

ISTANZA VIA
Presentata al
Ministero della Transizione Ecologica
e al Ministero della Cultura
(art. 23 del D. Lgs 152/2006 e ss. mm. ii)

PROGETTO

IMPIANTO FOTOVOLTAICO A TERRA (AGRIVOLTAICO)
COLLEGATO ALLA RTN
POTENZA NOMINALE (DC) 21,75 MWp
POTENZA IN IMMISSIONE (AC) 19,40 MW
Comune di Librizzi (ME)

RELAZIONE CALCOLO PRELIMINARE STRUTTURE E FONDAZIONI

22-00074-IT-LIBRIZZI_CV-R01




PROPONENTE:

LIGHTSOURCE RENEWABLE ENERGY ITALY SPV 11 S.R.L.
Via Giacomo Leopardi, 7 – CAP 20123 Milano (MI)
P. IVA e C.F. 11415380960 – REA MI - 2600904

PROGETTISTA:





ING. LEONARDO SBLENDIDO
Iscritto all' Ordine degli Ingegneri di Cosenza al n. 1947 Sez. A

Data	Rev.	Tipo revisione	Redatto	Verificato	Approvato
11/2022	0	Prima Emissione	LS	GC	G. Mascari

 	IMPIANTO FOTOVOLTAICO A TERRA (AGRIVOLTAICO) COLLEGATO ALLA RTN POTENZA NOMINALE (DC) 21,75 MWP POTENZA IN IMMISSIONE (AC) 19,40 MW Comune di Librizzi (ME)	Rev.	0
	22-00074-IT-LIBRIZZI_CV-R01 Relazione calcolo preliminare strutture e fondazioni	Pag.	2 di 40

INDICE

1	GENERALITÀ.....	3
1.1	Descrizione generale dell'impianto.....	3
1.2	Inquadramento territoriale.....	4
1.3	Strutture porta moduli	5
1.4	Cabine elettriche	7
2	QUALITÀ DEI MATERIALI.....	9
2.1	Strutture metalliche porta moduli	9
2.2	Strutture di fondazione.....	10
3	NORMATIVA E RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI.....	11
4	ANALISI GEOTECNICA DEL SITO.....	12
5	ANALISI DEI CARICHI E AZIONI SULLE STRUTTURE.....	16
5.1	Peso proprio.....	17
5.1.1	<i>Strutture porta moduli</i>	<i>17</i>
5.1.2	<i>Cabine.....</i>	<i>17</i>
5.2	Carico neve.....	17
5.3	Carico da vento	19
5.4	Azione sismica	20
5.5	Combinazione delle azioni.....	24
6	MODELLO DI CALCOLO STRUTTURA PORTA MODULI	25
6.1	Origine e caratteristiche dei codici di calcolo.....	25
6.2	Sollecitazioni sulla struttura.....	26
6.3	Verifiche strutturali	28
6.4	Verifica infissione pilastri.....	29
7	MODELLO DI CALCOLO FONDAZIONI CABINE.....	34
7.1	Carichi e combinazione delle azioni	35
7.2	Teoria di calcolo.....	36
7.3	Tensioni agenti al suolo	37
7.4	Verifica della portanza	38
7.5	Cedimenti attesi	39

  	IMPIANTO FOTOVOLTAICO A TERRA (AGRIVOLTAICO) COLLEGATO ALLA RTN POTENZA NOMINALE (DC) 21,75 MWp POTENZA IN IMMISSIONE (AC) 19,40 MW Comune di Librizzi (ME)	Rev.	0
	22-00074-IT-LIBRIZZI_CV-R01 Relazione calcolo preliminare strutture e fondazioni	Pag.	3 di 40

1 GENERALITÀ

Il progetto in esame è relativo alla realizzazione e messa in esercizio di un impianto agrivoltaico, per la generazione di energia elettrica, comprensivo delle opere di connessione, proposto da Lightsource Renewable Energy Italy SPV 11 S.R.L., nei territori comunali di Librizzi (ME) e Patti (ME) in Sicilia, per una potenza nominale installata pari a 21,751 MWp ed una potenza in immissione pari a 19,4 MW.

L'energia elettrica prodotta sarà convogliata, dall'impianto agrivoltaico, mediante cavi interrati in media tensione fino alla sottostazione elettrica di trasformazione esistente "Minerva", situata nel comune di Patti (ME), in adiacenza alla SE elettrica di Patti. All'interno della sottostazione elettrica esistente è prevista la realizzazione di un nuovo stallo di trasformazione MT/AT e di una nuova cabina MT.





1.1 Descrizione generale dell'impianto

L'impianto complessivo ha una potenza DC nominale di 21,75 MWp e una potenza nominale AC complessiva di 19,4 MW con rapporto DC/AC 1,12.

L'energia dell'impianto complessivo è derivante da 35.952 moduli che occupano una superficie fotovoltaica di 100.497 m² ed è composto da 97 gruppi di conversione SUN2000-215KTL-H0 che convertono la potenza DC in AC in campo e 8 cabine di trasformazione da 3.150 kVA.

L'energia sarà convogliata dalle singole Power Station attraverso cavi in media tensione fino ad un'unica cabina di raccolta MT dalla quale si svilupperà un cavidotto MT 30 kV di lunghezza pari a circa 6,4 km verso la nuova cabina collocata all'interno della Sottostazione Elettrica Utente "Minerva" nella quale è previsto l'allestimento di un nuovo stallo di trasformazione MT/AT.

Dati tecnici Impianto	
Superficie totale moduli	100.497 m ²
Numero totale moduli	35.952
Tipo di modulo	605Wp, tipo JKM605N-78HL4-BDV bifacciale
Potenza DC impianto	21,75 MWp
Potenza AC impianto	19,40
DC/AC	1,12
Struttura di sostegno moduli fotovoltaici tipo 1	N.86 – Tracker monoassiale 2x12

  	IMPIANTO FOTOVOLTAICO A TERRA (AGRIVOLTAICO) COLLEGATO ALLA RTN POTENZA NOMINALE (DC) 21,75 MWP POTENZA IN IMMISSIONE (AC) 19,40 MW Comune di Librizzi (ME)	Rev.	0
	22-00074-IT-LIBRIZZI_CV-R01 Relazione calcolo preliminare strutture e fondazioni	Pag.	4 di 40

Dati tecnici Impianto	
Struttura di sostegno moduli fotovoltaici tipo 2	N. 706 – tracker monoassiale 2x24
Asse principale struttura	Nord-Sud
Numero di string inverter	97
Potenza string inverter	200 kWac
N° Transformation cabin da 3150kVA (Power Station)	8

Tabella 1 – Scheda Tecnica dell’impianto




Moduli fotovoltaici: I moduli fotovoltaici considerati sono in silicio monocristallino bifacciale da 156 (2x78) celle e potenza 605W ed efficienza fino a 21.64% con performance lineare garantita 30 anni. I moduli sono provvisti di cornice in lega di alluminio anodizzato. Dimensioni 2465x1134x30mm, peso 34,6kg.

