



# REGIONE SARDEGNA

## PROVINCIA DI SUD SARDEGNA

### COMUNE DI TEULADA

Oggetto:

**PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO AGRO-FOTOVOLTAICO  
DELLA POTENZA DI 42,5919 MWp DA UBICARSI NEL TERRITORIO DEL  
COMUNE DI TEULADA  
LOCALITÀ S'ACQUA SASSA**

Elaborato :

**REL005 - RELAZIONE SUI CALCOLI PRELIMINARI DELLE STRUTTURE**

TAVOLA:

**REL005**

PROPONENTE :

**Alter Uno S.R.L. Unipolare**

Sede  
Via Principessa Clotilde 7, 00196 Roma (RM)



PROGETTAZIONE :



**GAMIAN CONSULTING SRL**

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

Tecnico  
Ing. Gaetano Voccia

Team Tecnico  
Guerriero Alessandra    Cairo Stefano  
Greco Francesco        Addino Roberto  
Martorelli Francesco



SCALA:

DATA:

Novembre 2022

REDAZIONE :

CONTROLLO :

APPROVAZIONE :

**Codice Progetto: FM.21.002**

**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>
2.1	DESCRIZIONE DEL PROGETTO .....	3
2.2	CARATTERISTICHE GENERALI DEL PROGETTO.....	6
<b>3</b>	<b>STRUTTURE</b> .....	<b>7</b>
3.1	CARATTERISTICHE DEI MODULI FOTOVOLTAICI .....	9
3.2	NORMATIVE DI RIFERIMENTO.....	11
3.3	MATERIALI.....	12
3.4	AZIONI SULLE COSTRUZIONI .....	12
3.4.1	<i>Pesi propri strutturali e carichi permanenti</i> .....	13
3.4.2	<i>Azioni del vento</i> .....	13
3.4.3	<i>Carico neve</i> .....	17
3.4.4	<i>Azione sismica</i> .....	18
3.5	MODELLO STRUTTURALE UTILIZZATO .....	19
3.5.1	<i>Approccio di verifica e combinazioni di carico</i> .....	19
3.6	VERIFICHE STRUTTURALI PRELIMINARI .....	20
3.6.1	<i>Verifiche di resistenza e stabilità delle strutture fuori terra</i> .....	20
3.6.2	<i>Verifiche di deformabilità delle strutture fuori terra</i> .....	20
3.6.3	<i>Verifica di capacità portante della fondazione dei pali</i> .....	21
<b>4</b>	<b>CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE</b> .....	<b>23</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 Alter Uno S.r.l. Unipolare intende realizzare nel comune di Teulada (SU), in località “S’Acqua Sassa” un impianto agro-fotovoltaico ad inseguimento monoassiale per la produzione di energia elettrica. L’impianto si sviluppa su una superficie lorda complessiva di circa 72,6251 Ha (726.251 m<sup>2</sup>) ricadenti nelle particelle catastali n. 534-535 del foglio di mappa catastale n. 194; nelle particelle catastali n. 473 del foglio di mappa catastale n. 309; nelle particelle catastali n. 8 – 9 – 10 – 24 – 25 – 53 – 54 – 103 del foglio di mappa n. 311 e nelle particelle 1 – 3 – 9 del foglio di mappa n. 702. L’impianto avrà una potenza di 42.591,9 kWp e l’energia prodotta sarà ceduta alla rete elettrica di alta tensione, tramite il collegamento in antenna a 36 kV con una nuova stazione elettrica di trasformazione della RTN a 150/36kV in doppia sbarra da collegare in entra - esce sulla linea a 150/36kV della RTN "Villaperuccio-Teulada - S. Margherita". 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 dell’ambito n. 4 denominato “Sulcis” secondo il piano assetto idrogeologico (PAI), il quale si propone di individuare la perimetrazione delle aree soggette a rischio idrogeologico. Le coordinate geografiche (baricentro approssimativo) del sito di impianto sono:

Coordinate impianto
Lat: 38.9641827
Long: 8.735673



Figura 1 – Ubicazione dell’area d’impianto (Google Earth)



Figura 2 - Ortofoto dell'area dell'impianto ricadente sul territorio di Teulada (SU) – località S’Acqua Sassa

Il progetto “FV\_TEULADA” in fase di sviluppo/autorizzazione, ricade all’interno del comune di Teulada (SU) in località “S’Acqua Sassa”. La Alter Uno S.r.l. Unipolare ha ottenuto dal gestore di rete Terna, in data 25/01/2022, la soluzione tecnica minima generale (STMG) per connettere 40 MW in antenna a 36 kV sulla stazione a 36 kV di una futura stazione RTN a 150/36 kV da inserire in e-e alla linea “Villaperuccio – Teulada – S. Margherita”, previo potenziamento/rifacimento della linea RTN 150 kV “Teulada – Cagliari Sud”.

