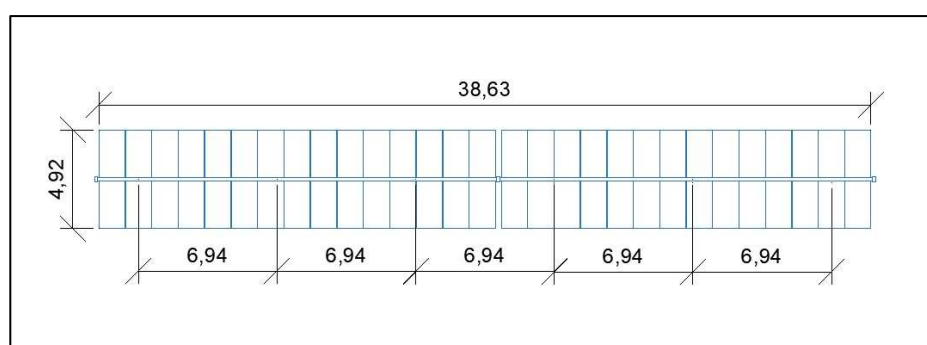


Figura 6 - Zona influenza tracker configurazione 2x29

Nel presente progetto, l'azione del vento è stata valutata tenendo conto dei seguenti parametri:

- Coordinate sito:  $37.658356^\circ$ ;  $13.918144^\circ$ 
  - Zona: 4 (Sicilia e provincia di Reggio Calabria);
  - Quota slm:  $430\text{ m}$ ;
  - Distanza dalla costa:  $42\text{ km}$
  - Tempo di ritorno:  $50\text{ anni}$

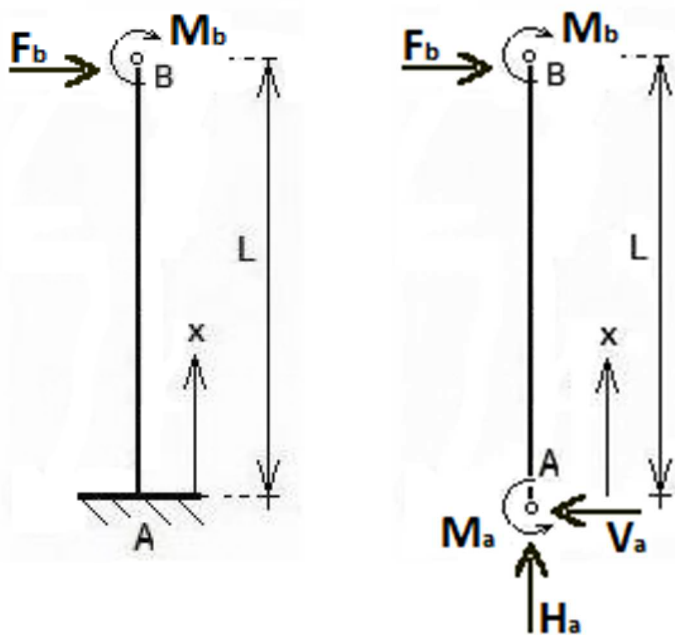
Con l'ausilio di un foglio di calcolo, è stato possibile estrapolare i dati nelle combinazioni di carico più sfavorevoli per la "copertura" nelle due diverse configurazioni:

Configurazione 1	Configurazione 2
$\alpha=0^\circ$	$\alpha=55^\circ$
$V_r = 28,02\text{ m/s}$	$V_r = 28,02\text{ m/s}$
$q_r = 490,72\text{ N/m}^2$	$q_r = 490,72\text{ N/m}^2$
$C_d = 1$	$C_d = 1$
$C_t = 1$	$C_t = 1$