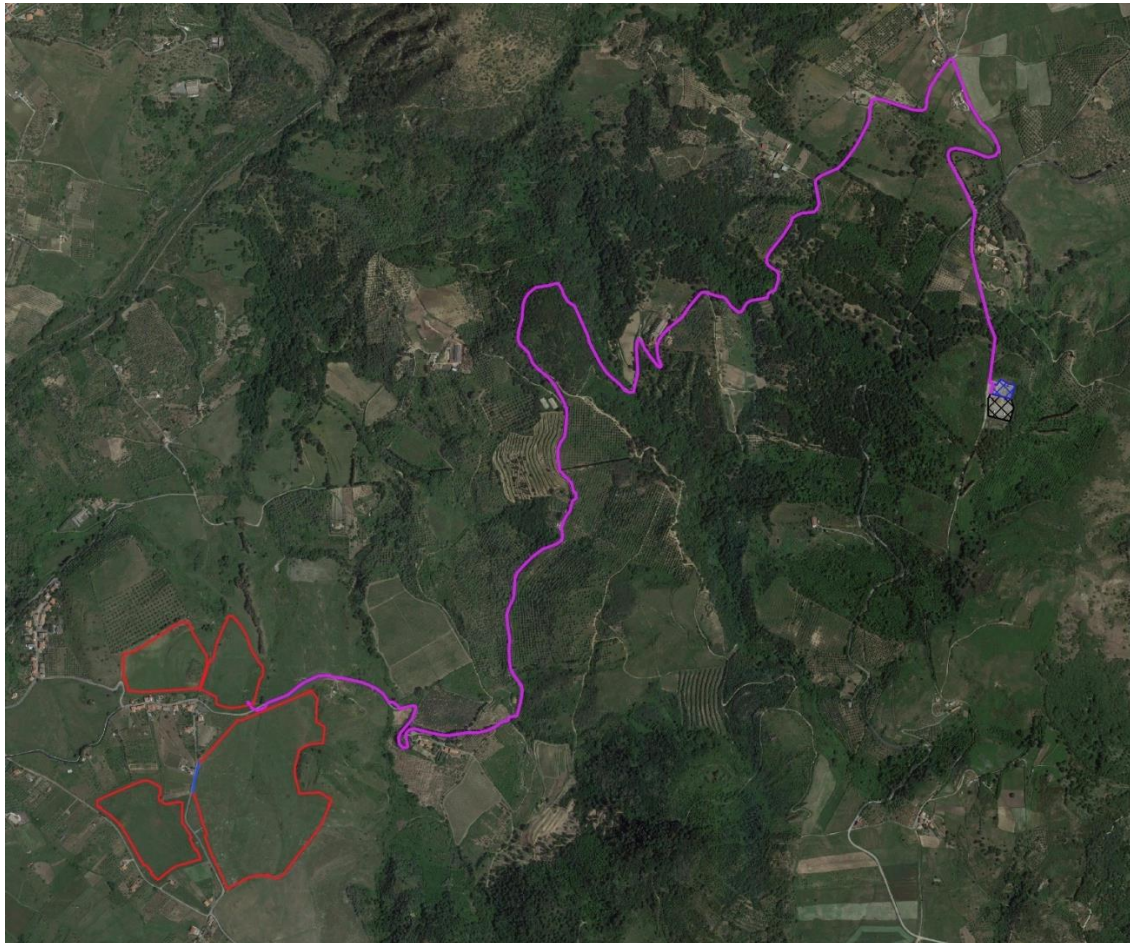
1.2 Inquadramento territoriale

L’area del sito è individuabile sulla Cartografia IGM in scala 1:25.000:

- Foglio 599-II – San Piero Patti
- Foglio 600-III - Montalbano Elicona

Il layout di progetto è sviluppato nella configurazione così come illustrata nell’inquadramento su base satellitare riportato di seguito:

 	<p align="center">IMPIANTO FOTOVOLTAICO A TERRA (AGRIVOLTAICO) COLLEGATO ALLA RTN POTENZA NOMINALE (DC) 21,75 MWP POTENZA IN IMMISSIONE (AC) 19,40 MW Comune di Librizzi (ME)</p>	<p align="center">Rev. 0</p>	
	<p align="center">22-00074-IT-LIBRIZZI_CV-R01 Relazione calcolo preliminare strutture e fondazioni</p>	<p align="center">Pag.</p>	<p align="center">5 di 40</p>












-  Adeguamento recinzione esistente
-  Cavidotto MT 30 kV
-  Recinzione di progetto
-  SSE Minerva esistente
-  STAZIONE ELETTRICA DI PATTI(ME) esistente

Figura 1 Inquadramento su base satellitare dell'area di impianto e delle relative opere di connessione

1.3 Strutture porta moduli

I moduli fotovoltaici considerati sono in silicio monocristallino monofacciale da 132 celle e potenza 665W ed efficienza fino a 21.4% con performance lineare garantita 25 anni. I moduli sono provvisti di cornice in alluminio. Le caratteristiche del singolo modulo sono: 2384x1303x35 mm, peso 35.7kg. I moduli fotovoltaici sono montati su strutture monoassiali ad inseguimento solare dette tracker, aventi asse principale posizionato nella direzione Nord-Sud e caratterizzate da un angolo di

  	IMPIANTO FOTOVOLTAICO A TERRA (AGRIVOLTAICO) COLLEGATO ALLA RTN POTENZA NOMINALE (DC) 21,75 MWP POTENZA IN IMMISSIONE (AC) 19,40 MW Comune di Librizzi (ME)	Rev.	0
	22-00074-IT-LIBRIZZI_CV-R01 Relazione calcolo preliminare strutture e fondazioni	Pag.	6 di 40

rotazione pari a +60° e a -60°. Nella configurazione elettrica di progetto si prevede l'installazione di una tipologia di vela fotovoltaiche con orientamento verticale dei moduli (Portrait):

Vela grande

- Dimensioni vela fotovoltaica (2x24) di dimensioni reali in pianta 5.13 m x 28.052 m, altezza minima 0.601m ed altezza massima 4.903m, che consentirà l'installazione di 48 moduli che costituiranno 2 stringhe da 24 moduli ciascuna;
- 9 pilastri IPEA 180 di lunghezza paria 4.73m, 2.73 m fuori terra e 2.0 m infissi nel suolo
- 4 travi scatolari 150 x 150 x 4mm
- 8 teste di palo che fungono da cerniere per permettere la rotazione dei moduli
- 1 testa di palo con motore (CA elettrico lineare – attuatore – mandrino)
- 1 quadro elettrico per gestire la rotazione del tracker (un quadro può essere a servizio di più strutture)



Vela piccola

- Dimensioni vela fotovoltaica (2x12) di dimensioni reali in pianta 5.13 m x 14.207 m, altezza minima 0.601m ed altezza massima 4.903m, che consentirà l'installazione di 24 moduli che costituiranno 2 stringhe da 12 moduli ciascuna;
- 5 pilastri IPEA 180 di lunghezza paria 4.73m, 2.73 m fuori terra e 2.0 m infissi nel suolo
- 2 travi scatolari 150 x 150 x 4mm
- 4 teste di palo che fungono da cerniere per permettere la rotazione dei moduli
- 1 testa di palo con motore (CA elettrico lineare – attuatore – mandrino)
- 1 quadro elettrico per gestire la rotazione del tracker (un quadro può essere a servizio di più strutture)

Ogni tracker utilizza dispositivi elettrici, elettromeccanici ed elettronici per seguire il sole nella sua traiettoria da Est verso Ovest. Il sistema backtracking controlla e assicura che i moduli presenti sui tracker non siano responsabili di mutuo ombreggiamento.

Relativamente all'impianto è prevista l'installazione di 706 strutture grandi (2x24) e 86 strutture piccole (2x12).

La struttura della vela fotovoltaica del tipo infissa sarà costituita da profilati in acciaio S275 zincato con classe di corrosività C5-H (classe di corrosività C5 e durabilità alta). L'altezza della struttura nella configurazione della rotazione massima, risulta essere pari a 4,182 m rispetto al piano campagna.