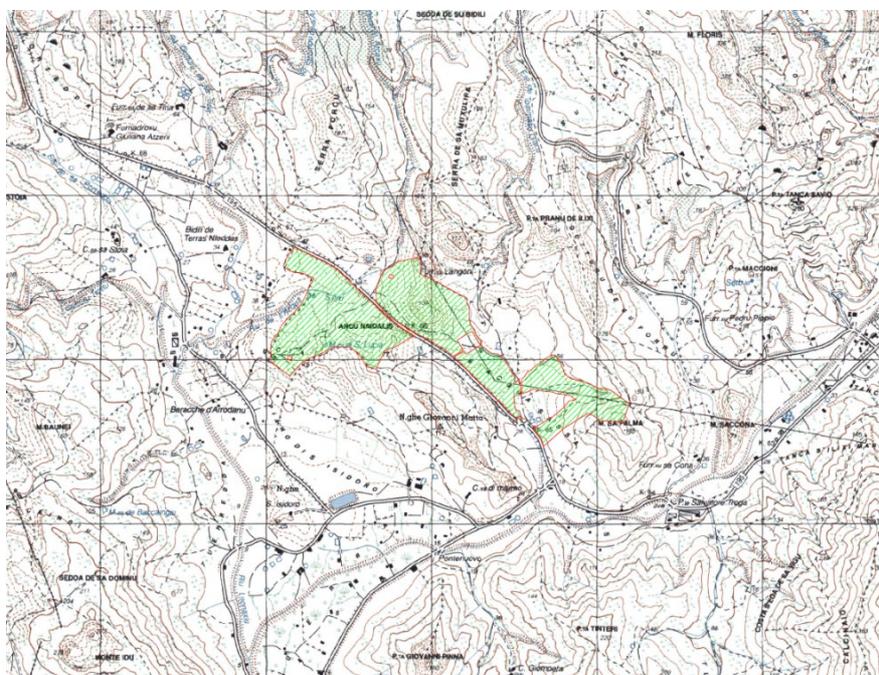
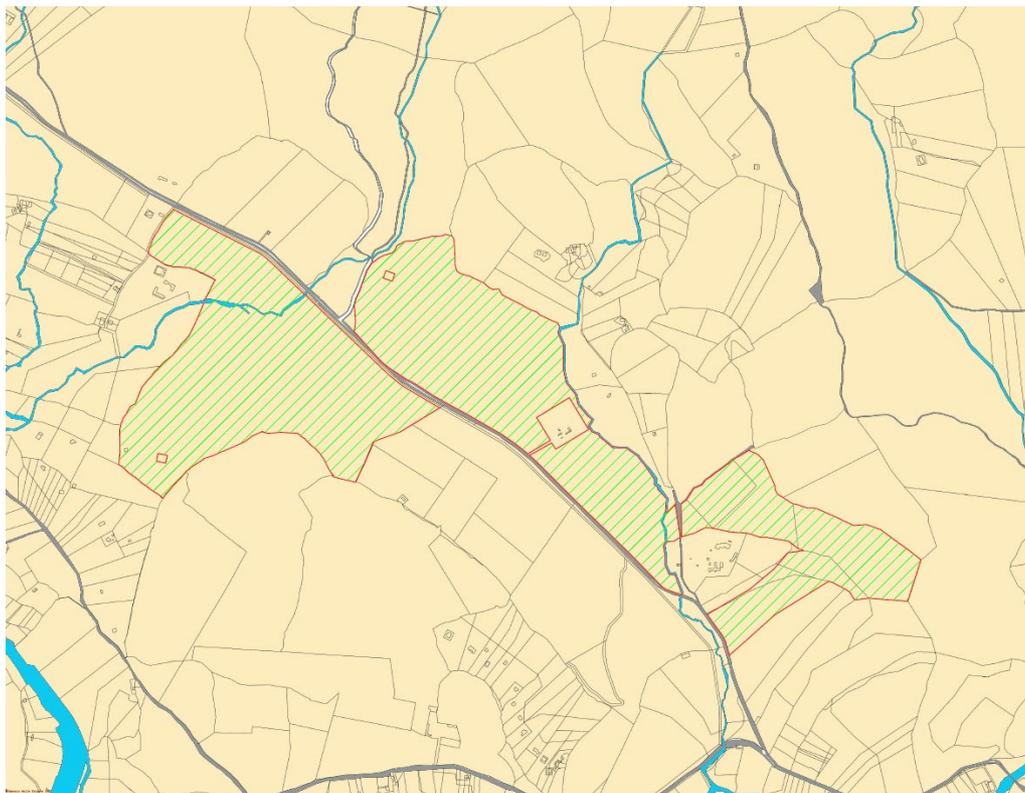
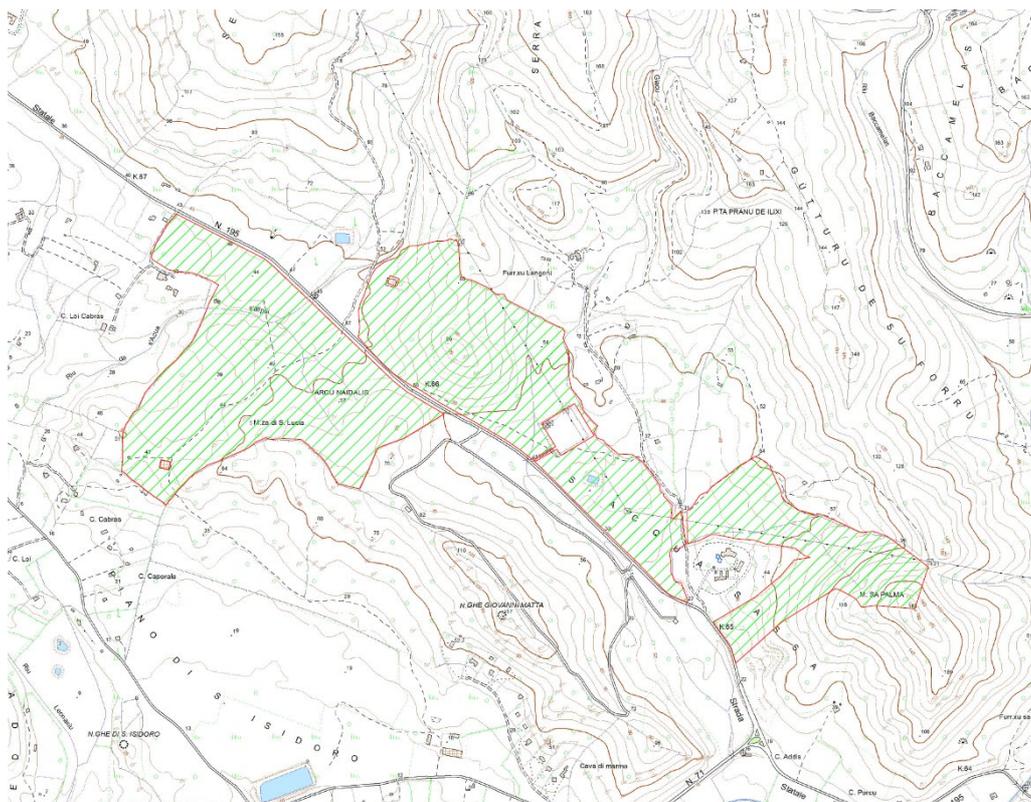


Figura 3 – Inquadratura territoriale dell'area di impianto su IGM.



