

REGIONE SICILIA

PROVINCIA DI TRAPANI

COMUNE DI ERICE

PROGETTO DI UN IMPIANTO AGRO - FOTOVOLTAICO

REALIZZAZIONE ED ESERCIZIO DI UN IMPIANTO PER
LA PRODUZIONE DI ENERGIA DA FONTE
FOTOVOLTAICA E PER LA PRODUZIONE AGRICOLA
DELLA POTENZA DI 57 MWp E DELLE RELATIVE
OPERE CONNESSE E DI CONNESSIONE ALLA RETE

DESCRIZIONE ELABORATO Relazione di calcolo preliminare strutture	Livello Progetto PD	Codice Elaborato RS06REL0016A0
	Scala	Formato stampa Codice Progetto ITA10130

<p>PROGETTAZIONE e SVILUPPO</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;">  <p>MR WIND S.r.l. Via Alessandro Manzoni n.31 - 84091 Battipaglia (SA)</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>TECNICO Ing. Giuseppe Calabrese</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>TECNICO Ing. Giovanni Savarese</p> </div> </div>	<p>Proponente:</p> <p style="text-align: center;">V-RIDIUM SOLAR SICILIA 6 S.r.l. Viale Giorgio Ribotta n.21 - 00144 Roma (RM)</p>
--	---

DATA	DESCRIZIONE	REDATTO	CONTROLLATO	VERIFICATO
00		-----		
01				
02				
03				

Sommario

1.	Premessa.....	2
2.	Presentazione del progetto.....	3
2.1	Descrizione del progetto.....	3
2.2	Caratteristiche generali del progetto.....	6
3.	Caratteristiche tecniche.....	7
3.1	Strutture di supporto.....	7
3.2	Moduli fotovoltaici.....	7
4.	Normative di riferimento.....	12
5.	Caratteristiche geologiche, geomorfologiche ed idrogeologiche.....	13
6.	Materiali.....	19
7.	Analisi dei carichi.....	19
8.	Verifiche.....	23
9.	Sintesi sollecitazioni.....	24

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;
- rispetto requisiti ambientali

In via del tutto generale, un impianto agro-fotovoltaico NON necessiterà di alcuna fondazione cementizia in quanto le strutture saranno ancorate al suolo a mezzo infissione di pali in acciaio con sistema battipalo, in grado di poter essere facilmente rimossa o addirittura riutilizzata una volta terminato il ciclo di vita utile del sito.

In linea generale gli impianti fotovoltaici a terra, per loro estesa superficie e la struttura leggera, sono fortemente soggetti all'azione dovuta al vento. I carichi verticali sono invece relativamente modesti e pertanto le sollecitazioni ribaltanti sono dimensionanti per le fondazioni.

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

L'impianto agro-fotovoltaico in progetto prevede un impianto per la produzione di energia elettrica con tecnologia fotovoltaica, combinato con l'attività di coltivazione agricola. L'impianto avrà una potenza complessiva installata di circa 57.032 kWp, energia che sarà immessa nella Rete di Trasmissione Nazionale (RTN).

La società richiedente il 03 Agosto 2023 ha ottenuto dal gestore di rete TERNA SPA la soluzione tecnica minima generale (STMG) come per legge al fine di connettere l'impianto alla rete di trasmissione nazionale.

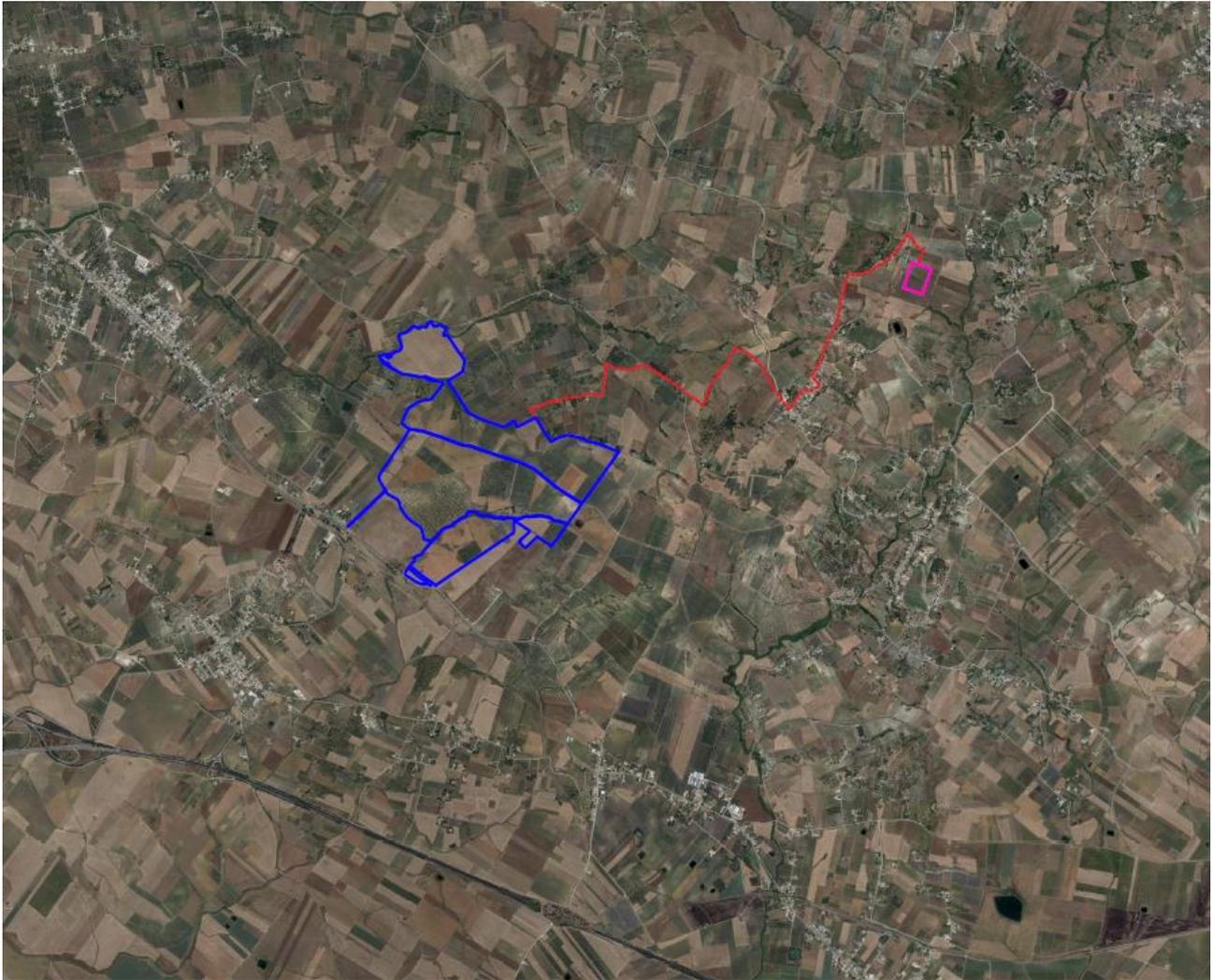
La Soluzione Tecnica Minima Generale prevede che la centrale venga collegata in antenna a 36 kV con la sezione a 36 kV di una nuova stazione elettrica di trasformazione (SE) a 220/36 kV della RTN, da inserire in entra - esce sulla linea RTN a 220 kV "Fulgatore - Partanna", previa:

- realizzazione del nuovo elettrodotto RTN 220 kV "Fulgatore – Partinico", di cui al Piano di Sviluppo Terna;
- realizzazione di un nuovo elettrodotto RTN a 220 kV di collegamento dalla stazione di cui sopra con la stazione 220/150 kV di Fulgatore, previo ampliamento della stessa;
- realizzazione di un nuovo elettrodotto RTN a 220 kV di collegamento dalla stazione di cui sopra con la stazione 220/150 kV di Partanna, previo ampliamento della stessa.