	<p align="center">IMPIANTO FOTOVOLTAICO A TERRA (AGRIVOLTAICO) COLLEGATO ALLA RTN POTENZA NOMINALE (DC) 21,75 MWP POTENZA IN IMMISSIONE (AC) 19,40 MW Comune di Librizzi (ME)</p>	<p align="center">Rev.</p>	<p align="center">0</p>
	<p align="center">22-00074-IT-LIBRIZZI_CV-R01 Relazione calcolo preliminare strutture e fondazioni</p>	<p align="center">Pag.</p>	<p align="center">7 di 40</p>

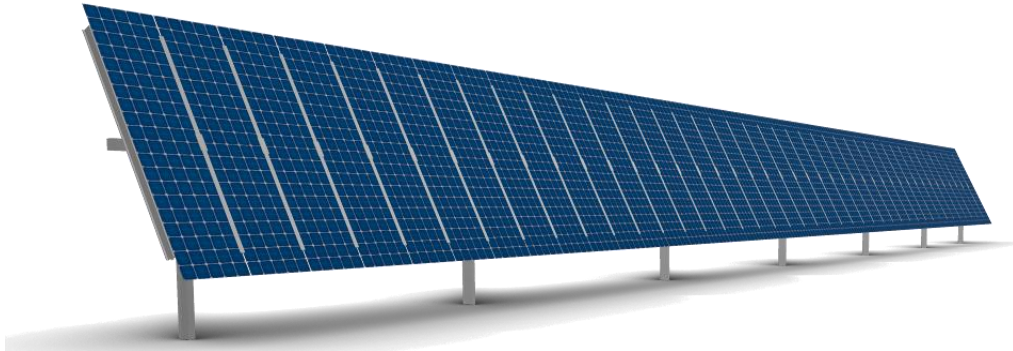


Figura 2: Tipologico struttura tracker




In fase preliminare si ipotizza di installare le strutture infiggendo i pilastri direttamente al suolo e si è verificata la portanza del terreno correlata alle azioni massime trasmessa dai tracker. In fase di progettazione esecutiva, a valle di indagini geotecniche accurate e pullout-tests sarà possibile definire in maniera dettagliata le capacità del suolo e la scelta progettuale. Nei casi in cui gli strati superficiali di terreno non garantiscano caratteristiche meccaniche sufficienti per supportare la struttura con pali direttamente infissi si opterà per l'utilizzo di zavorre in calcestruzzo, come opera di fondazione o, in alternativa, si procederà con la tecnica del pre-drilling, vale a dire; verrà eseguito un foro e riempito con suoli a grana grossa che hanno caratteristiche meccaniche sufficienti ad assorbire il carico proveniente dalle strutture e ridistribuirlo al suolo esistente.

1.4 Cabine elettriche

All'interno dell'impianto verranno installate 9 cabine di trasformazione, 1 Cabina destinata agli uffici, una cabina destinata al magazzino ed una cabina di raccolta cavi.

Le cabine saranno totalmente prefabbricate e montate in opera, le lavorazioni da eseguire in cantiere si limiteranno alle strutture di fondazione che saranno realizzate mediante piastre in cemento armato realizzato in opera. Le cabine presenteranno una notevole rigidità strutturale ed una grande resistenza agli agenti esterni atmosferici che le renderanno adatte all'uso anche in ambienti con atmosfera inquinata ed aggressiva.

Le cabine di trasformazione sono composte da un container in acciaio nel quale sono allocate tutte le apparecchiature elettromeccaniche, si mostrano in immagine le caratteristiche tecniche.

 	IMPIANTO FOTOVOLTAICO A TERRA (AGRIVOLTAICO) COLLEGATO ALLA RTN POTENZA NOMINALE (DC) 21,75 MWP POTENZA IN IMMISSIONE (AC) 19,40 MW Comune di Librizzi (ME)	Rev. 0	
	22-00074-IT-LIBRIZZI_CV-R01 Relazione calcolo preliminare strutture e fondazioni	Pag.	8 di 40

General	
Dimensions (W x H x D)	6,058 x 2,896 x 2,438 mm (20' HC Container)
Weight	< 22 t (48,502 lb.)
Operating Temperature Range	-25°C ~ 60°C ⁴ (-13°F ~ 140°F)
Relative Humidity	0% ~ 95%
Max. Operating Altitude	2,000 m (6,562 ft.)
Enclosure Color	RAL 9003
Communication	Modbus-RTU, Preconfigured with Smartlogger3000B
Applicable Standards	IEC 62271-202, EN 50588-1, IEC 60076, IEC 62271-200, IEC 61439-1

Smart Transformer Station

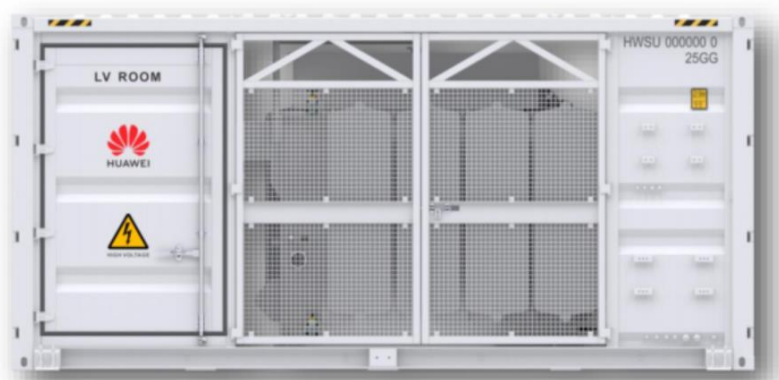


Figura 3: Cabine di trasformazione

Le cabine uffici e magazzino saranno totalmente prefabbricate in c.a.v. ed avranno dimensioni esterne 6m x 2.5 m x 2.7 m (ufficio) e 12m x 5m x 2.7m (magazzino).

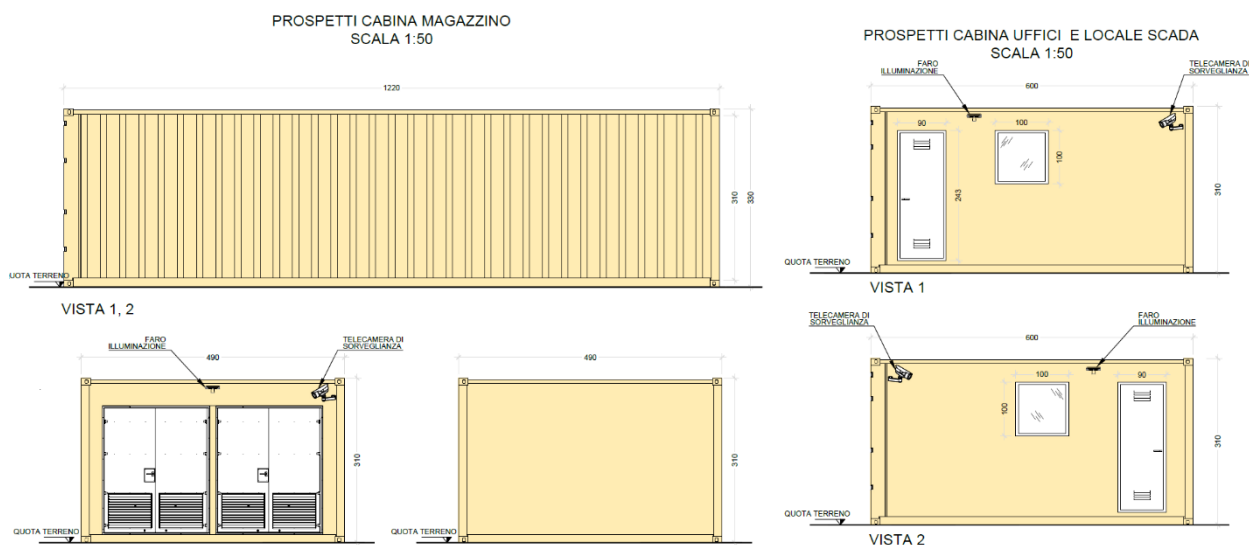





Figura 4: Cabina uffici e magazzino

I manufatti saranno prefabbricati totalmente fuori opera e saranno conformi alla legislazione attualmente in vigore nel territorio nazionale e in particolare alla legislazione sul calcolo e il deposito