**Figura 4 – Inquadramento territoriale dell’impianto su Catastale.**



**Figura 5 – Inquadramento territoriale dell’impianto su CTR.**

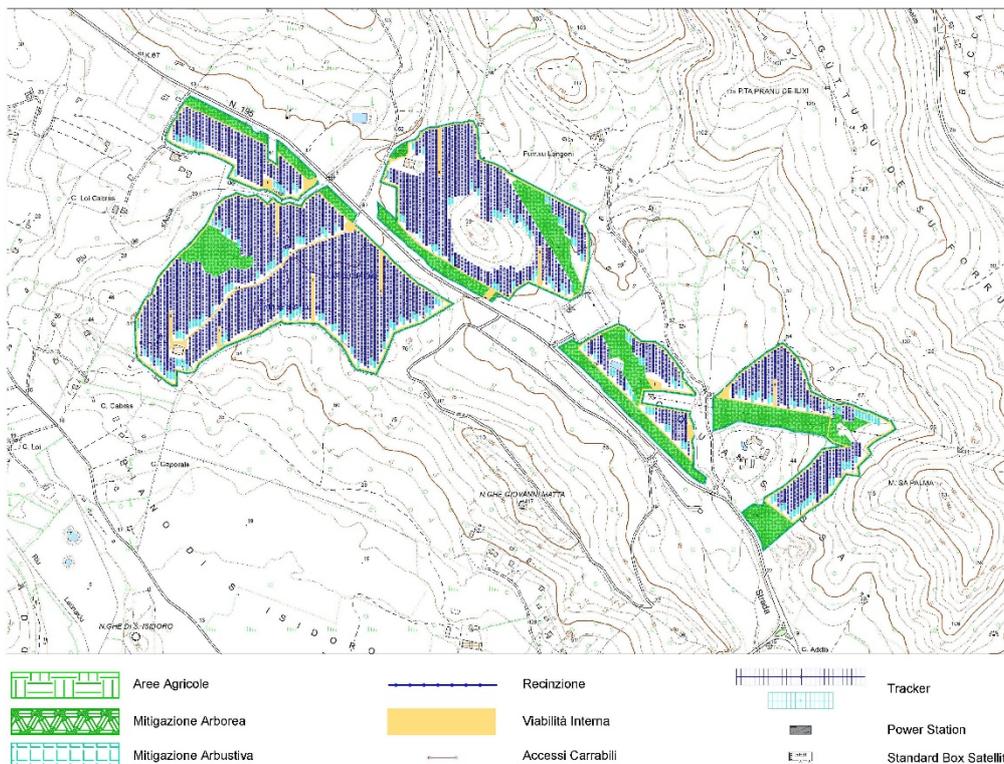


Figura 6 – Layout dell’area d’impianto su C.T.R. ricadente sul territorio di Teulada (SU) – località S’Acqua Sassa

L’accesso all’area in cui sarà realizzato l’impianto sito nel comune di Teulada (SU), in località “S’Acqua Sassa” sono raggiungibili attraverso la S.S. 195 “Sulcitana”, strade comunali e vicinali.

## 2.2 Caratteristiche generali del progetto

L’impianto che la Alter Uno S.r.l. Unipolare presenta in autorizzazione è composto da campi agro-fotovoltaici, siti nel comune di Teulada (SU) località “S’Acqua Sassa”. Al fine di avere la massima efficacia ed efficienza dall’impianto, si prevede una struttura elettrica ad anello 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. È prevista la soluzione con installazione a terra “non integrata” con pannelli fotovoltaici, del tipo CANADIAN BiHiKu 7 BIFACIAL MONO PERC 640 W 670 W CS7N-640/645/650/655/660/665/670MB-AG monocristallino con una potenza di picco di 670Wp, 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 collegate a profilati in orizzontale che costituiscono la superficie di alloggiamento dei pannelli fotovoltaici. La struttura impiegata verrà fissata al suolo, per cui è stata progettata e dimensionata tenendo conto di aspetti di tipo tecnologici e meccanici:

- I primi sono relativi all'infissione del palo, la quale tende, anche in piccola parte, a modificare le caratteristiche del terreno, migliorandole o peggiorandole;
- I secondi sono invece relativi alle sollecitazioni che incombono sulla struttura stessa.

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 m dal suolo. Al fine di ottimizzare le prestazioni della struttura fondale e, tenendo conto dell'interazione terreno – struttura, opportune prove di estrazione e di carico preventive potranno poi essere realizzate in sito ai fini della progettazione esecutiva.

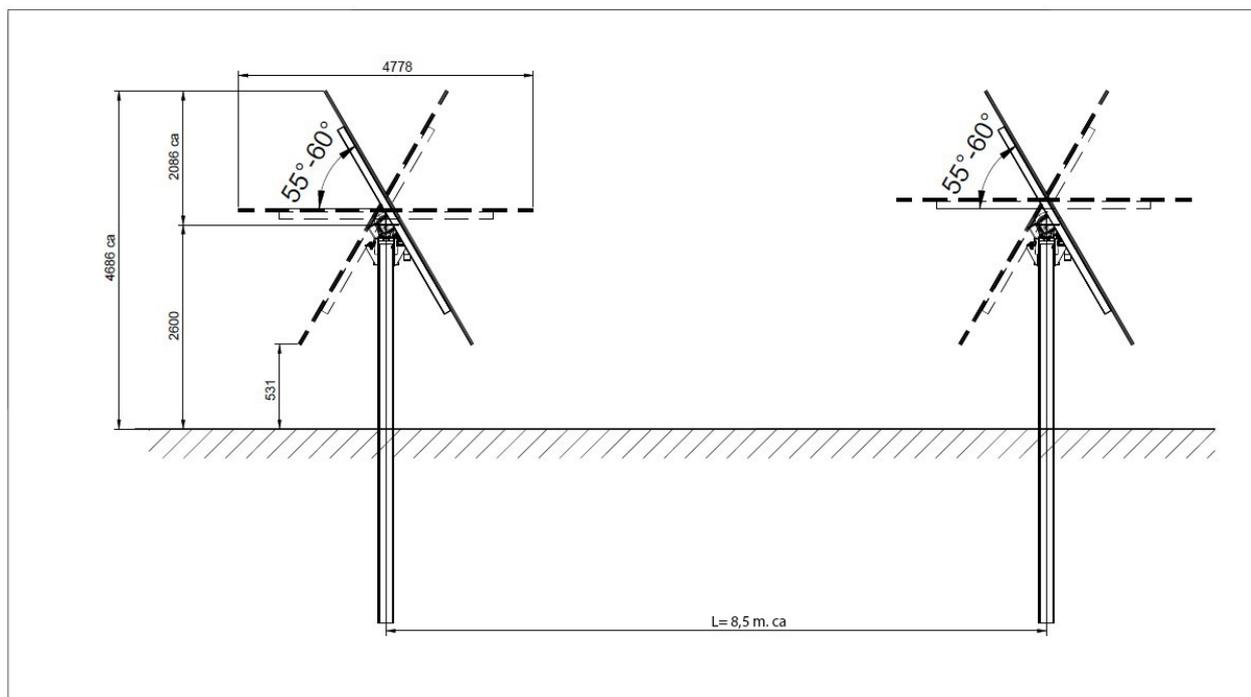


Figura 7 - Profilo longitudinale struttura

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.