A seguito del ricevimento della STMG è stato possibile definire puntualmente le opere progettuali da realizzare, che si possono così sintetizzare:

- campo agro-fotovoltaico, sito nel comune di Erice (TP);
- stazione di consegna nel comune di Buseto Palizzolo (TP);
- cavidotto di collegamento che attraversa i comuni di Erice e Buseto.

L'impianto si sviluppa su una superficie lorda complessiva disponibile di circa 133,7 Ha (1.337.090 m²), appartenenti all'area di impianto ricadente nel territorio comunale di Erice appunto, ma la cui reale occupazione in termini di superficie fotovoltaica (pannelli ed opere edili connesse) è circa pari a 27 Ha, ovvero equivalente al 20,2 %.



Legenda

- Area d'impianto
- Nuova stazione elettrica BUSETO 2
- - - Percorso cavidotto di progetto 36 kV

Figura 1 - Ubicazione area impianto (Ortofoto Satellitare – Google Earth)

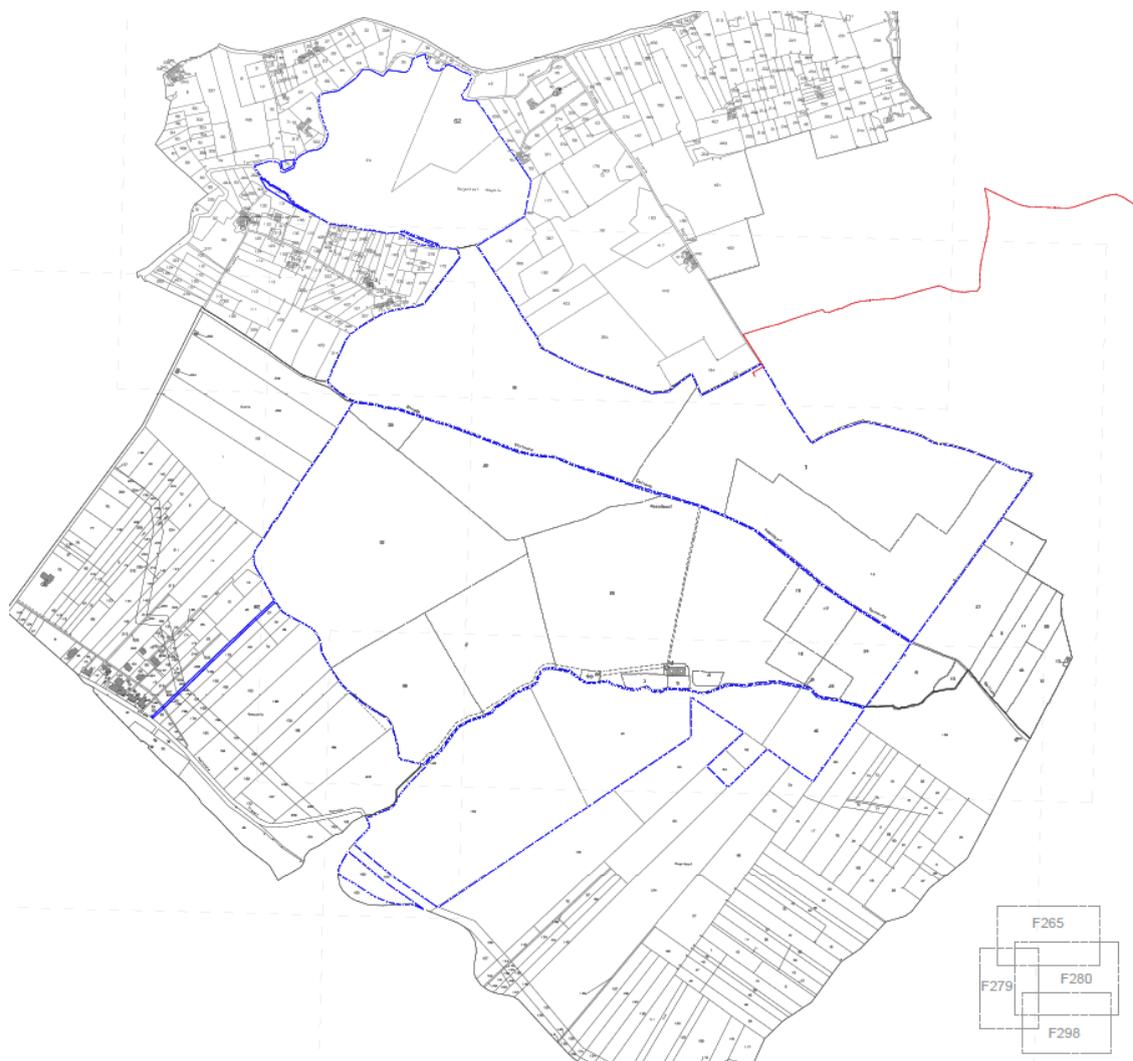
Da un punto di vista catastale, l'impianto di produzione interesserà le particelle di seguito riepilogate:

Foglio 265 Particelle 62, 63, 75, 145

Foglio 279 Particelle 87, 89, 199, 200, 201

Foglio 280 Particelle 1, 2, 3, 5, 6, 14, 15, 16, 17, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 28, 29, 32, 33

Foglio 298 Particelle 28, 40, 41, 52, 64, 102, 162



LEGENDA

- Area d'interesse
- - - Percorso cavidotto di progetto 36kV

Figura 2 – Inquadramento catastale

2.2 Caratteristiche generali del progetto

La società **V-RIDIUM SOLAR SICILIA 6 S.r.l.**, titolare del progetto, si propone di realizzare un impianto agro-fotovoltaico con consegna alla rete dell'energia prodotta, curando in proprio tutte le attività necessarie. Il proponente intende realizzare nel comune di Erice (TP) un impianto agro-fotovoltaico ad inseguimento monoassiale per la produzione di energia elettrica. L'impianto che la società presenta in autorizzazione è composto da:

- Campo agro-fotovoltaici, sito nel comune di Erice (TP);
- Stazione di consegna nel comune di Buseto Palizzolo (TP);
- Cavidotto di collegamento che attraversa i comuni di Erice e Buseto.

Il progetto prevede la realizzazione di un impianto da circa 57.032 kWp per la produzione di energia elettrica mediante tecnologia fotovoltaica, opere di connessione e infrastrutture annesse da cedere alla Rete di Trasmissione Nazionale (RTN) secondo quanto previsto dalla Legge 9/91 "Norme per l'attuazione del nuovo Piano energetico nazionale" e successive disposizioni legislative in materia tariffaria, in particolare dal D. Lgs 16 marzo 1999, n° 79 (decreto Bersani).

L'impianto, denominato "Erice 57", è di tipo ad inseguitore monoassiale, con sistema ad inseguitore solare monoassiale, con allineamento dei moduli in direzione nord-sud e tilt di est - ovest variabile da -55° a +55° sull'orizzontale, montati su apposite strutture metalliche.

Per l'impianto è prevista la soluzione con installazione a terra "non integrata" con pannelli fotovoltaici, del tipo Canadian Solar Bifacciali Monocristallino con una potenza di picco di 690 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 lavorazione delle attività agricole annesse. Tale soluzione permette di ottimizzare l'occupazione del territorio massimizzando al contempo la produzione di energia elettrica da fonte rinnovabile.