 	<p align="center">IMPIANTO FOTOVOLTAICO A TERRA (AGRIVOLTAICO) COLLEGATO ALLA RTN POTENZA NOMINALE (DC) 21,75 MWP POTENZA IN IMMISSIONE (AC) 19,40 MW Comune di Librizzi (ME)</p>	<p align="center">Rev.</p>	<p align="center">0</p>
	<p align="center">22-00074-IT-LIBRIZZI_CV-R01 Relazione calcolo preliminare strutture e fondazioni</p>	<p align="center">Pag.</p>	<p align="center">9 di 40</p>

delle strutture prefabbricate.

In particolare, trattandosi di strutture prefabbricate i calcoli statici forniti dalla ditta costruttrice, dovranno corrispondere a quelli depositati presso l'ex Ministero dei Lavori Pubblici per la produzione in serie dichiarata, con validità triennale.

2 QUALITÀ DEI MATERIALI

Le strutture portamoduli, saranno metalliche, monopalo, del tipo tracker mentre le cabine saranno totalmente prefabbricate ed insisteranno su platee di fondazione in cemento armato gettato in opera.

2.1 Strutture metalliche porta moduli

Acciaio per carpenteria pesante




Per le strutture metalliche si dovranno utilizzare acciai conformi alle norme armonizzate UNI EN 10025 (per i laminati), UNI EN 10210 (per i tubi senza saldatura) e UNI EN 10219-1 (per i tubi saldati), recanti la Marcatura CE, cui si applica il sistema di attestazione della conformità 2+, e per i quali si rimanda a quanto specificato al punto A del § 11.1.

A vantaggio di sicurezza, per i valori delle tensioni caratteristiche di snervamento f_{yk} e di rottura f_{tk} da utilizzare nei calcoli, si assumono i valori nominali $f_y = R_eH$ e $f_t = R_m$ riportati nelle relative norme di prodotto.

In sede di progettazione si assumono convenzionalmente i seguenti valori nominali delle proprietà del materiale:

- modulo elastico $E = 210.000 \text{ N/mm}^2$
- modulo di elasticità trasversale $G = E / [2 (1 + \nu)] \text{ N/mm}^2$
- coefficiente di Poisson $\nu = 0,3$
- coefficiente di espansione termica lineare $\alpha = 12 \times 10^{-6} \text{ per } ^\circ\text{C}^{-1} \text{ (fino a } 100 \text{ } ^\circ\text{C)}$
- densità $\rho = 7850 \text{ kg/m}^3$

Sempre in sede di progettazione, per gli acciai di cui alle norme EN10025, EN10210 ed EN10219-1, si possono assumere nei calcoli i valori nominali delle tensioni caratteristiche di snervamento f_{yk} e di rottura f_{tk} riportati di seguito.

 	IMPIANTO FOTOVOLTAICO A TERRA (AGRIVOLTAICO) COLLEGATO ALLA RTN POTENZA NOMINALE (DC) 21,75 MWP POTENZA IN IMMISSIONE (AC) 19,40 MW Comune di Librizzi (ME)	Rev.	0
	22-00074-IT-LIBRIZZI_CV-R01 Relazione calcolo preliminare strutture e fondazioni	Pag.	10 di 40

Norme e qualità degli acciai con $t \leq 40$ mm (UNI 10025-2)

Classe	F_{yk} (N/mm ²)	F_{yk} (N/mm ²)
S235	235	360
S275	275	430

La saldatura degli acciai dovrà avvenire con uno dei procedimenti all'arco elettrico codificati secondo la norma UNI EN ISO 4063:2001. È ammesso l'uso di procedimenti diversi purché sostenuti da adeguata documentazione teorica e sperimentale.

I bulloni - conformi per le caratteristiche dimensionali alle norme UNI EN ISO 4016:2002 e UNI 5592:1968 devono appartenere alle sotto indicate classi della norma UNI EN ISO 898-1:2001, associate nel modo indicato nella tabella seguente:

	Normali			Alta resistenza	
Vite	4,6	5,6	6,8	8,8	10,9
Dado	4	5	6	8	10

Le tensioni di snervamento f_{yb} e di rottura f_{tb} delle viti appartenenti alle classi indicate nella precedente tabella 11.3.XII.a sono riportate nella seguente tabella:

Classe	4,6	5,6	6,8	8,8	10,9
F_{yd} (N/mm²)	240	300	480	649	900
F_{td} (N/mm²)	400	500	600	800	1000





2.2 Strutture di fondazione

Le strutture di fondazione delle cabine elettriche saranno dirette, del tipo a platea.

Il piano di imposta delle strutture di fondazione sarà regolarizzato e bonificato preliminarmente mediante uno strato di calcestruzzo magro, spesso almeno 10 cm, di resistenza caratteristica non inferiore a R_{ck} 15 N/mm².

Calcestruzzi ed armature per strutture di fondazione (cabine elettriche)

È stato previsto l'uso di cemento Pozzolanico, classe 32/40 XC4, allo scopo prevenire i modesti rischi di aggressione da parte dei terreni e delle acque di infiltrazione; la classe 32/40 consente, inoltre, di ridurre gli effetti negativi del ritiro e di assicurare, come implicita conseguenza della classe di resistenza imposta da esigenze statiche, un rapporto acqua/cemento assai ridotto, con grande

  	IMPIANTO FOTOVOLTAICO A TERRA (AGRIVOLTAICO) COLLEGATO ALLA RTN POTENZA NOMINALE (DC) 21,75 MWP POTENZA IN IMMISSIONE (AC) 19,40 MW Comune di Librizzi (ME)	Rev.	0
	22-00074-IT-LIBRIZZI_CV-R01 Relazione calcolo preliminare strutture e fondazioni	Pag.	11 di 40

vantaggio per la qualità e durabilità delle opere. Si è progettata l'opera in classe d'esposizione XC4, ossia si è considerata la presenza di ambienti aggressivi in quanto, trattandosi di fondazioni a contatto con il suolo nel caso di fessurazione le acque meteoriche andrebbero ad aggredire le barre di armatura.

Le caratteristiche prestazionali meccaniche e qualitative di composizione, prescritte per i calcestruzzi relativi alle fondazioni, sono le seguenti:

Calcestruzzo

Classe di resistenza: C32/40 con $R_{ck} \geq 43.5 \text{ N/mm}^2$, su provini cubici

Classe di esposizione: XC4

Max rapporto a/c: 0.60

Tipo e classe di cemento: CEM IV/B 32.5 R (Pozzolatico/UNI-ENV 197/1)

Dosaggio min. di cemento: 300 Kg/m³

Dimensione max aggregati: 30 mm

Classe di consistenza: S4 (UNI EN 206/1)

Inerti costituiti da ghiaia e sabbia pulita costituiti da elementi non gelivi e non friabili e privi di sostanze organiche, limose o argillose, del tipo calcareo-dolomitico nel rispetto dei fusi granulometrici.

