



**REGIONE SICILIA**  
**PROVINCIA DI PALERMO**  
**COMUNE DI PIANA DEGLI ALBANESI**

Oggetto:

**PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO AGRO-FOTOVOLTAICO DELLA  
POTENZA DI 46,19715 MWp DA UBICARSI NEL TERRITORIO DEL  
COMUNE DI PIANA DEGLI ALBANESI  
LOCALITÀ JENCHERIA**

Elaborato :

RS06REL0004A0\_RELAZIONE CALCOLI PRELIMINARI STRUTTURE

TAVOLA:

REL0004

PROPONENTE :

Piana degli albanesi Srl  
Sede  
Via dell' Annunciata 23/4, Milano (MI)



PROGETTAZIONE :



GAMIAN CONSULTING SRL

Sede  
Via Gioacchino da Fiore 74  
87021 Belvedere Marittimo (CS)

MR WIND SRL

Sede  
Via E Maiorana 4  
84092 Bellizzi (SA)

Tecnico  
Ing. Gaetano Voccia



SCALA:

DATA:

Luglio 2021

REDAZIONE :

CONTROLLO :

APPROVAZIONE :

Codice Progetto: FM.19.001

Rev.: 00 - Presentazione Istanza VIA e AU

Gamian Consulting Srl si riserva la proprietà di questo documento e ne vieta la riproduzione e la divulgazione a terzi se non espressamente autorizzato

SPAZIO RISERVATO ALL'ENTE PUBBLICO

|              |  |           |
|--------------|--|-----------|
| <b>1</b>     | <b>PREMESSA .....</b>  | <b>2</b>  |
| <b>2</b>     | <b>PRESENTAZIONE DEL PROGETTO .....</b>  | <b>3</b>  |
| <b>2.1</b>   | <b>DESCRIZIONE DEL PROGETTO .....</b>  | <b>3</b>  |
| <b>2.2</b>   | <b>CARATTERISTICHE GENERALI DEL PROGETTO .....</b>                                 | <b>7</b>  |
| <b>3</b>     | <b>STRUTTURE.....</b>  | <b>8</b>  |
| <b>3.1</b>   | <b>CARATTERISTICHE DEI MODULI FOTOVOLTAICI.....</b>                                | <b>9</b>  |
| <b>3.2</b>   | <b>NORMATIVE DI RIFERIMENTO .....</b>  | <b>12</b> |
| <b>3.3</b>   | <b>MATERIALI .....</b>   | <b>13</b> |
| <b>3.4</b>   | <b>AZIONI SULLE COSTRUZIONI .....</b>  | <b>13</b> |
| <b>3.4.1</b> | <b><i>Pesi propri strutturali e carichi permanenti .....</i></b>                   | <b>13</b> |
| <b>3.4.2</b> | <b><i>Azioni del vento.....</i></b>  | <b>14</b> |
| <b>3.4.3</b> | <b><i>Carico neve .....</i></b>  | <b>16</b> |
| <b>3.4.4</b> | <b><i>Azione sismica .....</i></b>   | <b>16</b> |
| <b>3.5</b>   | <b>MODELLO STRUTTURALE UTILIZZATO .....</b>  | <b>17</b> |
| <b>3.5.1</b> | <b><i>Approccio di verifica e combinazioni di carico.....</i></b>                  | <b>17</b> |
| <b>3.6</b>   | <b>VERIFICHE STRUTTURALI PRELIMINARI.....</b>                                      | <b>18</b> |
| <b>3.6.1</b> | <b><i>Verifiche di resistenza e stabilità delle strutture fuori terra.....</i></b> | <b>18</b> |
| <b>3.6.2</b> | <b><i>Verifiche di deformabilità delle strutture fuori terra.....</i></b>          | <b>18</b> |
| <b>3.6.3</b> | <b><i>Verifica di capacità portante della fondazione dei pali.....</i></b>         | <b>18</b> |
| <b>4</b>     | <b>CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE.....</b>  | <b>20</b> |

## 1 PREMESSA

La scelta della tipologia di fondazione da impiegare nell'ambito della realizzazione di un impianto agro-fotovoltaico è dettata da diversi fattori:

- dimensione ed importanza dell'impianto;
- caratteristiche geotecniche del sito;
- posizionamento ed accessibilità dello stesso;
- tempistiche di realizzazione dell'impianto.

In via del tutto generale, un impianto agro-fotovoltaico necessiterà di una fondazione di dimensioni ridotte, facilmente realizzabile, in grado di poter essere facilmente rimossa o addirittura riutilizzata una volta terminato il ciclo di vita utile del sito. Gli impianti fotovoltaici, data la loro estesa superficie e la struttura leggera, sono fortemente soggetti all'azione del vento. Le fondazioni dovranno perciò sopportare carichi verticali relativamente bassi a fronte di ingenti momenti ribaltanti, tali da poter generare addirittura sforzi di trazione in fondazione.

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

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

## 2 PRESENTAZIONE DEL PROGETTO

### 2.1 Descrizione del progetto

La Piana degli Albanesi s.r.l. intende realizzare nel comune di Piana degli Albanesi (PA), in località Jencheria un impianto agro-fotovoltaico ad inseguimento monoassiale per la produzione di energia elettrica.

L'impianto che la Piana degli Albanesi s.r.l. presenta in autorizzazione è composto da:

- Campi agro-fotovoltaici, siti nel comune di Piana degli Albanesi (PA) in località Jencheria.
- Stazione di trasformazione e consegna Rete-Utente, nel comune di Monreale (PA).
- Cavidotti di collegamento MT, nei territori dei comuni di Monreale (PA), Piana degli Albanesi (PA), e relative aree di consegna nei campi agro-fotovoltaici siti nel Comune di Piana degli Albanesi (PA) in località Jencheria.

L'impianto si sviluppa su una superficie lorda complessiva di circa 97,8 Ha (978.023,97 m<sup>2</sup>) ricedenti nel territorio del comune di Piana degli Albanesi (PA), nelle particelle catastali n. 309, 484, 486 del foglio di mappa catastale n.20; nelle particelle catastali n. 77, 78, 93, 94, 102, 103, 129, 179, 181, 183, 184, 185, 186, 205 del foglio di mappa n. 23. L'impianto avrà una potenza di 46.197,8 kWp e l'energia prodotta sarà ceduta alla rete elettrica di alta tensione, tramite la costruenda stazione di trasformazione a 220 kV, idonea a accettare la potenza. L'area di interesse ricade nella Zona Territoriale Omogenea "ZONA E", ossia Zona Agricola e non vi è alcun tipo di vincolo in corrispondenza delle strutture, locali e attrezzature che compongono l'impianto. L'area ricade all'interno del bacino idrografico BAC-057 Fiume Belice secondo il piano del bacino dell'assetto idrogeologico (PAI). La realizzazione della stazione di trasformazione (SE di Utenza – Impianto di Utenza) è prevista nel comune di Monreale (PA), individuata al foglio di mappa n. 128, sulle particelle n. 342. Le coordinate geografiche (baricentro approssimativo) del sito di impianto e della stazione sono:

| Coordinate impianto      | Coordinate stazione      |
|--------------------------|--------------------------|
| Lat: 37.938443885722094  | Lat: 37.90274448822173   |
| Long: 13.329956531524658 | Long: 13.299100399017336 |



Figura 1 – Ubicazione area impianti e stazione di consegna (Google Earth)