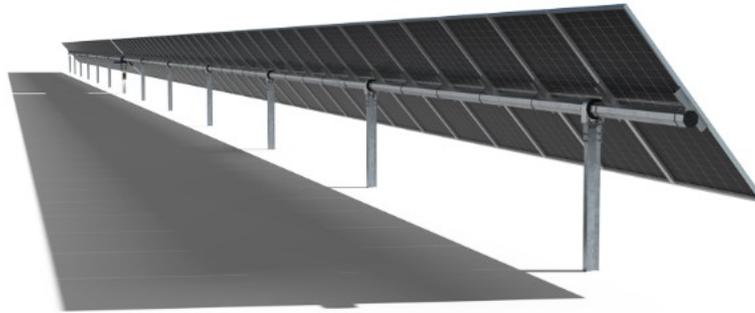


Figura 8 - Esempio struttura porta moduli da installare

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. Sotto l'azione dei colpi il palo subisce un cedimento via via crescente fino a raggiungere un massimo, il quale identifica uno stato elastico reversibile, per poi decrescere e stabilizzarsi con il raggiungimento di uno stato plastico irreversibile. Infatti, una parte di questo cedimento viene restituita elasticamente mentre l'altra viene immagazzinata nel sistema. Proprio per questo viene garantito un migliore grado di addensamento del terreno, che consente al sistema strutturale composto da pali infissi e ritti superiori di altezza e posizione variabile, di compensare eventuali dislivelli del terreno. Così facendo è garantito l'allineamento, e conseguentemente sono ridotti potenziali problemi di ombreggiamento tra gli impianti. Le altre parti meccaniche che completano la struttura saranno quindi fissate mediante viteria, bulloni e staffaggio al palo, così come gli stessi moduli fotovoltaici.

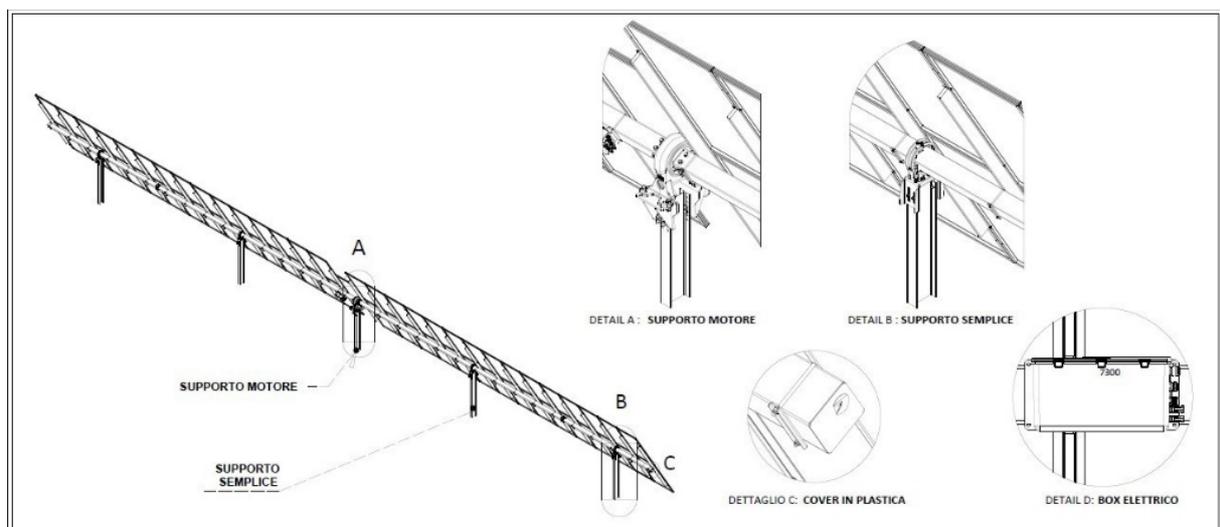


Figura 9 - Particolari costruttivi degli inseguitori installati

### 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. Quest’ultimo infatti presenta un tenore di carbonio medio, che lo classifica di conseguenza come materiale ad alta resistenza. Solitamente le viti di grado 8.8 sono trattate con lo zinco e consentono il serraggio controllato per mezzo di una chiave dinamometrica. Essi hanno una **resistenza alla rottura di circa 800 N/mm<sup>2</sup>**.



**NEW**

**CanadianSolar**

**BiHiKu7**  
BIFACIAL MONO PERC  
640 W ~ 670 W  
CS7N-640 | 645 | 650 | 655 | 660 | 665 | 670MB-AG

FRONT BACK

**MORE POWER**

- 670 W Module power up to 670 W  
Module efficiency up to 21.6 %
- 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\*

**12 Years Enhanced Product Warranty on Materials and Workmanship\***

**30 Years 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  
ISO 45001:2018 / International standards for occupational health & safety

**PRODUCT CERTIFICATES\***

IEC 61215 / IEC 61730 / CE / INMETRO / MCS / UKCA  
CEC listed (US California) / PSEK (US Florida)  
UL 61730 / IEC 61701 / IEC 62716 / IEC 60068-2-68  
Take-e-way

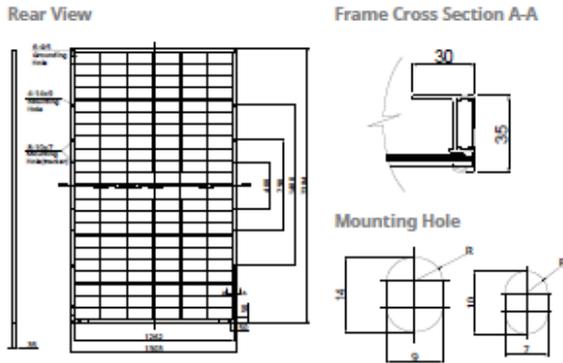
\* The specific certificates applicable to different module types and markets will vary, and therefore not all of the certifications listed herein will simultaneously apply to the products you order or use. Please contact your local Canadian Solar sales representative to confirm the specific certificates available for your Product and applicable in the regions in which the products will be used.

**CSI Solar Co., Ltd.** is committed to providing high quality solar photovoltaic modules, solar energy and battery storage solutions to customers. The company was recognized as the No. 1 module supplier for quality and performance/price ratio in the IHS Module Customer Insight Survey. Over the past 20 years, it has successfully delivered over 70 GW of premium-quality solar modules across the world.