Acqua: limpida, priva di sali (in particolare solfati e cloruri) e non aggressiva.





Acciaio

Gli acciai prescritti per la realizzazione delle strutture di fondazione in c.a. hanno le seguenti caratteristiche prestazionali e qualitative:

- acciaio tipo Fe B 44 K controllato in stabilimento;
- nervato ad "alta aderenza" (EN 10080);
- saldabile ($C \leq 0.24\%$; $C_{eq} \leq 0.52\%$).

3 NORMATIVA E RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI



- D.M. 17/01/2018 – Aggiornamento delle "Norme Tecniche per le Costruzioni" (NTC 2018);
- Circolare 21/01/2019, n. 7

  	<p align="center">IMPIANTO FOTOVOLTAICO A TERRA (AGRIVOLTAICO) COLLEGATO ALLA RTN POTENZA NOMINALE (DC) 21,75 MWP POTENZA IN IMMISSIONE (AC) 19,40 MW Comune di Librizzi (ME)</p>	<p align="center">Rev.</p>	<p align="center">0</p>
	<p align="center">22-00074-IT-LIBRIZZI_CV-R01 Relazione calcolo preliminare strutture e fondazioni</p>	<p align="center">Pag.</p>	<p align="center">12 di 40</p>

- O.P.C.M. n. 3519 del 28/04/2006 - Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone
- O.P.C.M. n. 3431 del 03/05/2005 - Ulteriori modifiche ed integrazioni all'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"
- D.G.R. n. 260 del 07/03/2005 – "L.R. 20/00 – O.P.C.M. 3274/03 – Individuazione delle zone sismiche del territorio regionale e relativi adempimenti – Recepimento O.P.C.M. n. 3379/04 – Prolungamento del periodo temporale stabilito con il 7° disposto della deliberazione G.R. n. 153/04"
- D.G.R. n. 597 del 27/04/2004 – "L.R. 20/00 - O.P.C.M. 3274/03 - Individuazione delle zone sismiche del territorio regionale e relativi adempimenti - Recepimento O.P.C.M. n. 3333/04 e conseguente rettifica della deliberazione G.R. n. 153/04"
- D.M. 16/01/1996 - Norme tecniche relative ai Criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e dei sovraccarichi, e relativa Circolare Ministeriale n. 156 del 04/07/1996;
- Lg. n. 64 del 02/02/1974 - Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche
- Lg. n. 1086 del 05/11/1971 - Norme per la disciplina delle opere di conglomerato cementizio armato, normale e precompresso ed a struttura metallica;
- Allegato alla Lg. n. 1684 del 25/11/1962 - Elenco dei Comuni e frazioni e parti di Comune nei quali è obbligatoria l'osservanza delle norme tecniche di edilizia per le località sismiche della 1ª e della 2ª categoria.

4 ANALISI GEOTECNICA DEL SITO

I terreni, direttamente interessati dall’Impianto di fotovoltaico, sono caratterizzati da affioramenti di litotipi composte da argille siltose a prevalente montmorillonite e limi sabbiosi, della Formazione delle Argille Scagliose Varicolori tali litotipi dal punto di vista geotecnico sono ascrivibili al gruppo di rocce semicoerenti a luoghi incoerenti nella frazione argillosa, a erodibilità medio – alta. La loro resistenza al taglio aumenta col costipamento e con un gradiente che risulta essere tanto maggiore quanto minore e la porosità, caratterizzati da graduale miglioramento delle proprietà meccaniche

	<p align="center">IMPIANTO FOTOVOLTAICO A TERRA (AGRIVOLTAICO) COLLEGATO ALLA RTN POTENZA NOMINALE (DC) 21,75 MWP POTENZA IN IMMISSIONE (AC) 19,40 MW Comune di Librizzi (ME)</p>	<p align="center">Rev. 0</p>	
	<p align="center">22-00074-IT-LIBRIZZI_CV-R01 Relazione calcolo preliminare strutture e fondazioni</p>	<p align="center">Pag.</p>	<p align="center">13 di 40</p>

con la profondità.

Per la caratterizzazione geotecnica dell'immediato sottosuolo e per la determinazione dello spessore della coltre superficiale al fine di pervenire a un razionale dimensionamento strutturale delle opere d'arte, per gli scopi geologici – applicativi di progetto, è stata eseguita una campagna di indagini geognostica, attraverso l'esecuzione di n° 4 perforazioni.




Nello specifico sono state eseguite le relative analisi di laboratorio comprendenti:

- la caratterizzazione fisica
- determinazione del contenuto di acqua del campione,
- analisi granulometrica,
- misura del peso dell'unità di volume,
- limiti di Atterberg o di consistenza,
- prove di taglio diretto e prove triassiali consolidate e non drenate,
- determinazione resistenze residue



Figura 5: Ubicazione delle indagini e divisione delle aree.

- Area A

 	IMPIANTO FOTOVOLTAICO A TERRA (AGRIVOLTAICO) COLLEGATO ALLA RTN POTENZA NOMINALE (DC) 21,75 MWP POTENZA IN IMMISSIONE (AC) 19,40 MW Comune di Librizzi (ME)	Rev.	0
	22-00074-IT-LIBRIZZI_CV-R01 Relazione calcolo preliminare strutture e fondazioni	Pag.	14 di 40

Profondità (m)	Limiti di Atterberg – LL-LP %	Angolo di attrito interno drenato (Φ')	Angolo di attrito interno residuale (Φr)	Coesione drenata (c') - KPa	Coesione non drenata (cu) - KPa	Coesione residuale (cr') -KPa
1,00 – 4,50: limo plastico rimaneggiato da privo di consistenza a poco consistente	LL = 73,1% LP = 32,5 %	15°	9°	12	55	5
4,50 - 10,50: Materiali a grana medio-fine di natura argillo-limosa – substrato da mediamente consistente a molto consistente con l'aumentare della profondità	LL = 52,9% LP = 22,6 %	23°	16°	7	215	3

Parametri geofisici

Profondità (m)	Peso specifico	Peso unità di volume saturo (sat) t/m ³	Contenuto d'acqua %
1,00 - 4,50	2,726	1,80	37,40
4,50 – 10,50	2,687	2,00	18,80




- Area B

Profondità (m)	Limiti di Atterberg – LL-LP %	Angolo di attrito interno drenato (Φ')	Angolo di attrito interno residuale (Φr)	Coesione drenata (c') - KPa	Coesione non drenata (cu) - KPa	Coesione residuale (cr') -KPa
0,80 – 4,00: limo plastico rimaneggiato da poco consistente a mediamente consistente	LL = 41% LP = 25 %	22°	16°	8	175	3
4,00 - 10,00: Argille siltose consistenti di colore bruno rossastro passanti a colorazione verdastro azzurro con sparsi elementi litici arenacei di dimensioni decimetriche, substrato consistente	.....	24°	....	7	2,4 Kg/cm ²	....

Parametri geofisici

Profondità (m)	Peso specifico	Peso unità di volume saturo (sat) t/m ³	Contenuto d'acqua %
0,80 - 4,00	2,670	1,80	18,46
4,00 – 10,00	....	2,00	...