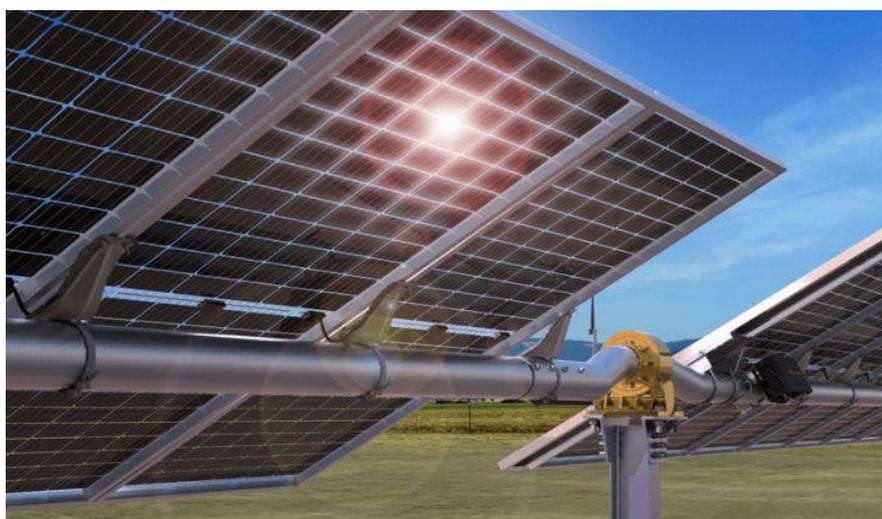


Figura 3 - Particolare strutturale

3. Caratteristiche tecniche

3.1 Strutture di supporto

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 circa 2,2 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.

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.

Sulla base delle caratteristiche geotecniche dei terreni si è scelto di adottare pali a vite, ad infissione, ricoperti con uno strato adeguato di zincatura contro la corrosione, tramite battitura/rotazione 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.

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

3.2 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 37,8 (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.



TOPBiHiKu7

N-type Bifacial TOPCon Technology

675 W ~ 705 W

CS7N-675 | 680 | 685 | 690 | 695 | 700 | 705TB-AG

MORE POWER

- Module power up to 705 W
Module efficiency up to 22.7 %
- Up to 85% Power Bifaciality,
more power from the back side
- Excellent anti-LeTID & anti-PID performance.
Low power degradation, high energy yield
- Lower temperature coefficient (Pmax): -0.29%/°C,
increases energy yield in hot climate
- Lower LCOE & system cost

MORE RELIABLE

- Minimizes micro-crack impacts
- Heavy snow load up to 5400 Pa,
wind load up to 2400 Pa*

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

Enhanced Product Warranty on Materials and Workmanship*

Linear Power Performance Warranty*

**1* year power degradation no more than 1%
Subsequent annual power degradation no more than 0.4%**

*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
IEC 62941: 2019 / Photovoltaic module manufacturing quality system

PRODUCT CERTIFICATES*

IEC 61215 / IEC 61730 / CE / INMETRO / MCS / UKCA / CGC
CEC listed (US California) / FSEC (US Florida)
UL 61730 / IEC 61701 / IEC 62716 / IEC 60068-2-68
UNI 9177 Reaction to Fire: Class 1 / 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 22 years, it has successfully delivered over 100 GW of premium-quality solar modules across the world.

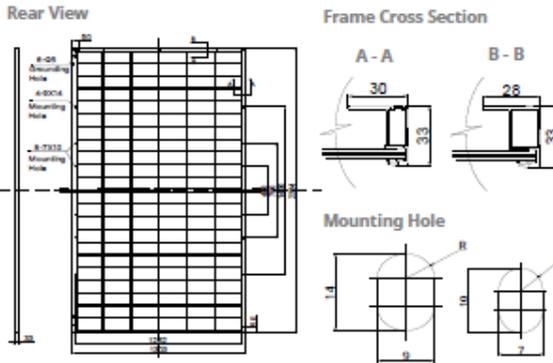
DEVELOPMENT



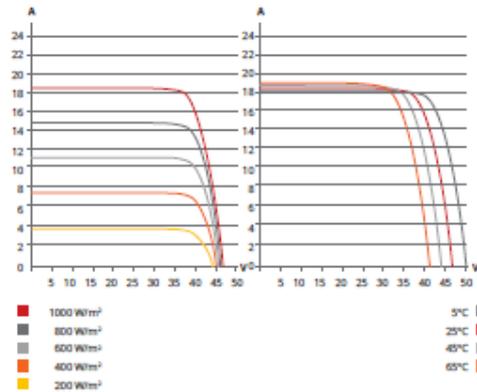
MR WIND S.r.l.

Via Alessandro Manzoni n. 31 – 84091 Battipaglia (SA)
www.mrwind.it www.mrwind.eu info@mrwind.it

ENGINEERING DRAWING (mm)



CS7N-680TB-AG / I-V CURVES



ELECTRICAL DATA | STC*

	Nominal Max. Power (P _{max})	Opt. Operating Voltage (V _{mp})	Opt. Operating Current (I _{mp})	Open Circuit Voltage (V _{oc})	Short Circuit Current (I _{sc})	Module Efficiency
CS7N-675TB-AG	675 W	39.0 V	17.31 A	46.9 V	18.24 A	21.7%
Bifacial Gain**	5%	709 W	39.0 V	18.19 A	46.9 V	22.8%
	10%	743 W	39.0 V	19.04 A	46.9 V	23.9%
	20%	810 W	39.0 V	20.77 A	46.9 V	26.1%
CS7N-680TB-AG	680 W	39.2 V	17.35 A	47.1 V	18.29 A	21.9%
Bifacial Gain**	5%	714 W	39.2 V	18.22 A	47.1 V	23.0%
	10%	748 W	39.2 V	19.09 A	47.1 V	24.1%
	20%	816 W	39.2 V	20.82 A	47.1 V	26.3%
CS7N-685TB-AG	685 W	39.4 V	17.39 A	47.3 V	18.34 A	22.1%
Bifacial Gain**	5%	719 W	39.4 V	18.26 A	47.3 V	23.1%
	10%	754 W	39.4 V	19.14 A	47.3 V	24.3%
	20%	822 W	39.4 V	20.87 A	47.3 V	26.5%
CS7N-690TB-AG	690 W	39.6 V	17.43 A	47.5 V	18.39 A	22.2%
Bifacial Gain**	5%	725 W	39.6 V	18.31 A	47.5 V	23.3%
	10%	759 W	39.6 V	19.17 A	47.5 V	24.4%
	20%	828 W	39.6 V	20.92 A	47.5 V	26.7%
CS7N-695TB-AG	695 W	39.8 V	17.47 A	47.7 V	18.44 A	22.4%
Bifacial Gain**	5%	730 W	39.8 V	18.34 A	47.7 V	23.5%
	10%	765 W	39.8 V	20.18 A	47.7 V	24.6%
	20%	834 W	39.8 V	20.96 A	47.7 V	26.8%
CS7N-700TB-AG	700 W	40.0 V	17.51 A	47.9 V	18.49 A	22.5%
Bifacial Gain**	5%	735 W	40.0 V	18.39 A	47.9 V	23.7%
	10%	770 W	40.0 V	20.22 A	47.9 V	24.8%
	20%	840 W	40.0 V	21.01 A	47.9 V	27.0%
CS7N-705TB-AG	705 W	40.2 V	17.55 A	48.1 V	18.54 A	22.7%
Bifacial Gain**	5%	740 W	40.2 V	18.43 A	48.1 V	23.8%
	10%	776 W	40.2 V	20.27 A	48.1 V	25.0%
	20%	846 W	40.2 V	21.06 A	48.1 V	27.2%

* 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*	80 %

* 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. 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.