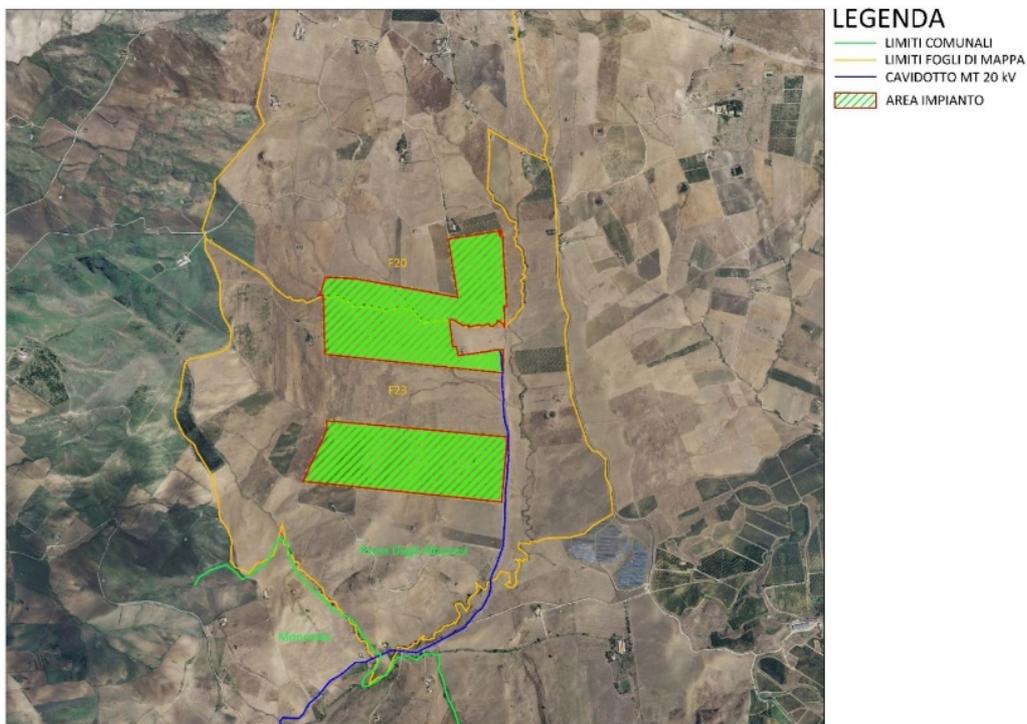


Figura 2 - Ortofoto dell'area dell'impianto ricadente sul territorio di Piana degli Albanesi (PA) – località Jencheria

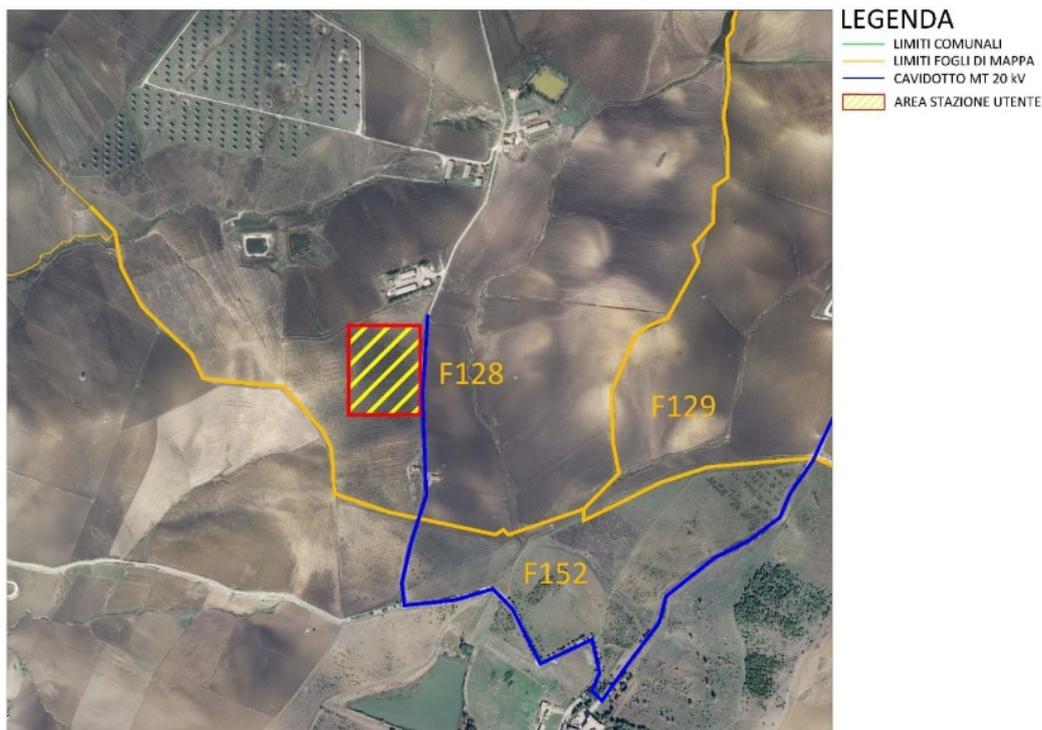


Figura 3 - Ortofoto dell'area della stazione ricadente sul territorio di Monreale (PA)

Il progetto "FV\_PIANA DEGLI ALBANESI" in fase di sviluppo/autorizzazione, ricade all'interno del comune di Piana degli Albanesi in località Jencheria, appartenente alla provincia di Palermo. La stazione di rete-utente invece, ricadrà nel comune di Monreale, appartenente alla provincia di Palermo. L'impianto in fase di sviluppo/autorizzazione si allaccerà alla nuova stazione in progetto situato nel comune di Monreale (PA). La Società Piana degli Albanesi s.r.l. ha ottenuto, in data 09/03/2020, dal gestore di rete Terna la soluzione tecnica minima generale (STMG) per connettere 41.999,88 MW alla SE di trasformazione 220 kV in antenna alla sezione 220 kV Partinico-Ciminna.

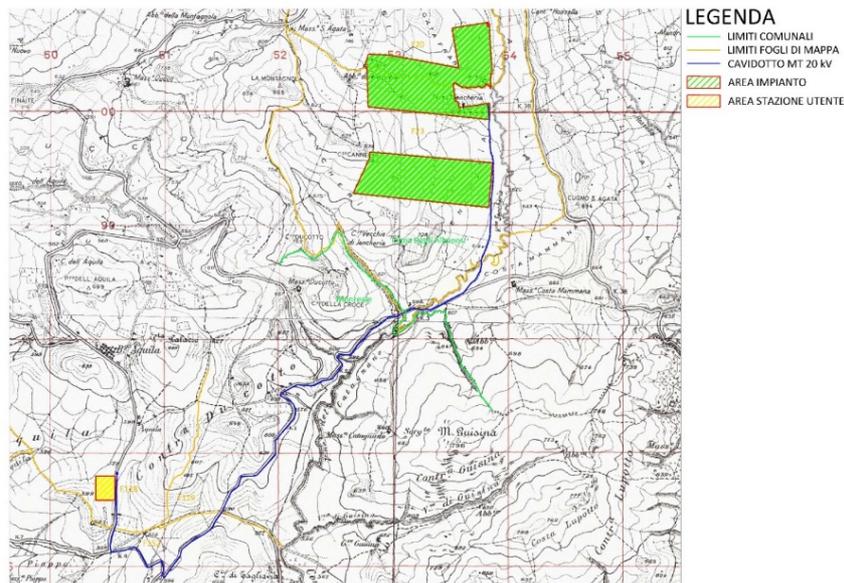


Figura 4 – Inquadramento territoriale dell'impianto che si allaccerà al punto di connessione indicato da Terna su I.G.M.