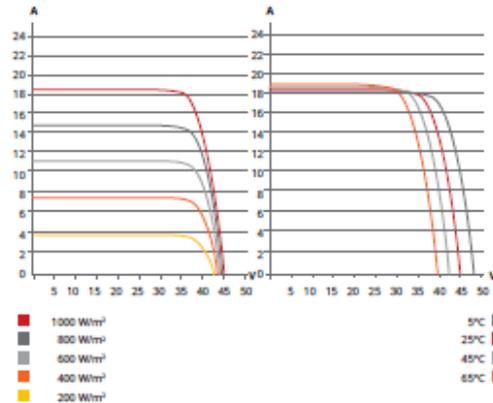
\* For detailed information, please refer to the Installation Manual.

**CSI Solar Co., Ltd.**  
199 Lushan Road, SND, Suzhou, Jiangsu, China, 215129, www.csisolar.com, support@csisolar.com

### 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-640MB-AG	640 W	37.5 V	17.07 A	44.6 V	18.31 A	20.6%	
	5% Bifacial Gain**	672 W	37.5 V	17.92 A	44.6 V	19.23 A	21.6%
	10% Bifacial Gain**	704 W	37.5 V	18.78 A	44.6 V	20.14 A	22.7%
	20% Bifacial Gain**	768 W	37.5 V	20.48 A	44.6 V	21.97 A	24.7%
CS7N-645MB-AG	645 W	37.7 V	17.11 A	44.8 V	18.35 A	20.8%	
	5% Bifacial Gain**	677 W	37.7 V	17.97 A	44.8 V	19.27 A	21.8%
	10% Bifacial Gain**	710 W	37.7 V	18.84 A	44.8 V	20.19 A	22.9%
	20% Bifacial Gain**	774 W	37.7 V	20.53 A	44.8 V	22.02 A	24.9%
CS7N-650MB-AG	650 W	37.9 V	17.16 A	45.0 V	18.39 A	20.9%	
	5% Bifacial Gain**	683 W	37.9 V	18.03 A	45.0 V	19.31 A	22.0%
	10% Bifacial Gain**	715 W	37.9 V	18.88 A	45.0 V	20.23 A	23.0%
	20% Bifacial Gain**	780 W	37.9 V	20.59 A	45.0 V	22.07 A	25.1%
CS7N-655MB-AG	655 W	38.1 V	17.20 A	45.2 V	18.43 A	21.1%	
	5% Bifacial Gain**	688 W	38.1 V	18.06 A	45.2 V	19.35 A	22.1%
	10% Bifacial Gain**	721 W	38.1 V	18.93 A	45.2 V	20.27 A	23.2%
	20% Bifacial Gain**	786 W	38.1 V	20.64 A	45.2 V	22.12 A	25.3%
CS7N-660MB-AG	660 W	38.3 V	17.24 A	45.4 V	18.47 A	21.2%	
	5% Bifacial Gain**	693 W	38.3 V	18.10 A	45.4 V	19.39 A	22.3%
	10% Bifacial Gain**	726 W	38.3 V	18.96 A	45.4 V	20.32 A	23.4%
	20% Bifacial Gain**	792 W	38.3 V	20.69 A	45.4 V	22.16 A	25.5%
CS7N-665MB-AG	665 W	38.5 V	17.28 A	45.6 V	18.51 A	21.4%	
	5% Bifacial Gain**	698 W	38.5 V	18.14 A	45.6 V	19.44 A	22.5%
	10% Bifacial Gain**	732 W	38.5 V	19.02 A	45.6 V	20.36 A	23.6%
	20% Bifacial Gain**	798 W	38.5 V	20.74 A	45.6 V	22.21 A	25.7%
CS7N-670MB-AG	670 W	38.7 V	17.32 A	45.8 V	18.55 A	21.6%	
	5% Bifacial Gain**	704 W	38.7 V	18.20 A	45.8 V	19.48 A	22.7%
	10% Bifacial Gain**	737 W	38.7 V	19.05 A	45.8 V	20.41 A	23.7%
	20% Bifacial Gain**	804 W	38.7 V	20.78 A	45.8 V	22.26 A	25.9%

\* 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/UL) or 1000 V (IEC/UL)
Module Fire Performance	TYPE 29 (UL 61730) or 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:  $\pm 5 \%$

\* 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. CSI Solar Co., Ltd. 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.

CSI Solar Co., Ltd.  
199 Lushan Road, SND, Suzhou, Jiangsu, China, 215129, www.csisolar.com, support@csisolar.com

### ELECTRICAL DATA | NMOT\*

	Nominal Max. Power (Pmax)	Opt. Operating Voltage (Vmp)	Opt. Operating Current (Imp)	Open Circuit Voltage (Voc)	Short Circuit Current (Isc)
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
CS7N-660MB-AG	495 W	35.9 V	13.79 A	42.9 V	14.89 A
CS7N-665MB-AG	499 W	36.1 V	13.83 A	43.1 V	14.93 A
CS7N-670MB-AG	502 W	36.3 V	13.85 A	43.3 V	14.96 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 [2x (11 x 6)]
Dimensions	2384 x 1303 x 35 mm (93.9 x 51.3 x 1.38 in)
Weight	37.9 kg (83.6 lbs)
Front Glass	2.0 mm heat strengthened glass with anti-reflective coating
Back Glass	2.0 mm heat strengthened glass
Frame	Anodized aluminium alloy
J-Box	IP68, 3 bypass diodes
Cable	4.0 mm² (IEC), 10 AWG (UL)
Cable Length (Including Connector)	460 mm (18.1 in) (+) / 340 mm (13.4 in) (-) or customized length*
Connector	T6 or T4 series or MC4-EVO2
Per Pallet	31 pieces
Per Container (40' HQ)	527 pieces or 465 pieces (only for US)

\* 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



June 2022. All rights reserved. PV Module Product Datasheet V2.4\_EN

## 3.2 Normative di riferimento

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

- D.M.17 gennaio 2018: "Norme tecniche per le Costruzioni" (NTC);
- Circolare 21 febbraio 2019 n.7 C.S.LL.PP. : "Istruzioni per l'applicazione delle Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al D.M. 17.1.2018".

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. 3431 del 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 17/01/2018) e solo se non in contrasto con le stesse, possono essere presi a riferimento i seguenti codici internazionali:

- Eurocodice 1 - “basi di calcolo e azioni sulle strutture”;
- UNI EN 1993-1-3:2007 "Eurocodice 3 – Progettazione delle strutture di acciaio”.