- Area C

 	IMPIANTO FOTOVOLTAICO A TERRA (AGRIVOLTAICO) COLLEGATO ALLA RTN POTENZA NOMINALE (DC) 21,75 MWP POTENZA IN IMMISSIONE (AC) 19,40 MW Comune di Librizzi (ME)	Rev.	0
	22-00074-IT-LIBRIZZI_CV-R01 Relazione calcolo preliminare strutture e fondazioni	Pag.	15 di 40

Profondità (m)	Limiti di Atterberg – LL-LP %	Angolo di attrito interno drenato (Φ')	Angolo di attrito interno residuale (Φ_r)	Coesione drenata (c') - KPa	Coesione non drenata (c_u) - KPa	Coesione residuale (c_r') -KPa
1,00 – 5,50: limo plastico rimaneggiato da privo di consistenza a poco consistente	LL = 73,1% LP = 32,5 %	20°		10	....	0
4,50 - 12,50: Materiali a grana medio-fine di natura argillo-limosa – substrato da mediamente consistente a molto consistente con l'aumentare della profondità	LL = 42,6% LP = 26,5 %	25°	17°	10	450	0

Parametri fisici

Profondità (m)	Peso specifico	Peso unità di volume saturo (sat) t/m ³	Contenuto d'acqua %
1,00 - 4,50	2,627	1,70	15,00
4,50 – 10,50	2,650	2,00	11,47




- Area D

Profondità (m)	Limiti di Atterberg – LL-LP %	Angolo di attrito interno drenato (Φ')	Angolo di attrito interno residuale (Φ_r)	Coesione drenata (c') - KPa	Coesione non drenata (c_u) - KPa	Coesione residuale (c_r') -KPa
0,90 – 5,00: limo mediamente plastico rimaneggiato da poco consistente a mediamente consistente	LL = 45% LP = 22 %	20°	18°	8	150	0
5,00 - 10,00: Argille siltose consistenti di colore grigio passanti a colorazione verdastro azzurro.	.....	24°	....	8	1,89 Kg/cm ²	....

Parametri fisici

Profondità (m)	Peso specifico	Peso unità di volume saturo (sat) t/m ³	Contenuto d'acqua %
0,80 - 5,00	2,655	1,80	17,90
5,00 – 10,00	....	2,00	...

- Area E

 	IMPIANTO FOTOVOLTAICO A TERRA (AGRIVOLTAICO) COLLEGATO ALLA RTN POTENZA NOMINALE (DC) 21,75 MWP POTENZA IN IMMISSIONE (AC) 19,40 MW Comune di Librizzi (ME)	Rev.	0
	22-00074-IT-LIBRIZZI_CV-R01 Relazione calcolo preliminare strutture e fondazioni	Pag.	16 di 40

Profondità (m)	Limiti di Atterberg – LL-LP %	Angolo di attrito interno drenato (Φ')	Angolo di attrito interno residuale (Φr)	Coesione drenata (c') - KPa	Coesione non drenata (cu) - KPa	Coesione residuale (cr) -KPa
0,80 – 4,00: Sabbie a grana medio fine da poco a mediamente consistenti	22°	16°	8	150	....
4,00 - 10,00: Arenarie a cemento calcareo, substrato consistente	26°	....	10	....	....

Parametri fisici

Profondità (m)	Peso specifico	Peso unità di volume saturo (sat) t/m ³	Contenuto d'acqua %
0,80 - 4,00	1,80	.....
4,00 – 10,00	2,00	...





Nel progettare e verificare le strutture si è tenuto conto dei soli parametri geotecnici dell'area A in quanto sono i peggiori, da un punto di vista di portanza, ed in oltre; all'ingresso dell'impianto in area A vi è la presenza delle quattro tipologie di cabine che saranno installate in un'unica piazzola quindi si è verificata la portanza non solo rispetto ai carichi trasmessi da ogni singola cabina ma anche rispetto agli effetti d'influenza dei vari bulbi tensionali, si può certamente affermare che verificando tale caso le verifiche degli altri casi si intendono soddisfatte.

5 ANALISI DEI CARICHI E AZIONI SULLE STRUTTURE

Le azioni considerate in fase di verifica della struttura Tracker sono:

- Peso proprio dei moduli e della struttura
- Azione del vento
- Azione della neve
- Azione del sisma

Trattandosi di seguitori solari e non di strutture fisse, le azioni agiranno sulla struttura in maniera dipendente dall'angolo d'inclinazione dei moduli. Inoltre il sistema di gestione e controllo della rotazione implementa dei sensori che vanno a scaricare la struttura, ossia, in caso di abbondanti nevicate il tracker ruoterà automaticamente al fine di scaricare al suolo la massa accantonata e nel caso di raffiche di vento particolarmente forti si posizionerà in posizione orizzontale in modo da scaricare in maniera verticale al suolo il carico dovuto all'azione del vento. Dato il funzionamento del

  	IMPIANTO FOTOVOLTAICO A TERRA (AGRIVOLTAICO) COLLEGATO ALLA RTN POTENZA NOMINALE (DC) 21,75 MWP POTENZA IN IMMISSIONE (AC) 19,40 MW Comune di Librizzi (ME)	Rev.	0
	22-00074-IT-LIBRIZZI_CV-R01 Relazione calcolo preliminare strutture e fondazioni	Pag.	17 di 40

seguitore solare la verifica preliminare verrà condotta in posizione orizzontale in quanto ad essa corrisponde il massimo carico dovuto al vento da combinare con l'azione della neve.

5.1 Peso proprio

5.1.1 Strutture porta moduli

Il peso dei moduli fotovoltaici si ricava dalla scheda tecnica, ogni modulo ha un peso di 34.6 kg distribuiti su una superficie di 2.465 m x 1.134 m= 2.79mq

Dunque l'incidenza del peso dei moduli sulla struttura vale: $34.6 \text{ kg} / 2.79 \text{ mq} = 12.4 \text{ kg/mq}$

Considerando il peso dei morsetti d'ancoraggio, del cablaggio e degli elementi accessori si è considerato, a vantaggio di sicurezza, un peso proprio dei moduli pari a **15 kg/mq**

Il peso proprio dei profili in acciaio che costituiscono la struttura sono calcolati automaticamente dal software di calcolo.

Peso pilastri IPEA 180= **19 kg/ml**

Peso travi scatolari 150x150x4= **18.35kg/ml**

Peso arcarecci = **10kg/ml**

5.1.2 Cabine

Le cabine, come detto, saranno del tipo prefabbricato, saranno progettare e realizzate in opera le sole piastre di fondazione. Per il calcolo delle opere di fondazione si sono considerati i carichi verticali delle cabine dalle schede tecniche, ossia si è diviso il peso delle apparecchiature per l'area d'impronta delle stesse.

Carico cabine di trasformazione= $22'000 \text{ kg} / (6.058 \text{ m} \times 2.896 \text{ m}) = 1254 \text{ kg/mq} \rightarrow 1300 \text{ kg/mq}$



Carico cabina uffici = Categoria B2 da NTC 2018 $\rightarrow 300 \text{ kg/mq}$

Carico cabina magazzino = Categoria E1 NTC 2018 $\rightarrow 600 \text{ kg/mq}$

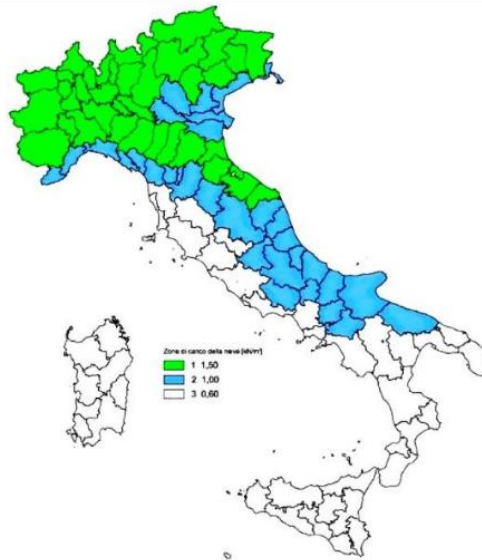
Carico cabina di raccolta cavi = non avendo informazioni in merito si considera un carico da magazzino, Cat. E1 NTC 2018 $\rightarrow 600 \text{ kg/mq}$

5.2 Carico neve

Il carico dovuto all'azione della neve ha direzione gravitazionale ed è stato calcolato come descritto dalle NTC 2018.