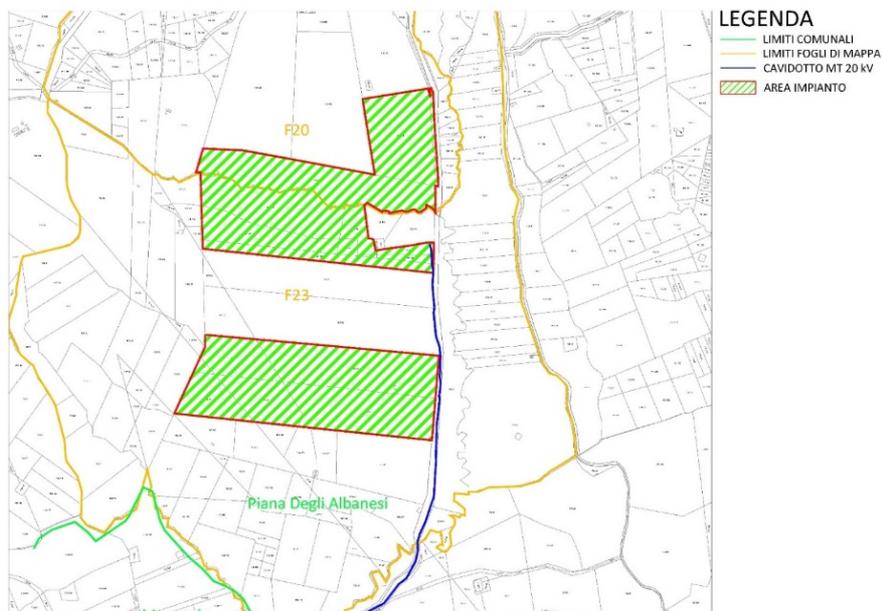


Figura 5 – Inquadramento territoriale dell'impianto su Catastale.

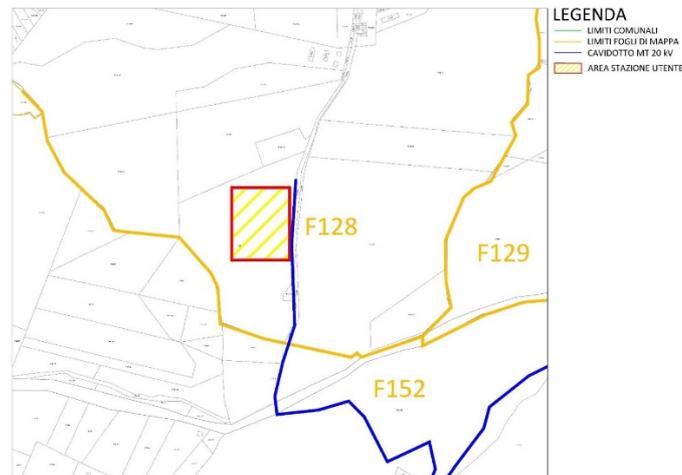


Figura 6 – Inquadramento territoriale della Stazione utente su Catastale.

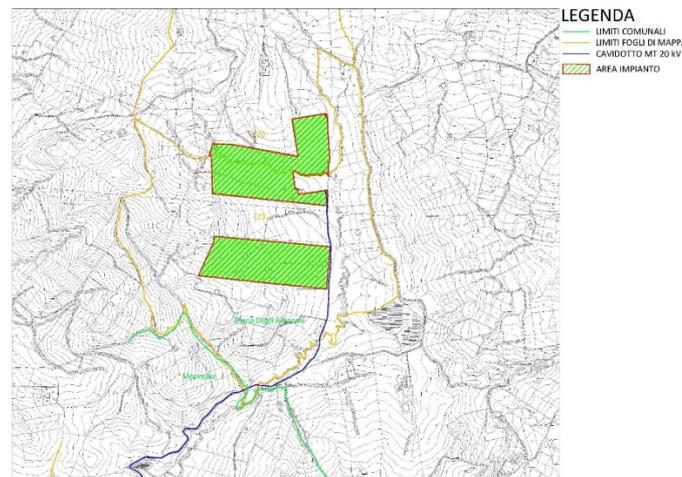


Figura 7 – Inquadramento territoriale dell'area dell'impianto ricadente sul territorio di Piana degli Albanesi (PA) – località Jencheria, su C.T.R.

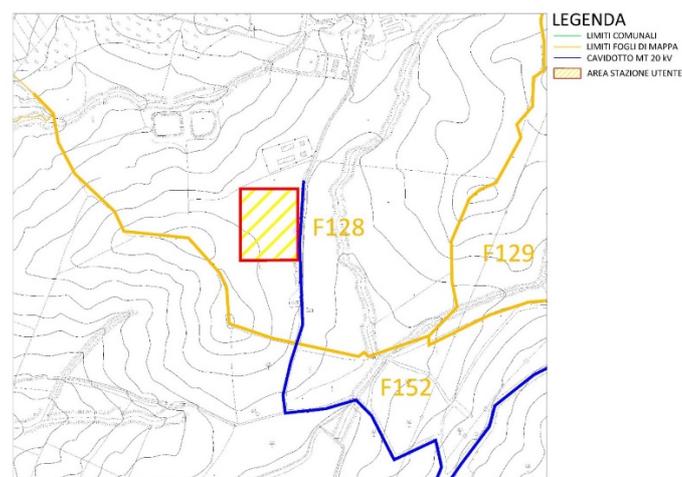
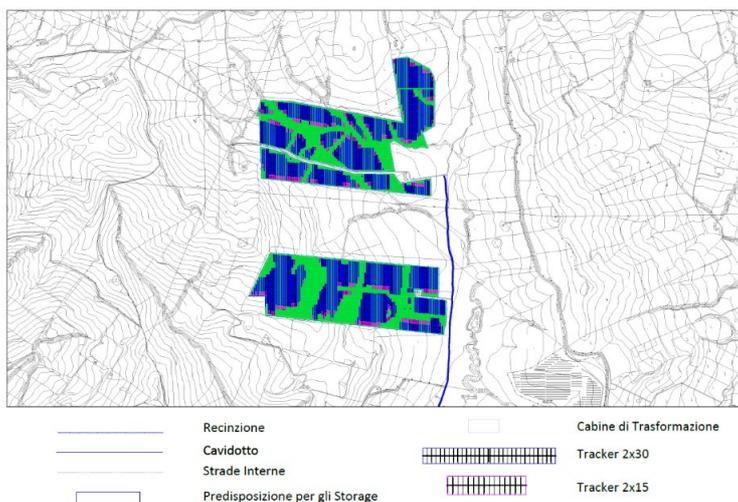


Figura 8 – Inquadramento territoriale dell'area della stazione ricadente sul territorio di Monreale (PA) su C.T.R.



**Figura 9 – Layout dell'area d'impianto su C.T.R. ricadente sul territorio di Piana degli Albanesi (PA) – località Jencheria**

L'accesso all'area in cui sarà realizzato l'impianto situato a Piana degli Albanesi (PA), in località Jencheria sono raggiungibili attraverso la strada provinciale SP 104; mentre il sito della stazione posto a Monreale (PA) è raggiungibile attraverso la strada provinciale SP 103 e la provinciale SP42 che garantiscono il collegamento oltre che con la stazione, anche con l'impianto fotovoltaico poiché si collegano alla strada provinciale SP 103.

## 2.2 Caratteristiche generali del progetto

L'impianto che la Piana degli Albanesi s.r.l. presenta in autorizzazione è composto da:

- Campi agro-fotovoltaici, siti nel comune di Piana degli Albanesi (PA) località Jencheria.
- Stazione di trasformazione e consegna Rete-Utente, nel comune di Monreale (PA).
- Cavidotti di collegamento MT, nei territori dei comuni di Monreale (PA) e Piana degli Albanesi (PA).