ELECTRICAL DATA | NMOT*

	Nominal Max. Power (P _{max})	Opt. Operating Voltage (V _{mp})	Opt. Operating Current (I _{mp})	Open Circuit Voltage (V _{oc})	Short Circuit Current (I _{sc})
CS7N-675TB-AG	510 W	36.9 V	13.84 A	44.4 V	14.71 A
CS7N-680TB-AG	514 W	37.1 V	13.88 A	44.6 V	14.75 A
CS7N-685TB-AG	518 W	37.2 V	13.91 A	44.8 V	14.79 A
CS7N-690TB-AG	522 W	37.4 V	13.94 A	45.0 V	14.83 A
CS7N-695TB-AG	526 W	37.6 V	13.97 A	45.2 V	14.87 A
CS7N-700TB-AG	529 W	37.8 V	14.00 A	45.4 V	14.91 A
CS7N-705TB-AG	533 W	38.0 V	14.03 A	45.5 V	14.95 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	TOPCon cells
Cell Arrangement	132 [2 x (11 x 6)]
Dimensions	2384 x 1303 x 33 mm (93.9 x 51.3 x 1.30 in)
Weight	37.8 kg (83.3 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 mm ² (IEC), 12 AWG (UL)
Cable Length (Including Connector)	410 mm (16.1 in) (+) / 250 mm (9.8 in) (-) or customized length*
Connector	T6 or MC4-EVO2 or MC4-EVO2A
Per Pallet	33 pieces
Per Container (40' HQ)	594 pieces or 495 pieces (only for US & Canada)

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

TEMPERATURE CHARACTERISTICS

Specification	Data
Temperature Coefficient (P _{max})	-0.29 % / °C
Temperature Coefficient (V _{oc})	-0.25 % / °C
Temperature Coefficient (I _{sc})	0.05 % / °C
Nominal Module Operating Temperature	41 ± 3°C

PARTNER SECTION

Figura 4 – Caratteristiche tecniche dei moduli fotovoltaici

4. 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: "Istruzioni per l'applicazione delle Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al D.M. 17.01.2018";

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 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".

5. Caratteristiche geologiche, geomorfologiche ed idrogeologiche

Geologicamente il comune di Erice, in cui rientra il progetto in esame, ricade nel complesso geologico della Sicilia occidentale, caratterizzato da tratto di Catena Maghrebide Auct e strutturatosi tra il Miocene ed il Pliocene mediante la sovrapposizione di tre gruppi principali di unità tettoniche con geometrie di tipo ramp-flat generalmente vergenti verso i quadranti meridionali. L'area in studio è costituita dai terreni appartenenti alle Successioni Meso-Cenozoiche del dominio Prepanormide, in particolare dai depositi clastico-carbonatici, costituiti di marne, calcari, biocalcareni con passaggi ad intervalli arenacei.

Secondo l'ordine di sovrapposizione stratigrafica la serie dei terreni presenti nel territorio di Erice, dal basso verso l'alto, è data da:

- Litofacies marnose-calcaree-arenacee: Si tratta di marne e calcilutiti, con intercalazioni di arenarie, banchi di calcareniti e calciruditi glauconifere e bioclastiche a base generalmente erosiva.
- Depositi alluvionali: Comprendono i depositi alluvionali attuali, ubicati lungo gli alvei dei corsi d'acqua principali, i depositi alluvionali recenti terrazzati siti poco al di sopra degli attuali alvei principali. Si tratta di rocce prevalentemente sciolte costituite di limo, limo sabbioso, sabbia, sabbia limosa e ghiaia poligenica a spigoli arrotondati con giacitura sub-orizzontale ed assetto lenticolare embricato.

In linea generale, la configurazione geomorfologica dell'ambito territoriale in cui ricade il sito è contraddistinta da pochi e semplici elementi morfotipici: modeste distese alluvionali pianeggianti corrispondenti agli alvei, ondulazioni collinari che delimitano le litologie marnosoarenacee e che si elevano generalmente nell'ordine di qualche centinaio di metri.

I processi morfodinamici prevalenti nell'area in studio vedono come agente dominante l'acqua, sia per quanto riguarda i processi legati all'azione del ruscellamento ad opera delle acque selvagge, che per i processi di erosione e/o sedimentazione operate dalle acque incanalate.

Sono essenzialmente i processi fluviali e quelli di versante, quindi, quelli che hanno esplicato e tutt'ora esplicano un ruolo fondamentale nell'evoluzione geomorfologica dell'area. Le fasi geologiche di questo settore hanno determinato una morfologia tipica delle zone collinari della Sicilia centrale, con altitudine tra 100 e 300 m. s.l.m. e pendenze medio-basse che non superano il 3-4 % dove, però, localmente, si possono manifestare fenomeni gravitazionali sotto forma per lo più di processi lenti di versante tipo creep e/o soliflussi.

L'idrografia si sviluppa con brevi e rade aste che delineano dei pattern di tipo dendritico poco gerarchizzati. I corsi d'acqua si sviluppano in un territorio caratterizzato da piccoli dislivelli e da un basamento marnoso-arenaceo, difficilmente erodibile per cui non hanno potuto divagare generando valli molto ampie. I numerosi tributari dell'area confluiscono nel corso d'acqua principale: il Fiume Lenzi, che comunque è un corpo idrico di modesta entità e portata. L'area interessata dall'intervento è classificata in aree dove non persiste il vincolo idrogeologico in ottemperanza al R. D. n° 3267 del 30/12/1923, alla L. R. n° 13 del 28/02/1987 ed alla L. R. n° 11 del 07/05/1996. L'intervento, comunque, risulta di modesta entità, non prevede movimenti di terreno, la topografia dell'area non verrà modificata e può, sicuramente, essere considerato, non come fattore alterante ma, bensì, come elemento di integrazione controllata che non modifica gli equilibri idrogeologici e geomorfologici attuali.