$C_e = 1,71$	$C_e = 1,71$
$C_{p2} = -0,80$ (cop. soprav.)	$C_{p2} = 0,25$ (cop. soprav.)
$C_{p3} = -0,80$ (cop. sottov.)	$C_{p3} = -0,80$ (cop. sottov.)
$P_{cp2} = -0,67 \text{ kN/m}^2$ (cop. soprav.)	$P_{cp2} = 0,21 \text{ kN/m}^2$ (cop. soprav.)
$P_{cp3} = -0,67 \text{ kN/m}^2$ (cop. sottov.)	$P_{cp3} = -0,67 \text{ kN/m}^2$ (cop. sottov.)
$F_2 (P_{cp2}) = -22,11 \text{ kN}$	$F_2 (P_{cp2}) = 6,93 \text{ kN}$
$F_3 (P_{cp3}) = -22,11 \text{ kN}$	$F_3 (P_{cp3}) = -22,11 \text{ kN}$
$M_2 (P_{cp2}) = F_2 \cdot 0 = 0$	$M_2 (P_{cp2}) = F_2 \cdot L_{mod/2} = 6,93 \text{ kN} \cdot 1,21 \text{ m} = 8,38 \text{ kNm}$
$M_3 (P_{cp3}) = F_3 \cdot 0 = 0$	$M_3 (P_{cp3}) = F_3 \cdot L_{mod/2} = -22,11 \text{ kN} \cdot 1,21 \text{ m} = -26,75 \text{ kNm}$

Lo schema di calcolo considerato ai fini delle verifiche del piedritto è quello di una trave incastrata alla base con una coppia applicata all'estremità ( $M_b$ ), pari al momento flettente generato dal vento impattante sul modulo fotovoltaico installato sul tracker per  $\alpha \neq 0$  (per  $\alpha=0$  il modulo fotovoltaico non genera alcuna coppia applicata in quanto il braccio è nullo  $\rightarrow M_b = 0$ ), e con un carico concentrato ( $F_b$ ) pari all'azione del vento calcolata come indicato nella tabella precedente opportunamente scomposta secondo l'angolo di incidenza della direzione del vento.

Schema di calcolo "configurazione 1, ( $\alpha=0^\circ$ )":



### Reazioni Vincolari

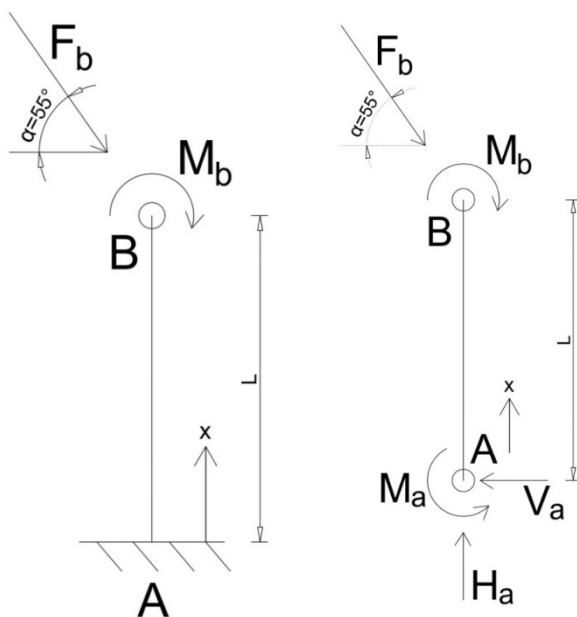
$$H_a = 0$$

$$V_a = F_b$$

$$M_a = M_b + F_b \cdot L$$

$$(M_b = 0 \text{ per } \alpha = 0)$$

Schema di calcolo “configurazione 2, ( $\alpha=55^\circ$ )”:



### Reazioni Vincolari

$$H_a = F_b \cdot \sin \alpha$$

$$V_a = F_b \cdot \cos \alpha$$

$$M_a = M_b + (F_b \cdot \cos \alpha) \cdot L$$

Sostituendo a  $F_b$  ed a  $M_b$  i valori delle sollecitazioni **dovute all’azione del vento** calcolate in precedenza, si calcolano le sollecitazioni alla base del piedritto **per le due configurazioni**:

Configurazione 1	Configurazione 2
$\alpha=0^\circ$	$\alpha=55^\circ$
$M_b = 0 \div F_b = F_2 (P_{cp2})$	$M_b = M_2 (P_{cp2}) \div F_b = F_2 (P_{cp2})$
$H_a = 0$	$H_a = F_b \cdot \sin \alpha = 5,67 \text{ kN}$
$V_a = F_b = F_2 (P_{cp2}) = -22,11 \text{ kN}$	$V_a = F_b \cdot \cos \alpha = F_2 (P_{cp2}) \cdot \cos \alpha = 3,97 \text{ kN}$
$M_a = M_b + F_b \cdot L = 22,11 \cdot 2,28 = 4,81 \text{ kN m}$	$M_a = M_b + L \cdot (F_b \cdot \cos \alpha) = M_b + L \cdot V_a = 14,73 \text{ kN m}$
$M_b = 0 \div F_b = F_3 (P_{cp3})$	$M_b = M_3 (P_{cp3}) \div F_b = F_3 (P_{cp3})$
$H_a = 0$	$H_a = F_b \cdot \sin \alpha = 18,11 \text{ kN}$
$V_a = F_b = F_3 (P_{cp3}) = -22,11 \text{ kN}$	$V_a = F_b \cdot \cos \alpha = F_3 (P_{cp3}) \cdot \cos \alpha = 12,68 \text{ kN}$
$M_a = M_b + F_b \cdot L = 22,11 \cdot 2,28 = 4,81 \text{ kN m}$	$M_a = M_b + L \cdot (F_b \cdot \cos \alpha) = M_b + L \cdot V_a = 56,93 \text{ kN m}$

## 8. VERIFICHE STRUTTURALI DEI PIEDRITTI

Come già anticipato in precedenza, le strutture di elevazione dei tracker saranno del tipo prefabbricato e prodotte in stabilimento dal costruttore che provvederà a fornire i calcoli e/o i certificati di prodotto. In questa fase si procederà al dimensionamento di massima

---

dei piedritti secondo lo schema di calcolo e le sollecitazioni desunte al paragrafo precedente. La tipologia di profili impiegati per i piedritti di fondazione è del tipo a "U" e nella fattispecie si prevede di utilizzare il profilo **UPN 240** in acciaio S355. Si riporta di seguito la **verifica a flessione** eseguita.

**Verifica a Flessione** →  $M_{Sd} \leq M_{Rd}$

essendo:

$$M_{Sd} = 1,35 \cdot M_a \text{ (Momento di calcolo sollecitante)}$$

$$M_{Rd} = W \cdot f_{yd} \text{ (Momento resistente)}$$

$$W_e = I / y_{\max} \text{ (modulo di resistenza elastico del profilo, allo S.L.E.)}$$

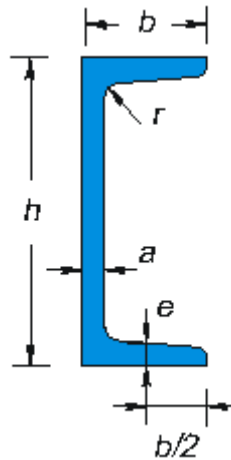
$$W_p = 2 \cdot S \cdot f_{yd} \text{ (modulo di resistenza plastico del profilo, allo S.L.U.)}$$

$$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_m \text{ (tensione di snervamento di calcolo del profilo)}$$

$$\gamma_m = 1,1 \text{ (coefficiente sicurezza materiale)}$$

---

## Profilo UPN 240



Caratteristiche del profilo:

- Acciaio = S355
- $h = 240 \text{ mm}$
- $b = 85 \text{ mm}$
- $a = 9,5 \text{ mm}$
- $e = 13,0 \text{ mm}$
- $r = 13,0 \text{ mm}$
- $W_e = 300 \text{ cm}^3$
- $f_{yk} = 355 \text{ N/mm}^2 = 3550 \text{ daN/cm}^2$
- $f_{yd} = f_{yk}/\gamma_m = 355 / 1,1 = 322,73 \text{ N/mm}^2 = 3227,27 \text{ daN/cm}^2$

Sostituendo i valori si ha:

$$M_{Rde} = W_e \cdot f_{yd} = 300 \cdot 3.227,27 = 968181 \text{ daN cm} = 96,81 \text{ kN m}$$

$$M_{Sd} = 1,35 \cdot M_a = 1,35 \cdot 56,93 \text{ kN m} = 76,12 \text{ kN m}$$

con “ $M_a$ ” momento flettente massimo nella condizione più gravosa ossia nella “configurazione 2” e copertura sottovento ( $P_{c_{p3}}$ ).

Essendo:

$$M_{Sd} = 76,12 \leq M_{Rd} = 96,81 \rightarrow \underline{\underline{VERIFICA SODDISFATTA}}$$