Al fine di avere la massima efficacia ed efficienza dall'impianto, si prevede una struttura elettrica ad albero con un quadro generale in Media Tensione all'interno del locale di controllo previsto nel lotto del terreno precedentemente identificato. In considerazione di ciò, avremo linee di produzione indipendenti da collegare a valle dei locali di trasformazione e a monte dei locali di misura e consegna. L'impianto agro-fotovoltaico convoglierà l'energia prodotta alla nuova stazione a 220 kV; a tal fine, occorrerà trasformare l'energia dal valore di tensione di 30 kV (in uscita dal campo fotovoltaico) al valore di tensione di 220 kV previsto alle sbarre della stazione della RTN; pertanto, per la consegna dell'energia elettrica prodotta dall'impianto agro-fotovoltaico sarà realizzata una stazione di trasformazione RTN 220/30 kV. È prevista la soluzione con installazione a terra "non integrata" con pannelli fotovoltaici, del tipo CANADIAN BiHiKu 7 BIFACIAL MONO PERC 635 W 655 W CS7N-635/640/645/650/655MB-AG monocristallino con una potenza di picco di 655 Wp, disposti su strutture ad inseguimento monoassiale. Tali supporti, saranno in acciaio zincato e saranno opportunamente distanziati sia per evitare l'ombreggiamento reciproco, sia per avere lo spazio necessario al passaggio dei mezzi nella fase di installazione. Tale soluzione permette di ottimizzare l'occupazione del territorio massimizzando al contempo la produzione di energia elettrica da fonte rinnovabile.

### 3 STRUTTURE

Per la realizzazione dell'impianto si sono scelte strutture in acciaio al carbonio galvanizzato, resistente alla corrosione, costituite da un palo verticale e collegati a profilati in orizzontale che costituiscono la superficie di alloggiamento dei pannelli fotovoltaici. La lunghezza dei pali è commisurata alle condizioni di carico specifiche dell'impianto (carichi di neve e vento) e alle caratteristiche di portanza del terreno interessato. L'altezza media dell'asse di rotazione delle strutture è di 2,6 metri dal suolo, opportune prove di estrazione e carico preventive potranno poi essere realizzate in sito ai fini della progettazione esecutiva dell'impianto e dell'ottimizzazione delle strutture di fondazione.

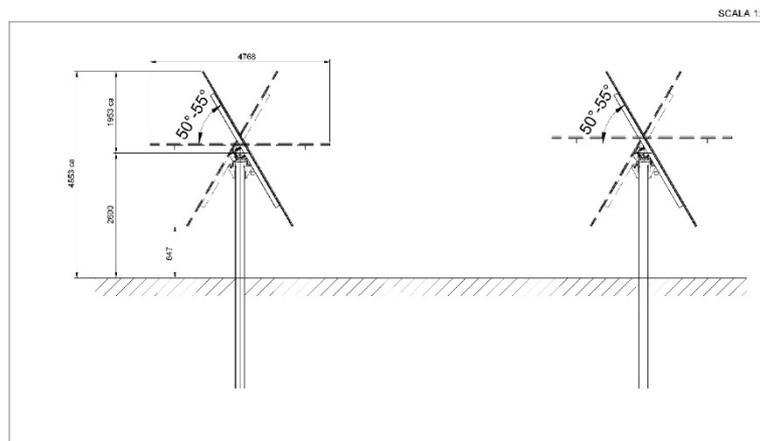


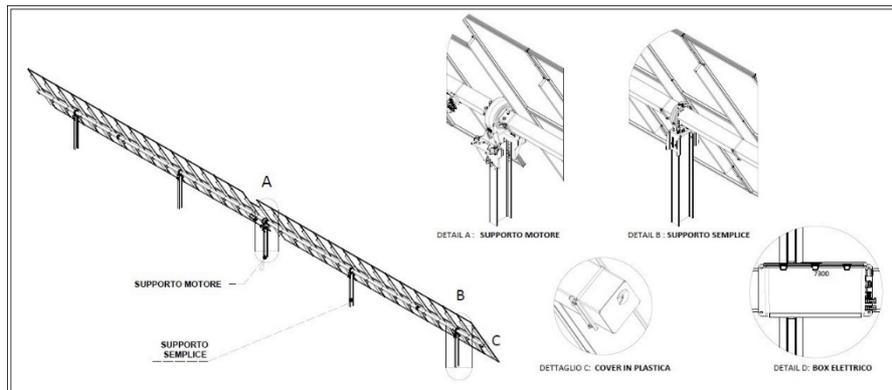
Figura 10 - Profilo longitudinale struttura

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



Figura 11 - Esempio struttura portamoduli da installare

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



**Figura 12 - Particolari costruttivi degli inseguitori installati**

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

### 3.1 Caratteristiche dei moduli fotovoltaici

Nelle verifiche riportate di seguito si sono comunque considerati pannelli aventi dimensioni  $B*H= 1.303*2.384$  (mm) con un peso proprio di circa 39,4 (kg). I pannelli hanno carcassa in alluminio e il collegamento al supporto avviene mediante staffe in alluminio o acciaio AISI 304, tasselli plastici scorrevoli di tipo rinforzato e bulloneria in acciaio inox equivalente per caratteristiche alle Classi 8.8.



Preliminary Technical  
Information Sheet





FRONT      BACK

## BiHiKu7

**BIFACIAL MONO PERC**  
**635 W ~ 655 W**  
**CS7N-635 | 640 | 645 | 650 | 655MB-AG**

### MORE POWER

-  Module power up to 655 W  
Module efficiency up to 21.1 %
-  Up to 8.9 % lower LCOE  
Up to 4.6 % lower system cost
-  Comprehensive LID / LeTID mitigation  
technology, up to 50% lower degradation
-  Compatible with mainstream trackers,  
cost effective product for utility power plant
-  Better shading tolerance

### MORE RELIABLE

-  40 °C lower hot spot temperature,  
greatly reduce module failure rate
-  Minimizes micro-crack impacts
-  Heavy snow load up to 5400 Pa,  
wind load up to 2400 Pa\*

-  **Enhanced Product Warranty on Materials  
and Workmanship\***
-  **Linear Power Performance Warranty\***

**1<sup>st</sup> year power degradation no more than 2%**  
**Subsequent annual power degradation no more than 0.45%**

\*According to the applicable Canadian Solar Limited Warranty Statement.

#### MANAGEMENT SYSTEM CERTIFICATES\*

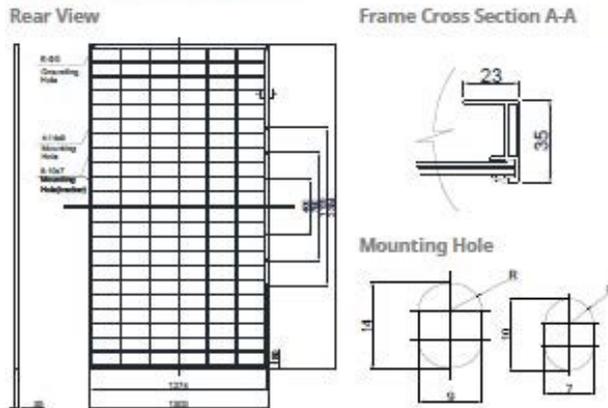
ISO 9001:2015 / Quality management system  
ISO 14001:2015 / Standards for environmental management system  
OHSAS 18001:2007 / International standards for occupational health & safety

#### PRODUCT CERTIFICATES\*

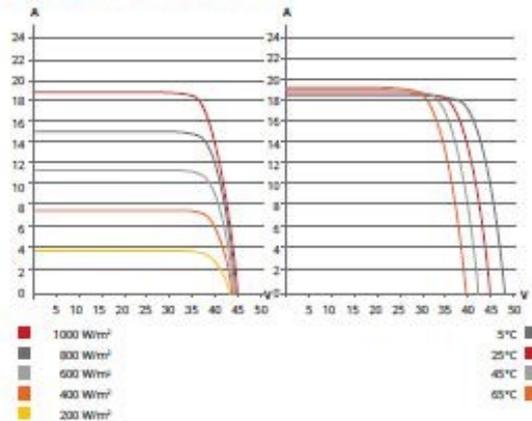
\* As there are different certification requirements in different markets, please contact  
your local Canadian Solar sales representative for the specific certificates applicable to  
the products in the region in which the products are to be used.