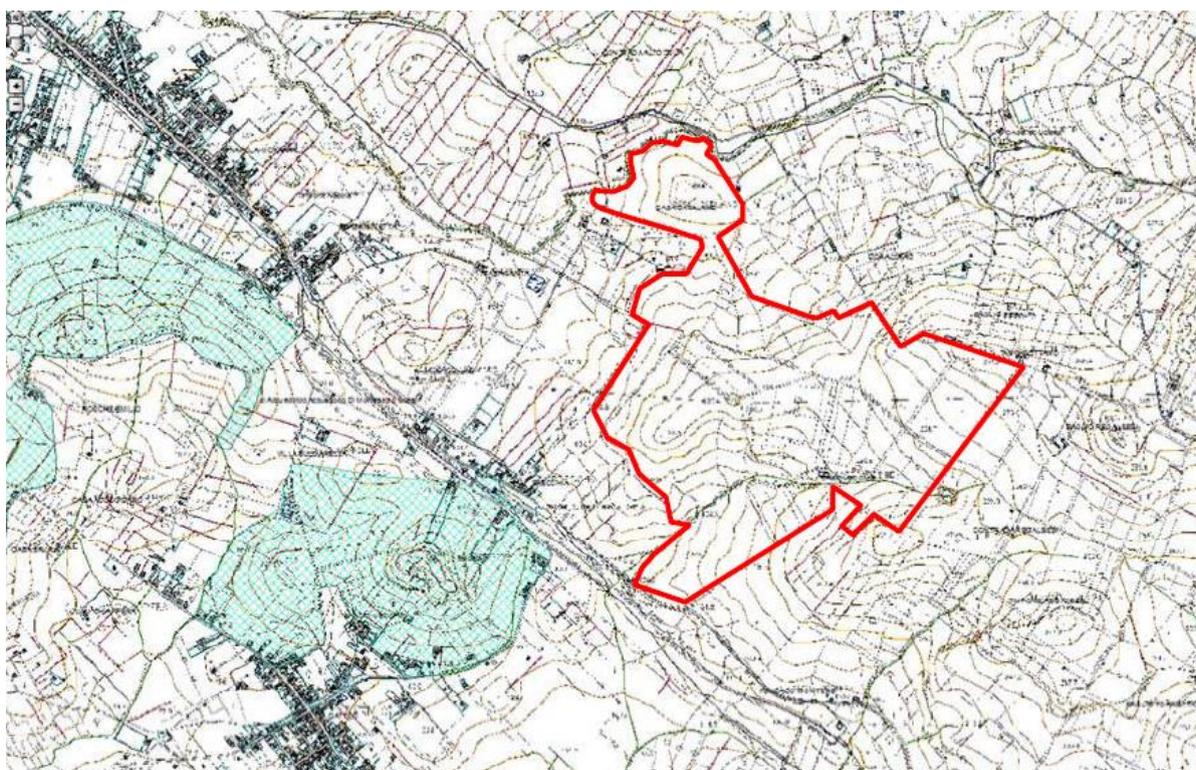


Figura 5 – Carta del vincolo idrogeologico

Con il Piano per l'Assetto Idrogeologico è stata avviata, nella Regione Siciliana, la pianificazione di bacino, intesa come lo strumento fondamentale della politica di assetto territoriale delineata dalla legge 183/89, della quale ne costituisce il primo stralcio tematico e funzionale. Il P.A.I. ha valore di Piano Territoriale di Settore ed è lo strumento conoscitivo, normativo e tecnico-operativo mediante il quale sono pianificate e programmate le azioni, gli interventi e le norme d'uso riguardanti la difesa dal rischio idrogeologico del territorio siciliano. Dal rilevamento geologico e dalle consultazioni delle carte del PAI Sicilia si evince che l'area indagata appartiene al bacino idrografico del fiume **Lenzi-Baiata** e, nello specifico, dove saranno disposti i moduli fotovoltaici, non è classificata ad alto rischio idrogeologico e gli interventi, di modesta entità, non andranno a modificare l'attuale equilibrio idrogeologico non rientra in nessun rischio o pericolosità da frana e/o idraulico.

PERICOLOSITA' GEOMORFOLOGICA	AREA NON A PERICOLOSITA' E RISCHIO GEOMORFOLOGICO
CARTA GEOMORFOLOGICA DEI DISSESTI	AREA NON PERIMETRATA
PERICOLOSITA' IDRAULICA	AREA NON PERIMETRATA
RISCHIO IDRAULICO	AREA NON A RISCHIO IDRAULICO
SITI DI ATTENZIONE IDRAULICA	AREA NON PERIMETRATA
ESONDAZIONE IDRAULICA	AREA NON PERIMETRATA

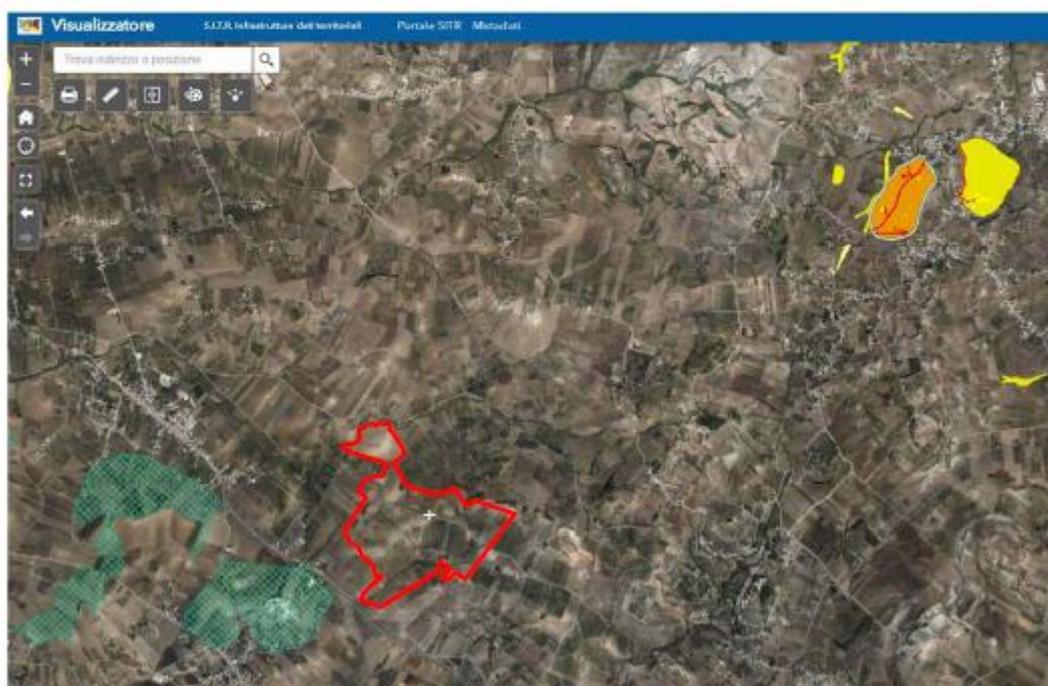


Figura 6 – Vincolo idrogeologico e pericolosità idraulica (fonte: Visualizzatore SITR)

Le caratteristiche geomeccaniche e sismiche del sito sono state ottenute grazie a n.8 sondaggi penetrometrici dinamici DPSH entro cui sono stati prelevati n.2 campioni di terreno per le analisi da laboratorio e n.2 prospezioni sismiche M.A.S.W. per la caratterizzazione sismica dei terreni (NTC2018).

I sondaggi penetrometrici DPSH sono stati spinti fino a un massimo di circa 4.00 metri di profondità rispetto al piano campagna. La prova penetrometrica dinamica consiste nell'infingere nel terreno una punta conica (per tratti consecutivi) misurando il numero di colpi N necessari. La loro elaborazione, interpretazione e visualizzazione grafica consente di "catalogare e parametrizzare" il suolo attraversato con un'immagine in continuo che permette anche di avere un raffronto sulle consistenze dei vari livelli attraversati.

L'interpretazione delle prove penetrometriche ha permesso di individuare, dunque, nell'ambito del volume di terreno investigato (volume significativo), un profilo litostratigrafico aventi le seguenti caratteristiche:

<u>STRATO 1 0,40 – 0.20</u>	Coltre pedologica argillosa (terreno vegetale)
<u>STRATO 2 0,20 – 7.00</u>	Limo argilloso sabbioso marrone consistente con intercalazioni arenacee, marnose o calcarenitiche nei primi metri o a volte prossimi al piano campagna

Per la caratterizzazione geotecnica dei terreni, il profilo penetrometrico è stato suddiviso in tratti a carattere omogenei distinti e, per ciascun tratto, sono state valutate le rispettive caratteristiche fisico-meccaniche valutando i parametri desunti dall'elaborazione dei dati acquisiti.

Durante i sondaggi i clasti rocciosi hanno mostrato numeri di colpi elevati, ma sono stati esclusi nella media stratigrafia NSPT. L'analisi ed il confronto dei dati così conseguiti, dalla campagna geognostica, hanno permesso, in particolare, di delineare l'assetto geologico strutturale dell'area, le varie successioni litostratigrafiche e le condizioni fisico-meccaniche dei terreni nell'ambito geomorfologico significativo. Analizzando i dati desunti dai sondaggi, le analisi di laboratorio, accorpando terreni con simili caratteristiche litologiche e geomeccaniche, sono stati individuati i principali strati rappresentanti il volume geotecnico del sottosuolo relativo all'area oggetto dei lavori. La tabella seguente rappresenta un modello geotecnico dove sono stati inseriti i dati delle analisi di laboratorio effettuati sui campioni prelevati e i valori minimi riscontrati in tutti i sondaggi effettuati.

STRATO	Spessore (m)	Gam [t/m ³]	Gams [t/m ³]	Fi [°]	c [Kg/cm ²]	cu [Kg/cm ²]	Ey [Kg/cm ²]	Ed [Kg/cm ²]	Ni
1	0.20	1.52	1.85	22	0.06	0.09	14.80	16.89	0.44
2	6.20	1.39	1.52	25.55	0.13	0.31	49.00	51.77	0.35

(in rosso corrispondono i dati elaborati del laboratorio geotecnico) – certificato del laboratorio in allegato.