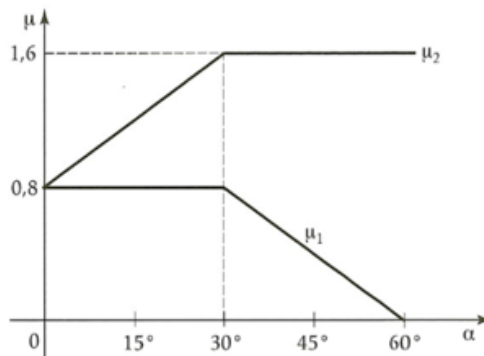
	IMPIANTO FOTOVOLTAICO A TERRA (AGRIVOLTAICO) COLLEGATO ALLA RTN POTENZA NOMINALE (DC) 21,75 MWP POTENZA IN IMMISSIONE (AC) 19,40 MW Comune di Librizzi (ME)	Rev.	0
	22-00074-IT-LIBRIZZI_CV-R01 Relazione calcolo preliminare strutture e fondazioni	Pag.	18 di 40

Zona III Agrigento, Brindisi, Cagliari, Caltanissetta, Carbonia-Iglesias, Caserta, Catania, Catanzaro, Cosenza, Crotona, 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	$q_{sk} = 0,60 \text{ kN/m}^2$ $a_s \leq 200 \text{ m}$ $q_{sk} = 0,51 [1+(a_s/481^2)] \text{ kN/m}^2$ $a_s > 200 \text{ m}$
--	---





Zona Neve = III
Periodo di ritorno, $T_r = 50$ anni
Ctr = 1 per $T_r = 50$ anni
Ce (coeff. di esposizione al vento) = 0.90
Valore caratteristico del carico al suolo = $q_{sk} = 0.63 \text{ kN/mq}$
Copertura ad una falda:
Angolo di inclinazione della falda $\alpha = 00.0^\circ$

3.2.3 Legge di variazione del coefficiente di forma:



$\mu_1 (\alpha_1)$	0,80
$\mu_1 (\alpha_2)$	0,80
$\mu_2 (\alpha)$	0,80

	$0^\circ \leq \alpha \leq 30^\circ$	$30^\circ < \alpha < 60^\circ$	$\alpha \geq 60$
$\mu_1 (\alpha)$	0,80	$0.8(60-\alpha)/30$	0,00
$\mu_2 (\alpha)$	$0.8+0,8 \alpha/30$	1,60	0,00

	IMPIANTO FOTOVOLTAICO A TERRA (AGRIVOLTAICO) COLLEGATO ALLA RTN POTENZA NOMINALE (DC) 21,75 MWP POTENZA IN IMMISSIONE (AC) 19,40 MW Comune di Librizzi (ME)	Rev.	0
	22-00074-IT-LIBRIZZI_CV-R01 Relazione calcolo preliminare strutture e fondazioni	Pag.	19 di 40

$$q_s \text{ (carico neve sulla copertura [N/m}^2\text{])} = \mu_i \cdot q_{sk} \cdot C_E \cdot C_t$$

μ_i (coefficiente di forma)

q_{sk} (valore caratteristico della neve al suolo [kN/m²])

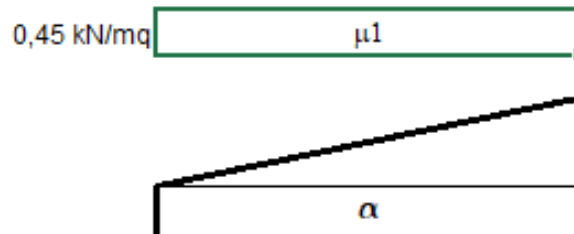
C_E (coefficiente di esposizione)

C_t (coefficiente termico)

4.1 Combinazione per il caso di copertura ad una falda

Inclinazione falda	0 [deg]
--------------------	---------

μ_1	0,80
---------	------






Carico neve sulla copertura $Q_n = 0.45 \text{ kN/mq}$

5.3 Carico da vento

L'azione del vento è calcolata in conformità a quanto previsto dalle Norme Tecniche per le Costruzioni 2018 [cap. 3.3]. In particolare è stata valutata l'entità dell'azione del vento gravante sulle strutture di sostegno dei moduli fotovoltaici, nella ipotesi di struttura isolata:

- Zona vento = 4 Sicilia e provincia di Reggio Calabria
- As (altitudine sul livello del mare) = 400m
- Distanza dalla costa = 8 km
- Tr (periodo di ritorno) = 50 anni
- Categoria d'esposizione = II
- Classe di rugosità del terreno = D
- Cd (coefficiente dinamico) = 1.00
- Ct (coefficiente topografico) = 1.00
- Cp (coefficiente di forma relativo alla condizione relativa a tettoia ad uno spiovente = 1.24
- Ce (coefficiente di esposizione) = 1.80

Calcolo velocità di riferimento del vento

 	IMPIANTO FOTOVOLTAICO A TERRA (AGRIVOLTAICO) COLLEGATO ALLA RTN POTENZA NOMINALE (DC) 21,75 MWP POTENZA IN IMMISSIONE (AC) 19,40 MW Comune di Librizzi (ME)	Rev.	0
	22-00074-IT-LIBRIZZI_CV-R01 Relazione calcolo preliminare strutture e fondazioni	Pag.	20 di 40

Zona	$v_{b,0}$ [m/s]	a_0 [m]	k_s	C_a
4	28	500	0,36	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

$$v_r = v_b * c_r$$

c_r coefficiente di ritorno 1,00

v_r (velocità di riferimento) 28,02 m/s

Pressione cinetica di riferimento

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

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

Pressione cinetica di riferimento q_r 490,72 [N/m²]

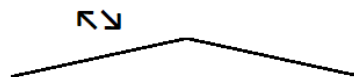
Calcolo pressione del vento

	p [kN/m ²]	c_d	c_t	c_e	c_p	P [kN/m ²]
(1) par. sopravent.	0,491	1,00	1,00	1,801	0,00	0,00
(2) cop. sopravent.	0,491	1,00	1,00	1,801	1,24	1,10
(3) cop. Sottovent.	0,491	1,00	1,00	1,801	0,00	0,00
(4) par. sottovent.	0,491	1,00	1,00	1,801	0,00	0,00

(2) copertura sopravento

$\pm 1,10$ kN/mq

→
Direzione del vento →







→

Azione del vento sui moduli = 1.10 kN/mq

5.4 Azione sismica

Sulla Gazzetta Ufficiale n. 105 (suppl.) del 08.05.2003 è stata pubblicata l'O.P.C.M. n. 3274 del 20.03.2003, 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". Il provvedimento detta i principi generali sulla base dei quali le Regioni, a cui lo Stato ha delegato l'adozione della classificazione sismica del territorio (Decreto Legislativo n. 112 del 1998 e Decreto del Presidente della Repubblica n. 380 del 2001 - "Testo Unico delle Norme per l'Edilizia"), hanno compilato l'elenco

  	IMPIANTO FOTOVOLTAICO A TERRA (AGRIVOLTAICO) COLLEGATO ALLA RTN POTENZA NOMINALE (DC) 21,75 MWP POTENZA IN IMMISSIONE (AC) 19,40 MW Comune di Librizzi (ME)	Rev.	0
	22-00074-IT-LIBRIZZI_CV-R01 Relazione calcolo preliminare strutture e fondazioni	Pag.	21 di 40

dei comuni con la relativa attribuzione ad una delle quattro zone, a pericolosità decrescente, nelle quali è stato riclassificato il territorio nazionale.