**CANADIAN SOLAR INC.** is committed to providing high quality solar products, solar system solutions and services to customers around the world. Canadian Solar was recognized as the No. 1 module supplier for quality and performance/price ratio in the IHS Module Customer Insight Survey, and is a leading PV project developer and manufacturer of solar modules, with over 46 GW deployed around the world since 2001.

**ENGINEERING DRAWING (mm)**



**CS7N-650MB-AG / I-V CURVES**



**ELECTRICAL DATA | STC\***

|                 | Nominal Max. Power (Pmax) | Opt. Operating Voltage (Vmp) | Opt. Operating Current (Imp) | Open Circuit Voltage (Voc) | Short Circuit Current (Isc) | Module Efficiency |
|-----------------|---------------------------|------------------------------|------------------------------|----------------------------|-----------------------------|-------------------|
| CS7N-635MB-AG   | 635 W                     | 37.3 V                       | 17.03 A                      | 44.4 V                     | 18.27 A                     | 20.4%             |
| Bifacial Gain** | 5%                        | 667 W                        | 37.3 V                       | 17.89 A                    | 19.18 A                     | 21.5%             |
|                 | 10%                       | 699 W                        | 37.3 V                       | 18.74 A                    | 20.10 A                     | 22.5%             |
|                 | 20%                       | 762 W                        | 37.3 V                       | 20.44 A                    | 21.92 A                     | 24.5%             |
| CS7N-640MB-AG   | 640 W                     | 37.5 V                       | 17.07 A                      | 44.6 V                     | 18.31 A                     | 20.6%             |
| Bifacial Gain** | 5%                        | 672 W                        | 37.5 V                       | 17.92 A                    | 19.23 A                     | 21.6%             |
|                 | 10%                       | 704 W                        | 37.5 V                       | 18.78 A                    | 20.14 A                     | 22.7%             |
|                 | 20%                       | 768 W                        | 37.5 V                       | 20.48 A                    | 21.97 A                     | 24.7%             |
| CS7N-645MB-AG   | 645 W                     | 37.7 V                       | 17.11 A                      | 44.8 V                     | 18.35 A                     | 20.8%             |
| Bifacial Gain** | 5%                        | 677 W                        | 37.7 V                       | 17.97 A                    | 19.27 A                     | 21.8%             |
|                 | 10%                       | 710 W                        | 37.7 V                       | 18.84 A                    | 20.19 A                     | 22.9%             |
|                 | 20%                       | 774 W                        | 37.7 V                       | 20.53 A                    | 22.02 A                     | 24.9%             |
| CS7N-650MB-AG   | 650 W                     | 37.9 V                       | 17.16 A                      | 45.0 V                     | 18.39 A                     | 20.9%             |
| Bifacial Gain** | 5%                        | 683 W                        | 37.9 V                       | 18.03 A                    | 19.31 A                     | 22.0%             |
|                 | 10%                       | 715 W                        | 37.9 V                       | 18.88 A                    | 20.23 A                     | 23.0%             |
|                 | 20%                       | 780 W                        | 37.9 V                       | 20.59 A                    | 22.07 A                     | 25.1%             |
| CS7N-655MB-AG   | 655 W                     | 38.1 V                       | 17.20 A                      | 45.2 V                     | 18.43 A                     | 21.1%             |
| Bifacial Gain** | 5%                        | 688 W                        | 38.1 V                       | 18.06 A                    | 19.35 A                     | 22.1%             |
|                 | 10%                       | 721 W                        | 38.1 V                       | 18.93 A                    | 20.27 A                     | 23.2%             |
|                 | 20%                       | 786 W                        | 38.1 V                       | 20.64 A                    | 22.12 A                     | 25.3%             |

\* Under Standard Test Conditions (STC) of irradiance of 1000 W/m², spectrum AM 1.5 and cell temperature of 25°C.  
\*\* Bifacial Gain: The additional gain from the back side compared to the power of the front side at the standard test condition. It depends on mounting (structure, height, tilt angle etc.) and albedo of the ground.

**ELECTRICAL DATA**

|                            |                              |
|----------------------------|------------------------------|
| Operating Temperature      | -40°C ~ +85°C                |
| Max. System Voltage        | 1500 V (IEC) or 1000 V (IEC) |
| Module Fire Performance    | CLASS C (IEC61730)           |
| Max. Series Fuse Rating    | 35 A                         |
| Application Classification | Class A                      |
| Power Tolerance            | 0 ~ + 10 W                   |
| Power Bifaciality*         | 70 %                         |

\* Power Bifaciality =  $P_{max_{back}} / P_{max_{front}}$ , both  $P_{max_{back}}$  and  $P_{max_{front}}$  are tested under STC, Bifaciality Tolerance: ± 5 %

\* The specifications and key features contained in this datasheet may deviate slightly from our actual products due to the on-going innovation and product enhancement. Canadian Solar Inc. reserves the right to make necessary adjustment to the information described herein at any time without further notice.  
Please be kindly advised that PV modules should be handled and installed by qualified people who have professional skills and please carefully read the safety and installation instructions before using our PV modules.

**ELECTRICAL DATA | NMOT\***

|               | Nominal Max. Power (Pmax) | Opt. Operating Voltage (Vmp) | Opt. Operating Current (Imp) | Open Circuit Voltage (Voc) | Short Circuit Current (Isc) |
|---------------|---------------------------|------------------------------|------------------------------|----------------------------|-----------------------------|
| CS7N-635MB-AG | 476 W                     | 35.0 V                       | 13.61 A                      | 42.0 V                     | 14.73 A                     |
| CS7N-640MB-AG | 480 W                     | 35.2 V                       | 13.64 A                      | 42.2 V                     | 14.77 A                     |
| CS7N-645MB-AG | 484 W                     | 35.3 V                       | 13.72 A                      | 42.3 V                     | 14.80 A                     |
| CS7N-650MB-AG | 487 W                     | 35.5 V                       | 13.74 A                      | 42.5 V                     | 14.83 A                     |
| CS7N-655MB-AG | 491 W                     | 35.7 V                       | 13.76 A                      | 42.7 V                     | 14.86 A                     |

\* Under Nominal Module Operating Temperature (NMOT), irradiance of 800 W/m² spectrum AM 1.5, ambient temperature 20°C, wind speed 1 m/s.

**MECHANICAL DATA**

| Specification                      | Data  |
|------------------------------------|---|
| Cell Type                          | Mono-crystalline  |
| Cell Arrangement                   | 132 [2 x (11 x 6)]  |
| Dimensions                         | 2384 x 1303 x 35 mm (93.9 x 51.3 x 1.38 in)                       |
| Weight                             | 39.4 kg (86.9 lbs)  |
| Front / Back Glass                 | 2.0 mm heat strengthened glass                                    |
| Frame                              | Anodized aluminium alloy  |
| J-Box                              | IP68, 3 diodes  |
| Cable                              | 4.0 mm² (IEC)   |
| Cable Length (Including Connector) | 460 mm (18.1 in) (+) / 340 mm (13.4 in) (-) or customized length* |
| Connector                          | T4 series or H4 UTX or MC4-EVO2                                   |
| Per Pallet                         | 30 pieces   |
| Per Container (40' HQ)             | 480 pieces  |

\* For detailed information, please contact your local Canadian Solar sales and technical representatives.