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

Da questi elementi è possibile inoltre determinare il valore del modulo di elasticità tangenziale (o trasversale) G.

$$G = \frac{E}{2(1 + \nu)} = 80769 \frac{N}{\text{mm}^2}$$

### 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 dei materiali strutturali (G1);
- carichi permanenti non strutturali (G2);
- carichi variabili (Qk,qk,Hk), i quali comprendono l'azione della neve, del vento, urti/esplosioni, sovraccarichi dovuti all'uso, distorsioni termiche, azioni sismiche. In prima approssimazione è possibile trascurare gli effetti derivanti dalle variazioni termiche.

Tali azioni vengono successivamente combinate tra di loro, secondo quanto computato dalle normative di riferimento di cui ai paragrafi precedenti di questa relazione. In prima approssimazione è possibile trascurare gli effetti derivanti dalle variazioni termiche. Per ciascuna di queste azioni e, dove 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:

- **Altitudine sul livello del mare (Hslm): 44m;**
- **Distanza dalla costa: 4 km;**
- **Zona: 5;**
- **Rugosità: D;**
- **Categoria di esposizione: II;**
- **Tilt (°): 28°;**
- **Tempo di ritorno (Tr): 35 anni.**

	ZONE 1,2,3,4,5					
	costa	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						



La velocità di riferimento per il calcolo della pressione cinetica, è stata calcolata per un periodo di riferimento TR pari a 30 anni. La pressione del vento, alla luce delle NTC 2018, si determina dalla seguente relazione:

$$p = qb * ce * cp * cd$$

Dove:

- qb: pressione cinetica di riferimento;
- ce: coefficiente d'esposizione;
- cp: coefficiente di forma;
- cd: coefficiente dinamico.

Il valore della pressione cinetica di riferimento si determina come:

$$qb = \frac{1}{2} * \rho Vb^2$$

Dove  $\rho$  indica la densità dell'aria e Vb la velocità di riferimento del vento, determinata come di seguito riportato, in relazione alla zona ed alla categoria d'esposizione. Successivamente questo valore è stato scalato per un fattore CR che tiene conto del fatto che ci stiamo attenendo ad un tempo di ritorno Tr =30 anni e non di 50.

$$C_R = 0.75 \sqrt{1 - 0.2 \cdot \ln \left[ -\ln \left( 1 - \frac{1}{T_R} \right) \right]}$$

### CALCOLO VELOCITA' DI RIFERIMENTO DEL VENTO §3.3.2.

Zona	$v_{b,0}$ [m/s]	$a_0$ [m]	$k_s$	$C_a$
5	28	750	0,4	1,000

$$v_b = v_{b,0} * c_a$$

$c_a = 1$  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) 28,00 m/s**

$$v_r = v_b * C_r$$

Cr coefficiente di ritorno 0,97

**$v_r$  (velocità di riferimento) 27,19 m/s**

### PRESSIONE CINETICA DI RIFERIMENTO §3.3.6.

$q_r$  (pressione cinetica di riferimento [N/mq])

$$q_r = 1/2 * \rho * v_r^2 \quad (\rho = 1,25 \text{ kg/m}^3)$$

**Pressione cinetica di riferimento  $q_r$  462,18 [N/m<sup>2</sup>]**

I coefficienti di esposizione sono:

Categoria di esposizione del sito	$k_r$	$z_0$ [m]	$z_{min}$ [m]
II	0,19	0,05	4

Da cui:

#### 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  $z=200m$  valgono le seguenti espressioni

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

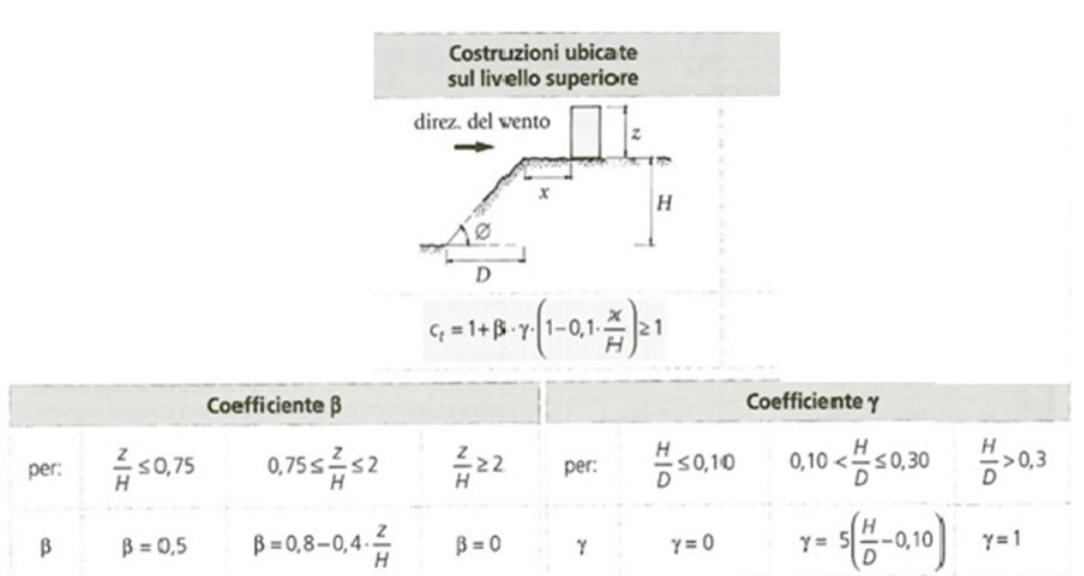
$$c_e(z) = c_e(z_{min}) \quad \text{per } z < z_{min}$$

$k_r$	$z_0$ [m]	$z_{min}$ [m]
0,19	0,05	4,00

<b>Coefficiente di esposizione minimo</b>	$c_{e,min}$	<b>1,80</b>	$z < 4,00$
<b>Coefficiente di esposizione alla gronda</b>	$c_{e,gronda}$	<b>1,80</b>	$z = 0,00$
<b>Coefficiente di esposizione al colmo</b>	$c_{e,colmo}$	<b>1,80</b>	$z = 2,60$

Considerando che:

$C_t$ : coefficiente topografico=1, in quanto il sito presenta si presenta in una zona ondulata (NTC 2018 par. 3.3.7). Inoltre, anche in occasioni di eventuali indagini ci si presenta in una situazione simile a quella riportata in figura, ragion per cui essendo rilevante la distanza tra la base della collina e il piano campagna di dove sorge l'opera, ed essendo il rapporto  $H/D < 0.10$ , il coefficiente  $\gamma = 0$ . Per i valori delle altezze di colmo e di gronda si rimanda alla figura 10 di questa relazione. Tutti i valori sono in accordo alle specifiche delle NTC riportate nel seguito:



Per quanto riguarda il coefficiente di forma  $c_p$ , esso è funzione del tipo di costruzione, della sua geometria, e dell’orientamento della stessa rispetto al vento. viene assunta la formulazione riportata nella circolare 2 febbraio 2009 - n. 617(\*), relativa alle tettoie ad un solo spiovente, per le quali viene definito:

$$C_p = \pm 1.2(1 + \sin \alpha) = 2.18$$

Considerando l’angolo  $\alpha=55^\circ$ , pari all’angolo di tilt di progetto. A questa cosa, anche se tenuta fuori calcolo, andando a vantaggio di sicurezza, deve però tenersi conto del fatto che in occasione di forti raffiche di vento, i pannelli si dispongono in posizione complanare così da ridurre al minimo l’effetto del vento. Ciò è garantito dalla presenza di un software che attiva tale movimento.

**(\*: si fa riferimento a questa circolare e non alla versione più aggiornata del 21 gennaio 2019 a causa di difficoltà strettamente connesse all’interpolazione).**

Il coefficiente dinamico  $c_d$  infine, tiene conto del fatto che le massime pressioni locali esercitate dal vento non avvengono contemporaneamente agli effetti amplificativi strettamente connessi con la risposta dinamica della struttura. In maniera del tutto cautelativa, considerando che non siamo nel range di grandi altezze, questo valore lo poniamo pari ad 1. Dunque si ottiene:

$$p = q_b c_p c_e c_d = 1687 \text{ N/m}^2 \cong 1,9 \text{ kN/m}^2.$$

### 3.4.3 Carico neve

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

$$q_s = \mu_i * q_{sk} * C_e * C_t$$

dove:

$\mu_i$ : coefficiente di forma della copertura, fornito dalla normativa in merito alla seguente tabella:

Coefficiente di forma	$0^\circ \leq \alpha \leq 30^\circ$	$30^\circ < \alpha < 60^\circ$	$\alpha \geq 60^\circ$
$\mu_i$	0,8	$0,8 \cdot \frac{(60 - \alpha)}{30}$	0,0

Nel nostro caso  $\mu_i = 0,13$ .

$q_{sk}$  = valore caratteristico di riferimento del carico neve al suolo [ $kg/m^2$ ] per un periodo di ritorno di 50 anni. Nel nostro caso, siccome ci troviamo a Teulada (SU), otteniamo, grazie alle zonazioni definite dalla NTC 2018:

#### Zona III

Agrigento, Avellino, Benevento, Brindisi, **Cagliari**, Caltanissetta, Carbonia-Iglesias, Caserta, Catania, Catanzaro, Cosenza, Crotone, Enna, Frosinone, Grosseto, L'Aquila, Latina, Lecce, Livorno, Matera, Medio Campidano, Messina, Napoli, Nuoro, Ogliastra, Olbia Tempio, Oristano, Palermo, Pisa, Potenza, Ragusa, Reggio Calabria, Rieti, Roma, Salerno, Sassari, Siena, Siracusa, Taranto, Terni, Trapani, Vibo Valentia, Viterbo:

$$q_{sk} = 0,60 \text{ kN/m}^2 \quad a_s \leq 200 \text{ m} \quad (3.3.11)$$

$$q_{sk} = 0,51 [1 + (a_s/481)^2] \text{ kN/m}^2 \quad a_s > 200 \text{ m}$$

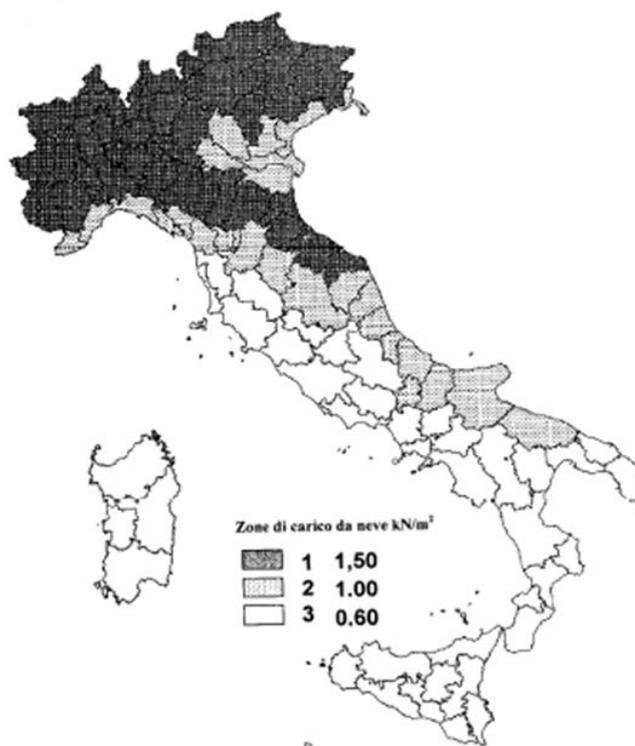


Figura 3.4.1 – Zone di carico da neve

Nel nostro caso  $q_{sk} = 0,6 \text{ kN/m}^2$  in quanto  $a_s = 44\text{m}$ .

Ce: coefficiente di esposizione, assunto pari a 1 in caso di topografia "normale":