DH: Spessore dello strato; Gam: Peso unità di volume; Gams: Peso unità di volume saturo; Fi: Angolo di attrito; c: Coesione drenata; Ey: Modulo Elastico; Ed: Modulo Edometrico; Ni: Poisson; cu: Coesione non drenata.

Il territorio nazionale è suddiviso in aree caratterizzate da un comune rischio sismico; tale classificazione è rimasta esclusivamente per aspetti statistici e amministrativi. Con la normativa entrata in vigore nel 2009 (NTC08), all'indomani del terremoto che interessò la città dell'Aquila, ai fini della progettazione antisismica, si usa una nuova metodologia di calcolo basata su un approccio statistico puntiforme, secondo cui ogni punto del territorio è caratterizzato da un preciso valore di accelerazione al suolo (PGA o Accelerazione di picco al suolo) in funzione di un tempo di ritorno (ossia un valore probabilistico).

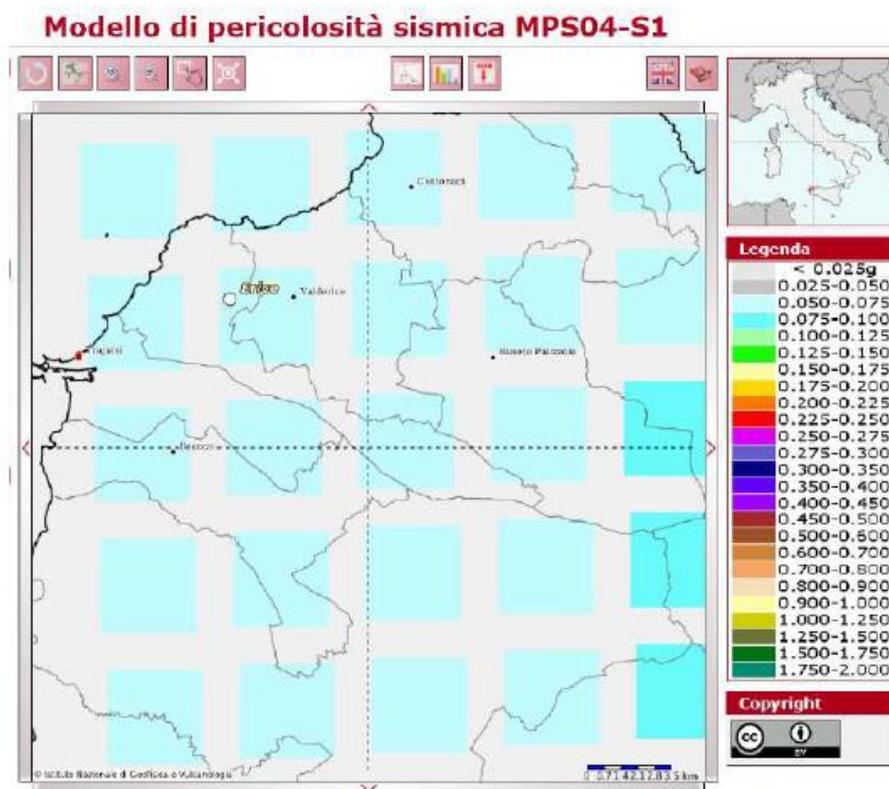
In tale ottica, si individuano 4 zone sismiche caratterizzati da valori di PGA differenti:

- **Zona 1:** sismicità **alta** (PGA oltre 0,25 g);
- **Zona 2:** sismicità **medio-alta** (PGA fra 0,15 e 0,25 g);
- **Zona 3:** sismicità **medio-bassa** (PGA fra 0,05 e 0,15 g);
- **Zona 4:** sismicità **bassa** (PGA inferiore a 0,05 g).

Il territorio comunale di Erice (TP) ricade in zona sismica (nuova classificazione) "zona 2" così come risulta dalla carta della macrozonazione sismica indicata nell'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274/2003.

ZONA SISMICA 2 ag=0.25g	Zona con pericolosità sismica media dove possono verificarsi forti terremoti
--	---

I criteri per l'aggiornamento della mappa di **pericolosità sismica** sono stati definiti nell'Ordinanza del PCM n. 3519/2006, che ha suddiviso l'intero territorio nazionale in quattro zone sismiche sulla base del valore dell'**accelerazione orizzontale massima (ag)** su suolo rigido o pianeggiante, che ha una probabilità del 10% di essere superata in 50 anni. La stima della pericolosità sismica, intesa come accelerazione massima orizzontale su suolo rigido ($V_{s30} > 800$ m/s), viene definita mediante un approccio "sito dipendente" e non più tramite un criterio "zona dipendente". La mappa del territorio nazionale per la pericolosità sismica, disponibile on-line sul sito dell'INGV di Milano, redatta secondo le Norme Tecniche per le Costruzioni, indica che il territorio comunale di Erice (TP) rientra nelle celle contraddistinte da valori di a_g di riferimento compresi tra 0.050 e 0.075 (punti della griglia riferiti a: parametro dello scuotimento a_g ; probabilità in 50 anni 10%; percentile 50).



Mapa di pericolosità sismica redatta a cura dell'INGV di Milano secondo le Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni - Punti della griglia riferiti a: parametro dello scuotimento a_g ; probabilità in 50 anni 10%; percentile 50.

Figura 7 – Mappa di pericolosità sismica

La pericolosità sismica è definita in termini di accelerazione orizzontale massima attesa a_g in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale, nonché di ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente $S_c(T)$, con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza P_{vr} , nel periodo di riferimento V_r .

In alternativa è ammesso l'uso di accelerogrammi, purché correttamente commisurati alla pericolosità sismica del sito. Ai fini della presente normativa le forme spettrali sono definite, per ciascuna delle probabilità di superamento nel periodo di riferimento P_{vr} , a partire dai valori dei seguenti parametri su sito di riferimento rigido orizzontale:

- a_g : accelerazione orizzontale massima al sito;
- F_0 : valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- T_c : periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

Per la determinazione della categoria di sottosuolo è stata elaborata la sismografia dello stendimento sismico M.A.S.W. effettuato in sito, la quale, risulta che il substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da V_s superiore a 800 m/s, è posto ad una profondità superiore a 30 metri, per cui, è stato determinato il parametro velocità $V_{S,30}$ il cui valore ha classificato in categoria C il suolo di interesse (NTC 2018).

Categoria di suolo	Caratteristiche della superficie topografica
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi</i> caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti</i> , caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.
C	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti</i> con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.
D	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti</i> , con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.
E	<i>Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D</i> , con profondità del substrato non superiore a 30 m.

Categoria topografica T1 = Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$.

6. 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: **S275 JR 275 MPa**

Tensione caratteristica di rottura: **430 Mpa**

Modulo Elastico: **E = 210.000 Mpa**

Coefficiente di Poisson: **U = 0.3**

Coefficiente di Dilatazione Tecnica: **$\alpha = 1.2 \cdot 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$**

Densità: **$\rho = 7850 \text{ kg/m}^3$**

7. Analisi dei carichi

I carichi sono funzione della tipologia costruttiva, oltre che dell'azione del vento e della neve.

7.1 Carichi permanenti

Si considera il peso proprio di un pannello fotovoltaico adottato in fornitura pari a $0,109 \text{ kN/m}^2$.

7.2 Carichi variabili

7.2.1 Neve

Il carico provocato dalla neve sulle coperture sarà valutato mediante la seguente espressione:

$$q_s = \mu_i \cdot q_{s1} \cdot C_E \cdot C_t$$

dove:

q_s è il carico neve sulla copertura;

μ_i è il coefficiente di forma della copertura, fornito al successivo § 3.4.5;

q_{s1} è il valore caratteristico di riferimento del carico neve al suolo [kN/m^2], fornito al successivo § 3.4.2 per un periodo di ritorno di 50 anni;

C_E è il coefficiente di esposizione di cui al § 3.4.3;

C_t è il coefficiente termico di cui al § 3.4.4.