**TEMPERATURE CHARACTERISTICS**

| Specification                        | Data         |
|--------------------------------------|--------------|
| Temperature Coefficient (Pmax)       | -0.34 % / °C |
| Temperature Coefficient (Voc)        | -0.26 % / °C |
| Temperature Coefficient (Isc)        | 0.05 % / °C  |
| Nominal Module Operating Temperature | 41 ± 3°C     |

**PARTNER SECTION**



### 3.2 Normative di riferimento

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

- D.M.14 Gennaio2008: "Norme tecniche per le Costruzioni" (NTC);
- Circolare 2 Febbraio 2009 n.617: "Istruzioni per l'applicazione delle Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al D.M. 14.1.2008";

A titolo di supporto, si richiamano di seguito i testi normativi pregressi di riferimento:

- Legge n.1086 05.11.1971 "Norme per la disciplina delle opere di conglomerato cementizio armato, normale e precompresso ed a struttura metallica";
- Legge 02/02/1974 n. 64, Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche;
- Circolare Min. LL. PP. Del 14/02/1974 n. 11951;
- D.M. LL.PP. 14.02.1992 "Norme tecniche per l'esecuzione delle opere in cemento armato normale e precompresso e per le strutture metalliche" e relativa Circ. Min. LL.PP n° 37406/STC del 24.06.1993;
- D.M. LL.PP. 09.01.1996 "Norme tecniche per il calcolo, l'esecuzione ed il collaudo delle strutture in cemento armato, normale e precompresso e per le strutture metalliche" e relativa Circ. Min. LL.PP n° 252 AA.GG./S.T.C. del 15.10.1996;
- D.M. LL.PP. 16.01.1996 "Norme tecniche relative ai Criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e dei sovraccarichi" e relativa Circ. Min. LL.PP. n° 156AA.GG./STC del 04.07.1996;
- Circolare Min. LL.PP. 04/07/1996, n. 156 AA.GG./STC. "Istruzioni per l'applicazione delle "Norme tecniche relative ai Criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e dei sovraccarichi" di cui al D.M. 16/01/1996;
- Circolare del 10/04/1997 n. 65 del Ministero dei LL.PP., Istruzioni per l'applicazione delle Norme Tecniche per le costruzioni in zone sismiche di cui al D.M. 16/01/1996.
- ORDINANZA P.C.M. N:3274 del 02/05/2003 (G.U. 08/05/2003, n. 105 suppl.) modificata ed integrata ai sensi della ORDINANZA P.C.M. N. 3316 del 02/10/2003 (G.U. 10/10//2003, n. 236) e della ORDINANZA P.C.M. N. 3431del 03/05/2005 (G.U. 10-5- 2005, n. 107 -suppl.): Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica;
- D.P.C.M. n° 3685 del 21/10/03, G.U. n° 252, del 29/10/03;
- Presidenza del Consiglio dei Ministri, Dipartimento della Protezione Civile, Ufficio Servizio Sismico Nazionale, 29/03/04: Elementi informativi sull'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20 marzo 2003, recante "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica" (G.U. n. 105 del 8.5.2003);
- D.M. Infrastrutture e Trasporti del 14-09-2005 "Norme tecniche per le costruzioni." (G.U. n. 222 del 23/9/2005 - Suppl. Ordinario n.159);
- O.P.C.M. n° 3519 del 28/04/06, G.U. n° 108, del 11/05/06;

Coerentemente con quanto riportato nelle norme attualmente in vigore (NTC del 14/01/2008) e solo se non in contrasto con le stesse, possono essere presi a riferimento i seguenti codici internazionali:

- UNI EN 1991-1-3: 2004 "Eurocodice 1 - Azioni sulle strutture - Parte 1-3: Azioni in generale - Carichi da Neve";
- UNI EN 1991-1-4: 2005. Eurocodice 1 – Azioni sulle strutture – parte 1-4: Azioni in generale – Azioni del vento;
- UNI EN 1993-1-3:2007 "Eurocodice 3 - Progettazione delle strutture di acciaio – Parte 1-3: Regole generali - Regole supplementari per l'impiego dei profilati e delle lamiere sottili piegati a freddo".

### 3.3 Materiali

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

Acciaio tipo:

|  |   |
|--|---|
| Tensione caratteristica di snervamento:      | <b>S275 JR 275 MPa</b>  |
| Tensione caratteristica di rottura:          | <b>430 Mpa</b>  |
| Modulo Elastico:                             | <b>E = 210.000 Mpa</b>  |
| Coefficiente di Poisson:                     | <b>U = 0.3</b>  |
| Coefficiente di Dilatazione Tecnica: Densità | <b><math>\alpha = 1.2 \cdot 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}</math></b><br><b><math>\rho = 7850 \text{ kg/m}^3</math></b> |

### 3.4 Azioni sulle costruzioni

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

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

In prima approssimazione è possibile trascurare gli effetti derivanti dalle variazioni termiche. Per ciascuna di queste azioni e laddove applicabile, per questo tipo di struttura si prevede una vita nominale di 30-35 anni. Rispetto a tale periodo di riferimento vengono calcolate le azioni così come a seguito indicato.

#### 3.4.1 Pesi propri strutturali e carichi permanenti

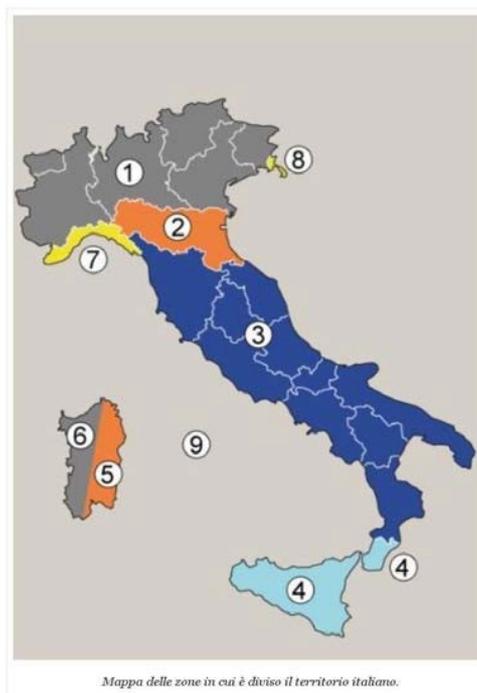
La struttura è progettata per il sostegno dei pannelli fotovoltaici e per resistere alle azioni ambientali. Sono escluse azioni derivanti da operazioni di montaggio e/o manutenzione che vengono comunque svolte da operatori a terra. Il peso proprio dei pannelli fotovoltaici è pari  $0.111 \text{ kN/m}^2$ . Tenuto conto del peso proprio degli elementi strutturali (calcolati in automatico dal programma di calcolo), si considera cautelativamente un carico complessivo pari a  $0.3 \text{ kN/m}^2$  per i soli pannelli e i morsetti- collegamenti.