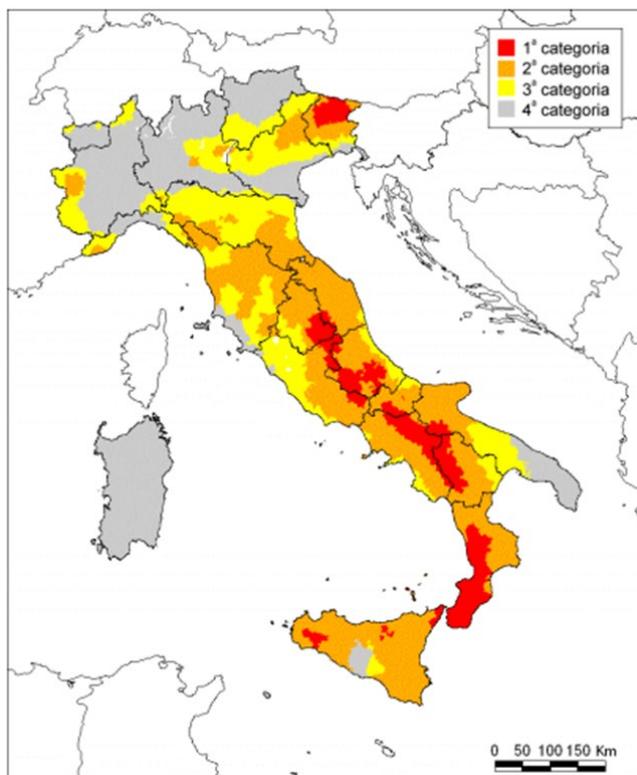
Topografia	Descrizione	$C_E$
Battuta dai venti	Aree pianeggianti non ostruite esposte su tutti i lati, senza costruzioni o alberi più alti.	0,9
Normale	Aree in cui non è presente una significativa rimozione di neve sulla costruzione prodotta dal vento, a causa del terreno, altre costruzioni o alberi.	1,0
Riparata	Aree in cui la costruzione considerata è sensibilmente più bassa del circostante terreno o circondata da costruzioni o alberi più alti	1,1

Ct: coefficiente termico. Tiene conto della riduzione del carico neve a causa dello scioglimento della stessa, causata dalla perdita di calore della costruzione. Tale coefficiente assume valore unitario nella nostra situazione.

Da qui si ottiene  $q_s = 0,08 \text{ kN/m}^2$ .

### 3.4.4 Azione sismica

In conformità all'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri 3274 del 2003 con la quale si stabiliscono i nuovi criteri per la classificazione sismica del territorio italiano, l'Isola della Sardegna è classificata come zona 4. Tale tipologia di rischio si può quindi considerare di entità moderata. Secondo la normativa vigente infatti, il territorio nazionale viene distinto in 4 zone diverse di rischio, associandone ad ognuna vari parametri di riferimento in termini di accelerazione massima orizzontale del sito ( $a_g$ ), valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale ( $F_0$ ) e periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale ( $T_c^*$ ).



Possiamo dedurre per la regione Sardegna (zona 4) i seguenti parametri:

Zona sismica	Accelerazione con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni (ag)
1	$ag > 0.25$
2	$0.15 < ag \leq 0.25$
3	$0.05 < ag \leq 0.15$
4	$ag \leq 0.05$

### 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

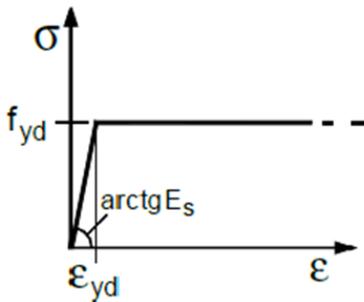
Sono state condotte verifiche agli stati limite secondo quanto imposto dalle NTC del 17/01/2018. La sovrapposizione degli effetti dei vari carichi è stata ottenuta per semplice combinazione lineare. Di seguito vengono riportate le combinazioni di carico principali utilizzate ai fini delle verifiche:

- Combinazione fondamentale, generalmente impiegata per gli stati limite ultimi (SLU):  
$$\gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{G2} \cdot G_2 + \gamma_P \cdot P + \gamma_{Q1} \cdot Q_{k1} + \gamma_{Q2} \cdot \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \gamma_{Q3} \cdot \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots \quad (2.5.1)$$
- Combinazione caratteristica (rara), generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) irreversibili, da utilizzarsi nelle verifiche alle tensioni ammissibili di cui al § 2.7:  
$$G_1 + G_2 + P + Q_{k1} + \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots \quad (2.5.2)$$
- Combinazione frequente, generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) reversibili:  
$$G_1 + G_2 + P + \psi_{11} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot Q_{k3} + \dots \quad (2.5.3)$$
- Combinazione quasi permanente (SLE), generalmente impiegata per gli effetti a lungo termine:  
$$G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot Q_{k3} + \dots \quad (2.5.4)$$
- Combinazione sismica, impiegata per gli stati limite ultimi e di esercizio connessi all'azione sismica E (v. § 3.2):  
$$E + G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \dots \quad (2.5.5)$$
- Combinazione eccezionale, impiegata per gli stati limite ultimi connessi alle azioni eccezionali di progetto  $A_d$  (v. § 3.6):  
$$G_1 + G_2 + P + A_d + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \dots \quad (2.5.6)$$

## 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 resistenza di calcolo  $f_{yd}$  dell'acciaio S275 si determina come rapporto tra la resistenza caratteristica  $f_{yk}$  e  $\gamma_s (=1.15)$ , definito come coefficiente di sicurezza dell'acciaio. Inoltre, si considera un legame sforzo – deformazioni di tipo elasto-plastico perfetto.



$$f_{yd} = f_{yk}/\gamma_s = 239 \text{ MPa}$$

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 1 combinazione 2 (A2+M2+R2). Le verifiche che vengono effettuate riguardano soltanto gli stati limite ultimi, SLU, richiedendo alla struttura di fondazione di rimanere in campo elastico, per evitare che vi siano cedimenti differenziati da punto a punto. Gli SLU di tipo geotecnico (GEO) da rispettare sono i seguenti:

- Collasso per carico limite della palificata nei riguardi dei carichi assiali;
- Collasso per carico limite della palificata nei riguardi dei carichi trasversali;
- Collasso per carico limite di sfilamento nei riguardi dei carichi assiali di trazione;
- Stabilità globale (questa verifica si ritiene necessaria solo quando siamo in corrispondenza di un versante).

Gli SLU di tipo strutturale (STR) invece riguardano:

- Raggiungimento della resistenza dei pali;
- Raggiungimento della resistenza della struttura di collegamento dei pali.

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

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:

$$\begin{aligned} N_{Ed,traz} &= 2.57 \text{ kN} < 4.52 \text{ kN} && \text{(Verifica soddisfatta)} \\ N_{Ed,compr} &= 3.80 \text{ kN} < 4.97 \text{ kN} && \text{(Verifica soddisfatta)} \end{aligned}$$

Per quel che attiene i carichi trasversali agenti sui pali, si riportano di seguito i valori massimi di sollecitazione tagliante per l’inviluppo 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	$H_u/C_{u,d}d^2$	$C_{u,d} = C_u/1.3/\xi$ [kN]	$H_d$ [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:

$$H_{Ed} = 2.16 \text{ kN} < 2.42 \text{ kN}$$

**(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 17/01/2008 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.