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

Considerando che:

- Il comune di Erice, appartenente alla provincia di Trapani, ricade in zona III
- Il sito è posto a quota media pari a $220 \text{ m} > 200 \text{ m s.l.m.}$
- Il coefficiente di esposizione pari a 1,0 (zona con classe di esposizione *normale*)
- Il coefficiente di forma pari a 0,8 (pendenza $< 30^\circ$)
- Coefficiente termico $C_t = 1,0$ per le tipologie di attività svolte

In definitiva:

Zona III

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

$$\begin{aligned} q_{sk} &= 0,60 \text{ kN/m}^2 & a_s &\leq 200 \text{ m} \\ q_{sk} &= 0,51 [1 + (a_s/481)^2] \text{ kN/m}^2 & a_s &> 200 \text{ m} \end{aligned} \quad [3.4.5]$$

$$q_{sk} = 0,62 \text{ kN/m}^2$$

$$q_s = 0,62 \times 0,8 \times 1,0 = 0,49 \text{ kN/m}^2$$

7.2.2 Vento

La pressione del vento, secondo il DM 17.01.18 al punto 3.3.4, è data dall'espressione:

$$p = q_b C_e C_p C_d$$

dove

q_b è la pressione cinetica di riferimento;

C_e è il coefficiente di esposizione;

C_p è il coefficiente di forma (o coefficiente aerodinamico), funzione della tipologia e della geometria della costruzione e del suo orientamento rispetto alla direzione del vento;

C_d è il coefficiente dinamico con cui si tiene conto degli effetti riduttivi associati alla non contemporaneità delle massime pressioni locali e degli effetti amplificativi dovuti alle vibrazioni strutturali.

Considerando che la struttura del tracker può essere assimilata a quella di una tettoia a falda singola si fa riferimento al C3.3.8.2.1 della circolare 7/2019.

I valori dei coefficienti di forza sono espressi in funzione del grado di bloccaggio che nella fattispecie, trattandosi di una serie di moduli posti a distanza seppur ravvicinata ma sufficiente a creare le condizioni di passaggio della raffica.

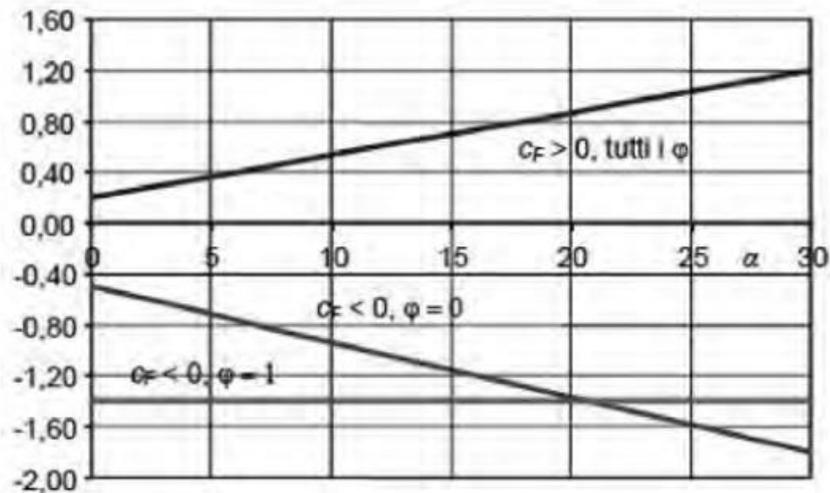


Figura C3.3.21 - Coefficienti di pressione compressiva per tettoie a semplice falda

Tabella C3.3.XV - Coefficienti di forza per tettoie a semplice falda (α in $^\circ$).

Valori positivi	Tutti i valori di φ	$c_F = +0,2 + \alpha/30$
Valori negativi	$\varphi = 0$	$c_F = -0,5 - 1,3\alpha/30$
	$\varphi = 1$	$c_F = -1,4$

$\phi = 0$

Da cui, per $\alpha=55^\circ$

$$C_p = -0,5 - 1,3 \cdot \alpha / 30 = -2,88$$

$$C_p = +0,2 + \alpha / 30 = +2,03$$

Per quanto riguarda il coefficiente di esposizione C_e , questo dipende dall'altezza z sul suolo del punto considerato, dalla topografia del terreno e dalla categoria di esposizione del sito ove sorge la costruzione; tale coefficiente può essere calcolato come segue:

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

$$c_e(z) = c_e(z_{\min}) \quad \text{per } z < z_{\min} \quad [3.3.7]$$

dove

k_t, z_0, z_{\min} sono assegnati in Tab. 3.3.II in funzione della categoria di esposizione del sito ove sorge la costruzione;

c_t è il coefficiente di topografia.

Tab. 3.3.II - Parametri per la definizione del coefficiente di esposizione

Categoria di esposizione del sito	K_t	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 determinare la categoria di esposizione del sito, si consideri che la Sicilia ricade in zona 4 e, nella fattispecie del progetto in esame, il sito dista dalla costa 14 km. Considerando inoltre una classe di rugosità del terreno pari a C (aree con ostacoli diffusi) ed un'altezza sul livello del mare di 220 m, la categoria di esposizione è la III.

ZONE 1,2,3,4,5						
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						

Essendo $z > z_{min}$ il coefficiente di esposizione sarà pari a:

$$C_e = 4,52$$

La pressione cinetica di riferimento q_b è pari a:

$$q_b = 1/2 * \rho * v_r^2 = 1/2 * \rho * (v_b * c_r)^2 = 1/2 * 1,25 * 28^2 = 490 \text{ N/m}^2$$

per cui la pressione del vento sarà pari a:

$$p = 490 * (-2,88) * 4,52 = -6,38 \text{ kN/m}^2 \text{ (ribaltante)}$$

$$p = 490 * (+2,03) * 4,52 = +4,49 \text{ kN/m}^2 \text{ (compressione)}$$

8. Verifiche

Di seguito si riporta la verifica di infissione del palo.