### 3.4.2 Azioni del vento

Le azioni del vento sono state calcolate con riferimento alle NTC e relativamente alle seguenti caratteristiche del sito:

|             |            |
|-------------|------------|
| Hslm (m)    | <b>224</b> |
| Zona        | <b>4</b>   |
| Rugosità    | <b>D</b>   |
| Esposizione | <b>II</b>  |
| Tilt (°)    | <b>28</b>  |
| TR (anni)   | <b>30</b>  |
| Hmax (m)    | <b>4.0</b> |

| ZONE 1,2,3,4,5   |       |       |       |      |      |    |
|--|-------|-------|-------|------|------|----|
|  | costa |       |       |      |      |    |
|  | mare  |       |       | 500m | 750m |    |
|  | 2 km  | 10 km | 30 km |      |      |    |
| 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<br>Categoria III in zona 5  |       |       |       |      |      |    |
| ** Categoria III in zona 2,3,4,5<br>Categoria IV in zona 1 |       |       |       |      |      |    |



La velocità di riferimento per il calcolo della pressione cinetica, è stata calcolata per un periodo di riferimento TR pari a 30 anni (si veda la circolare 2 febbraio 2009, n.617). Di seguito sono riportate le grandezze coinvolte nel calcolo dell'azione dovuta al vento:

| Zona                                     | vb,0 [m/s] | a0 [m] | ka [1/s] |
|--|------------|--------|----------|
| 4  | 28         | 500    | 0,02     |
| as (altitudine sul livello del mare [m]) |            |        | 22       |
| TR (Tempo di ritorno)                    |            |        | 30       |

La pressione cinetica di riferimento, risulta:

Pressione cinetica

$$q_b = 1/2 \cdot \rho \cdot v_b^2$$

$q_b$  [N/mq]

|   |         |
|---|---------|
| $v_b = v_{b,0}$ per $a_s \leq a_0$                            |         |
| $v_b = v_{b,0} + k_a (a_s - a_0)$ per $a_0 < a_s \leq 1500$ m |         |
| $v_b$ (TR = 50 [m/s])   | 28,000  |
| $\alpha_R$ (TR)   | 1,00000 |
| $v_b$ (TR) = $v_b \times \alpha_R$ [m/s]                      | 28,000  |

i coefficienti di esposizione sono:

|       |       |           |       |       |             |
|-------|-------|-----------|-------|-------|-------------|
| $k_r$ | $Z_0$ | $Z_{min}$ | $C_e$ | $C_p$ | $C_p$ local |
| 0,22  | 0,30  | 8         | 1,801 | 1,00  | 0,882       |

Tutti i valori sono in accordo alle specifiche delle NTC riportate nel seguito:

**Tabella 3.3.I - Valori dei parametri  $v_{b,0}$ ,  $a_0$ ,  $k_a$**

| Zona | Descrizione   | $v_{b,0}$ [m/s] | $a_0$ [m] | $k_a$ [1/s] |
|------|---|-----------------|-----------|-------------|
| 1    | Valle d'Aosta, Piemonte, Lombardia, Trentino Alto Adige, Veneto, Friuli Venezia Giulia (con l'eccezione della provincia di Trieste) | 25              | 1000      | 0,010       |
| 2    | Emilia Romagna  | 25              | 750       | 0,015       |
| 3    | Toscana, Marche, Umbria, Lazio, Abruzzo, Molise, Puglia, Campania, Basilicata, Calabria (esclusa la provincia di Reggio Calabria)   | 27              | 500       | 0,020       |
| 4    | Sicilia e provincia di Reggio Calabria  | 28              | 500       | 0,020       |
| 5    | Sardegna (zona a oriente della retta congiungente Capo Teulada con l'Isola di Maddalena)  | 28              | 750       | 0,015       |
| 6    | Sardegna (zona a occidente della retta congiungente Capo Teulada con l'Isola di Maddalena)  | 28              | 500       | 0,020       |
| 7    | Liguria   | 28              | 1000      | 0,015       |
| 8    | Provincia di Trieste  | 30              | 1500      | 0,010       |
| 9    | Isole (con l'eccezione di Sicilia e Sardegna) e mare aperto   | 31              | 500       | 0,020       |

| Categoria di esposizione del sito | $k_r$ | $z_0$ [m] | $z_{min}$ [m] |
|-----------------------------------|-------|-----------|---------------|
| I                                 | 0,17  | 0,01      | 2             |
| II                                | 0,19  | 0,05      | 4             |
| III                               | 0,20  | 0,10      | 5             |
| IV                                | 0,22  | 0,30      | 8             |
| V                                 | 0,23  | 0,70      | 12            |

Per quanto riguarda il coefficiente di forma  $C_p$ , viene assunta la formulazione riportata nella circolare 2 febbraio 2009 - n. 617, relativa alle tettoie ad un solo spiovente, per le quali viene definito:

$$C_p = \pm 1.2(1 + \sin \alpha) = 1.65$$

Per quanto riguarda le massime pressioni locali (effetti di bordo) si assume un valore pari a:

$C_p \text{ local} = \pm 0,882$  Tutto questo considerato risulta (si assume  $c_d = 1$ ):

$$p = q_b c_p c_e c_d = 1248 \text{ N/m}^2 = 1.456 \text{ kN/m}^2.$$

### 3.4.3 Carico neve

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

$$q_s = m_i \cdot q_{sk} \cdot C_e \cdot C_t$$

dove:

$q_s$  = carico neve sulla copertura;

$m_i$  = coefficiente di forma della copertura. Per copertura ad un'unica falda a inclinazione  $\leq 30^\circ$ , il coefficiente è pari a 0,8.

$q_{sk}$  = valore caratteristico di riferimento del carico neve al suolo [ $\text{kg/m}^2$ ] per un periodo di ritorno di 50 anni.

$C_e$  = coefficiente di esposizione assunto pari a 1 in caso di topografia "normale"

$C_t$  = coefficiente termico. Tiene conto della riduzione del carico neve a causa dello scioglimento della stessa, causata dalla perdita di calore della costruzione. In genere si pone pari a 1.

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

La provincia di Catania appartiene alla zona III. Considerato ciò si ottiene:

| $m_i$ | $s$<br>[m] | $q_{sk}$<br>[ $\text{kN/m}^2$ ] | $C_e$ | $C_t$ | $q_s$<br>[ $\text{kN/m}^2$ ] |
|-------|------------|---------------------------------|-------|-------|------------------------------|
| 0,8   | 70         | 0.60                            | 1     | 1     | 0.48                         |

Ai fini delle verifiche, in via conservativa, si assume un carico da neve pari a  $0.60 \text{ kN/m}^2$ .

### 3.4.4 Azione sismica

Il territorio della Regione Sicilia è caratterizzato da alti livelli di rischio sismico. Tenuto conto delle ridotte masse strutturali e non strutturali presenti e tenuto conto che la combinazione di carico sismica (SLU e SLE) ai sensi delle NTC, non prevede cumulo con azioni da vento e neve (sotto la quota di 1000 m s.l.m.) si considera trascurabile l'effetto delle azioni sismiche.

### 3.5 Modello strutturale utilizzato

Le verifiche strutturali preliminari sono state condotte utilizzando un modello di calcolo composto da elementi BIM, simulanti il comportamento delle membrature componenti. Nel dettaglio, per i pali di supporto della struttura si è considerato un incastro per i nodi inferiori. Per gli arcarecci longitudinali si è considerata la continuità da un estremo all'altro della vela. Per i traversi inclinati si sono considerate le estremità incernierate. Ai fini delle verifiche si sono considerati i profili indicati negli elaborati grafici allegati al progetto.

#### 3.5.1 Approccio di verifica e combinazioni di carico

Sono state condotte verifiche agli stati limite secondo quanto imposto dalle NTC del 14/01/2008. La sovrapposizione degli effetti dei vari carichi è stata ottenuta per semplice combinazione lineare.