- Infissione Palo

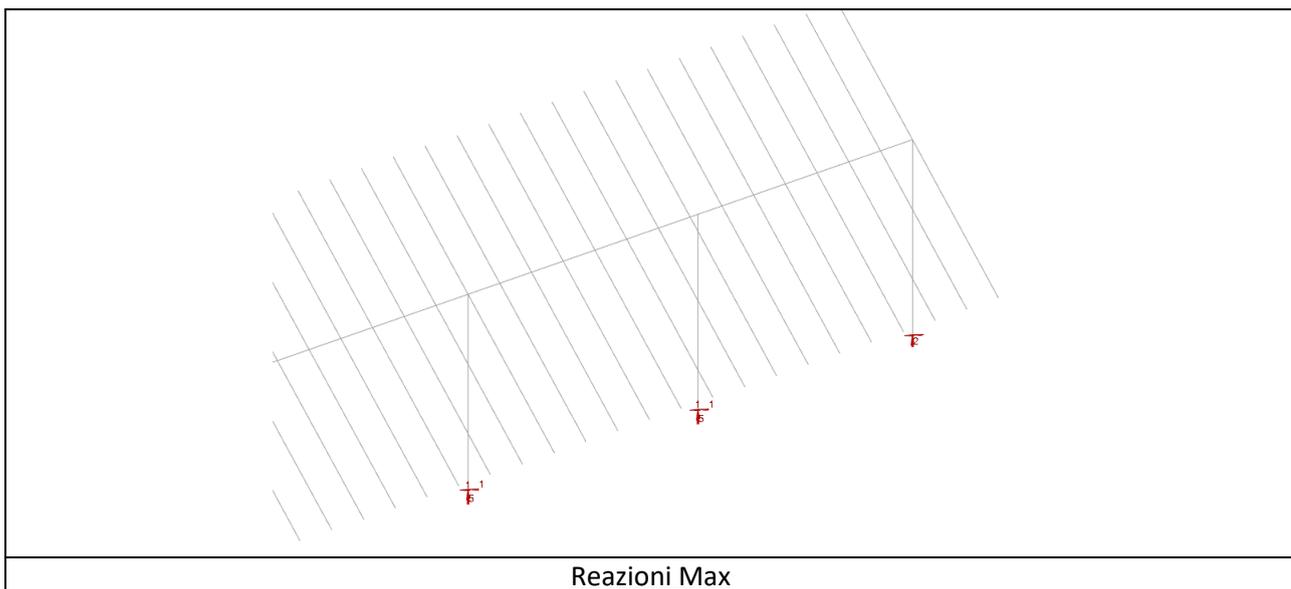
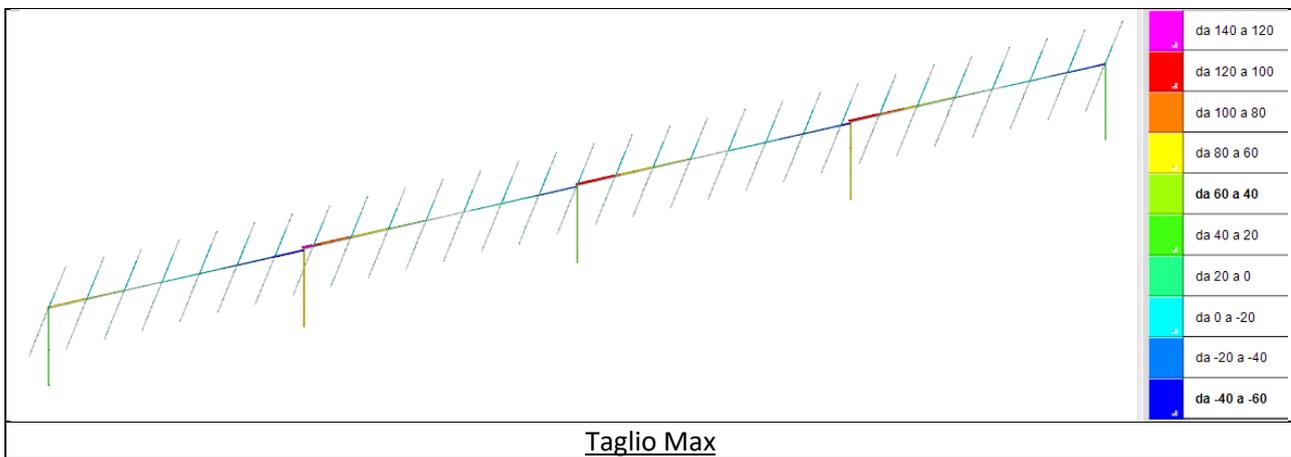
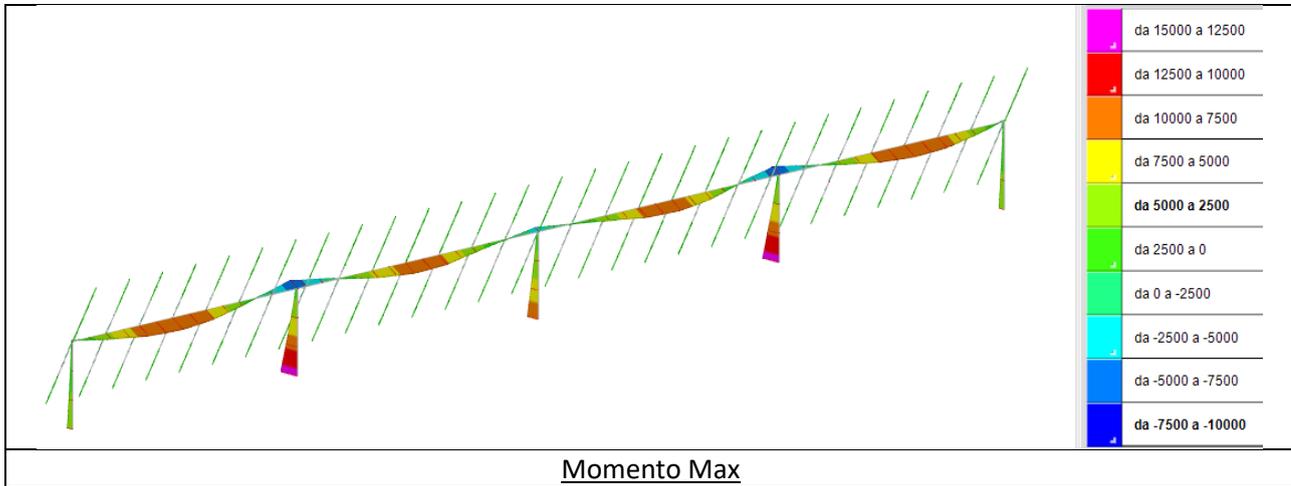
		$\tau_s = \sigma_h \cdot \tan \delta = K \cdot \sigma_{v0} \cdot \tan \delta = \beta \cdot \sigma_{v0}$									
<p>Tabella 17.7 - Profondità critica, Z_c, in funzione dello stato di addensamento della sabbia</p>		<p>L'applicazione dell'Eq. (17.7) per il calcolo delle tensioni tangenziali d'attrito di un palo in terreno sabbioso porta ad assumere una crescita lineare di τ_s con la tensione verticale efficace, e quindi con la profondità, che non è in realtà verificata. Probabilmente a causa di fenomeni d'arco (<i>effetto silo</i>), la tensione efficace orizzontale nel terreno a contatto con il palo σ'_h, e quindi anche τ_s, crescono meno che linearmente con la profondità e tendono a stabilizzarsi ad una profondità critica dipendente dal diametro del palo e dallo stato di addensamento del terreno (Tabella 17.7).</p>									
<p>Stato di addensamento Z_c/D</p> <table border="1"> <tr><td>Sabbia molto sciolta</td><td>7</td></tr> <tr><td>Sabbia sciolta</td><td>10</td></tr> <tr><td>Sabbia media</td><td>14</td></tr> <tr><td>Sabbia densa</td><td>16</td></tr> <tr><td>Sabbia molto densa</td><td>20</td></tr> </table>			Sabbia molto sciolta	7	Sabbia sciolta	10	Sabbia media	14	Sabbia densa	16	Sabbia molto densa
Sabbia molto sciolta	7										
Sabbia sciolta	10										
Sabbia media	14										
Sabbia densa	16										
Sabbia molto densa	20										

METODO β - TERRENI INCOERENTI - PALO ACCIAIO BATTUTO		UTENTE AUTOMATICO
$\tau_s = K \cdot \sigma'_{v0} \cdot \tan \delta = 13,1 \text{ kN/m}^2$		
	1	36,375 0,36
Z_c	2,8 m	
γ	14,55 kN/m ³	$T_d = 26,19 \text{ kN}$
Diametro (D)	0,2 m	
Z_c/D	14	
H palo	2,5 m	

Tabella 17.6: Valori di K e di $\tan \delta$ per pali di medio diametro in terreno incoerente

Tipo di palo	Valori di K		Valori di $\tan \delta$	
	per stato di addensamento sciolto	denso		
Battuto	profilato in acciaio	0.7	1.0	$\tan 20^\circ = 0.36$
	tubo d'acciaio chiuso	1.0	2.0	
	cls. prefabbricato	1.0	2.0	$\tan(0.75\phi')$
	cls. gettato in opera	1.0	3.0	$\tan \phi'$
	trivellato	0.4	0.5	$\tan \phi'$
	trivellato-pressato con elica continua	0.7	0.9	$\tan \phi'$

9. Sintesi sollecitazioni



DEVELOPMENT



MR WIND S.r.l.
Via Alessandro Manzoni n. 31 – 84091 Battipaglia (SA)
www.mrwind.it www.mrwind.eu info@mrwind.it