Di seguito vengono riportate le combinazioni di carico utilizzate ai fini delle verifiche:

#### STATI LIMITE ULTIMI

- combinazione CSLU1:  $Ed=1,3 \times G - 1,5 \times W + 0,5 \times 1,5 \times S$
- combinazione CSLU2:  $Ed=1,0 \times G + 1,5 \times W + 0,5 \times 1,5 \times S$
- combinazione CSLU3:  $Ed=1,3 \times G - 0,6 \times 1,5 \times W + 1,5 \times S$
- combinazione CSLU4:  $Ed=1,3 \times G + 0,6 \times 1,5 \times W + 1,5 \times S$
- combinazione CSLU5:  $Ed=1,3 \times G - 1,5 \times W$
- combinazione CSLU6:  $Ed=1,3 \times G + 1,5 \times S$
- combinazione CSLU7:  $Ed=1,0 \times G + 1,5 \times W$

#### STATI LIMITE ESERCIZIO

- combinazione CSLS1:  $Ed=1,0 \times G - 1,0 \times W + 0,5 \times S$
- combinazione CSLS2:  $Ed=1,0 \times G + 1,0 \times W + 0,5 \times S$
- combinazione CSLS3:  $Ed=1,0 \times G - 0,6 \times W + 1,0 \times S$
- combinazione CSLS4:  $Ed=1,0 \times G + 0,6 \times W + 1,0 \times S$
- combinazione CSLS5:  $Ed=1,0 \times G - 1,0 \times W$
- combinazione CSLS6:  $Ed=1,0 \times G + 1,0 \times S$
- combinazione CSLS7:  $Ed=1,0 \times G + 1,0 \times W$

Dove:

- G rappresenta la sommatoria dei carichi strutturali e permanenti;
- W rappresenta il carico dovuto al vento in aspirazione;
- S rappresenta il carico dovuto alla neve.

### 3.6 Verifiche strutturali preliminari

#### 3.6.1 Verifiche di resistenza e stabilità delle strutture fuori terra

Nelle figure seguenti si riporta la mappatura delle tensioni massime agenti sulle varie parti principali delle strutture per l'involuppo delle combinazioni di carico agli SLU. La tensione di riferimento per la verifica delle strutture in oggetto è di seguito riportata:

$$f_d = f_y / \gamma_{m0} = 262 \text{ MPa}$$

Il valore massimo delle tensioni agenti sulle varie membrature rimane sempre al di sotto della tensione di riferimento. La verifica di resistenza delle strutture si ritiene quindi soddisfatta.

Ai fini delle verifiche di stabilità, significative per i ritti verticali e i traversi (per gli arcarecci longitudinali, la presenza dei pannelli ancorati agli stessi tramite i morsetti, contrasta ogni eventuale fenomeno di instabilità del corrente compresso), si riporta di seguito la mappatura degli stress assiali per l'involuppo delle combinazioni di carico agli SLU. Considerando gli esigui valori di stress assiale presenti su tali elementi, i valori di snellezza effettivi delle membrature in esame (inferiori ai valori massimi di normativa), e la sollecitazione flessionale agente sugli stessi, le verifiche di stabilità dei ritti e dei traversi possono ritenersi soddisfatte.

#### 3.6.2 Verifiche di deformabilità delle strutture fuori terra

Ai fini delle verifiche di deformabilità, si riporta di seguito la mappatura degli spostamenti massimi delle varie membrature per l'involuppo delle combinazioni agli SLE.

La freccia massima degli arcarecci longitudinali (luce netta massima  $L = 1500 \text{ mm}$ ) è pari a:

$$\delta_{\max} = 5.8 \text{ mm} = L/258 < L/200$$

verifica soddisfatta (si ritiene inoltre implicitamente soddisfatta la verifica della freccia elastica dei carichi variabili:  $\delta_2 < L/250$ )

Lo spostamento massimo delle strutture verticali ( $H$  media fuori terra pari a circa  $850 \text{ mm}$ ) è pari a:

$$\delta = 4.3 \text{ mm} = H_m/200 < H_m/150 \text{ (valore di riferimento conservativo) verifica soddisfatta}$$

#### 3.6.3 Verifica di capacità portante della fondazione dei pali

Si eseguono di seguito le verifiche allo stato limite di collasso per carico limite assiale e trasversale sui pali di fondazione.

In accordo alle prescrizioni delle NTC, si utilizza l'approccio 2 di verifica ( $A1+M1+R3$ ).

Ai fini della verifica di capacità portante verticale dei pali di supporto della struttura, si riportano di seguito i valori massimi delle azioni assiali agenti sui pali per l'involuppo delle combinazioni di carico agli SLU.

Per l'impianto in oggetto, si riportano di seguito i valori di carico assiale di progetto- verifica del palo (per sollecitazioni di trazione e compressione):

| L infissione<br>[m] | R <sub>l,calc</sub><br>[kN] | R <sub>b,calc</sub><br>[kN] | R <sub>d,traz</sub><br>[kN] | R <sub>d,compr</sub><br>[kN] |
|---------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|------------------------------|
| 1.8                 | 9.60                        | 0.11                        | <b>4.52</b>                 | <b>4.97</b>                  |

Tali valori, relativi all'approccio di verifica di cui sopra, sono stati ottenuti utilizzando un coefficiente di correlazione pari a 1.7 (assunzione preliminare conservativa).

Dai risultati delle analisi svolte, i valori massimi di sollecitazione assiale di trazione e compressione agenti sui pali di fondazione risultano inferiori ai valori di progetto-verifica indicati nella tabella sopra riportata, infatti:

$$N_{Ed,traz} = 2.57 \text{ kN} < 4.52 \text{ kN} \quad (\text{Verifica soddisfatta})$$

$$N_{Ed,compr} = 3.80 \text{ kN} < 4.97 \text{ kN} \quad (\text{Verifica soddisfatta})$$

Per quel che attiene i carichi trasversali agenti sui pali, si riportano di seguito i valori massimi di sollecitazione tagliante per l'involuppo delle combinazioni di carico agli SLU.

Per l'impianto in oggetto, si riportano di seguito il valore del carico trasversale di progetto- verifica del palo:

Tali valori, relativi all'approccio di verifica di cui sopra, sono stati ottenuti utilizzando un coefficiente di correlazione pari a 1.7 (assunzione preliminare conservativa).

| L/d  | e/d | H <sub>v</sub> /C <sub>u,d</sub> d <sup>2</sup> | C <sub>u,d</sub> = C <sub>u</sub> /1.3/ξ<br>[kN] | H <sub>d</sub> [kN] |
|------|-----|---|--|---------------------|
| 20.0 | 5.6 | 42  | 7.10   | <b>2.42</b>         |

Dai risultati delle analisi svolte, il valore massimo di sollecitazione tagliante agente sui pali di fondazione risulta inferiore al valore di progetto-verifica indicato nella tabella sopra riportata, infatti:

$$H_{Ed} = 2.16 \text{ kN} < 2.42 \text{ kN} \quad (\text{Verifica soddisfatta})$$

In fase esecutiva opportune prove di carico in trazione (pull-out) e di carico orizzontale e/o inclinato saranno eseguite su un numero adeguato di pali pilota in modo da ottimizzare le strutture di fondazione.

#### **4 CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE**

Le verifiche preliminari riportate nei paragrafi precedenti sono state eseguite considerando le specifiche delle norme tecniche per le costruzioni (NTC) del 14/01/2008 e della relativa circolare esplicativa; le verifiche, integralmente soddisfatte, sono focalizzate agli elementi principali delle strutture di supporto dei pannelli. In fase esecutiva si procederà all'esecuzione di tutte le verifiche di dettaglio necessarie per gli elementi di collegamento e per ogni altra parte significativa delle strutture.