Zona 1 - E' la zona più pericolosa. La probabilità che capiti un forte terremoto è alta
Zona 2 - In questa zona forti terremoti sono possibili
Zona 3 - In questa zona i forti terremoti sono meno probabili rispetto alla zona 1 e 2
Zona 4 - E' la zona meno pericolosa: la probabilità che capiti un terremoto è molto bassa



Il nuovo studio di pericolosità, allegato all'OPCM n. 3519/2006, ha fornito alle Regioni uno strumento aggiornato per la classificazione del proprio territorio, introducendo degli intervalli di accelerazione (a_g), con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni, da attribuire alle 4 zone sismiche.

Zona sismica	Accelerazione con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni (a_g)
1	$a_g > 0,25$
2	$0,15 < a_g \leq 0,25$
3	$0,05 < a_g \leq 0,15$
4	$a_g \leq 0,05$

Nel rispetto degli indirizzi e criteri stabiliti a livello nazionale, alcune Regioni hanno classificato il territorio nelle quattro zone proposte, altre Regioni hanno classificato diversamente il proprio territorio, ad esempio adottando solo tre zone e introducendo, in alcuni casi, delle sottozone per meglio adattare le norme alle caratteristiche di sismicità.

Le Norme Tecniche per le Costruzioni 2008, hanno modificato il ruolo che la classificazione sismica aveva ai fini progettuali: per ogni costruzione ci si deve riferire ad una accelerazione di riferimento "propria" individuata sulla base delle coordinate geografiche dell'area di progetto e in funzione della vita nominale dell'opera. Un valore di pericolosità di base, dunque, definito per ogni punto del territorio nazionale, su una maglia quadrata di 5 km di lato, indipendentemente dai confini amministrativi comunali.

L'entrata in vigore della revisione della norma NTC2008 nel 2018 con il Decreto 17 gennaio 2018,

	IMPIANTO FOTOVOLTAICO A TERRA (AGRIVOLTAICO) COLLEGATO ALLA RTN POTENZA NOMINALE (DC) 21,75 MWP POTENZA IN IMMISSIONE (AC) 19,40 MW Comune di Librizzi (ME)	Rev. 0	0
	22-00074-IT-LIBRIZZI_CV-R01 Relazione calcolo preliminare strutture e fondazioni	Pag.	22 di 40

segna inoltre il definitivo abbandono della metodologia delle Tensioni Ammissibili a favore del metodo semiprobabilistico agli Stati Limite, eliminando definitivamente i riferimenti alle zone sismiche.

Si riportano le mappe di pericolosità sismica ufficiali, su cui si analizzano i due parametri dello scuotimento: $a_{(g)}$ (accelerazione orizzontale massima del suolo, come definita dall'OPCM 3519/2006, corrispondente a quella che in ambito internazionale viene chiamata PGA) e $S_{e(T)}$ (Spettro di risposta Elastico in funzione del periodo T, in accelerazione); l'unità di misura è g , vale a dire l'accelerazione di gravità, corrispondente a $9.8m/sec^2$ [<http://zonesismiche.mi.ingv.it>].

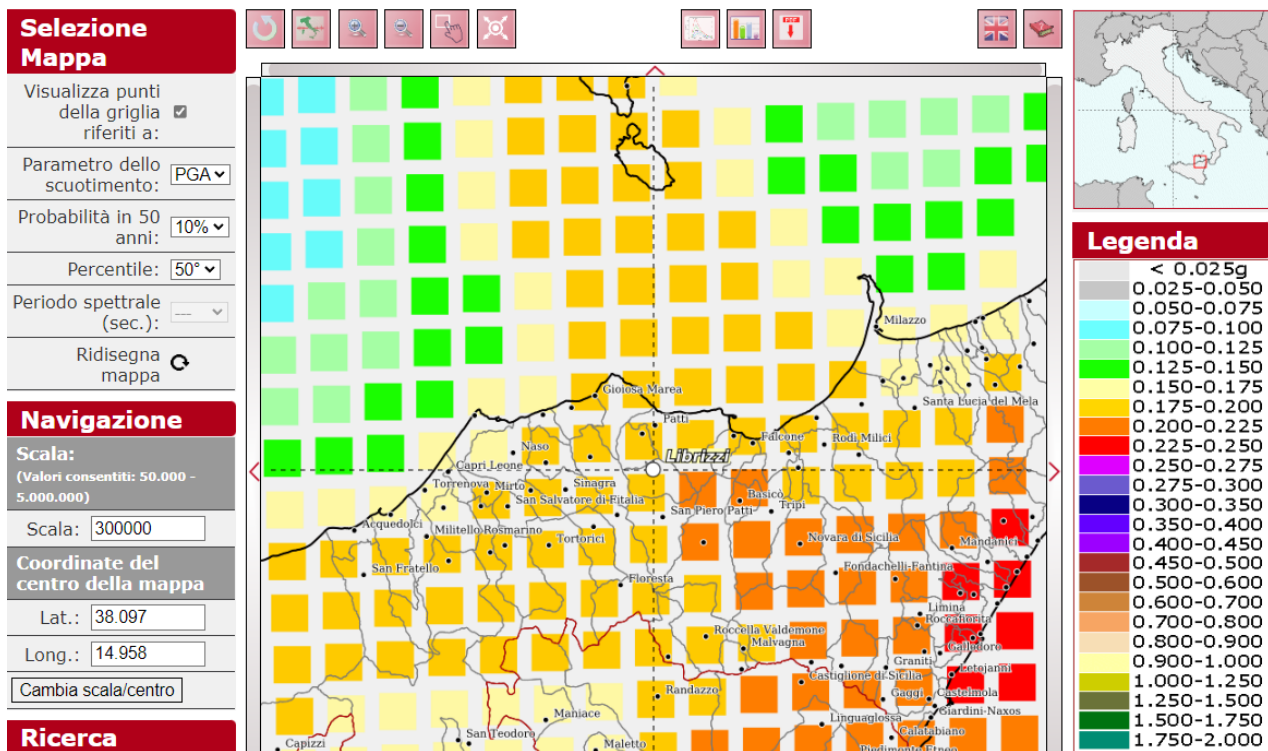


Figura 6: Mappa di pericolosità sismica – valore $a(g)$

I colori indicano i diversi valori di accelerazione del terreno che hanno una probabilità del 10% di essere superati in 50 anni. Indicativamente i colori associati ad accelerazioni più basse indicano zone meno pericolose, dove la frequenza di terremoti più forti è minore rispetto a quelle più pericolose.



	IMPIANTO FOTOVOLTAICO A TERRA (AGRIVOLTAICO) COLLEGATO ALLA RTN POTENZA NOMINALE (DC) 21,75 MWP POTENZA IN IMMISSIONE (AC) 19,40 MW Comune di Librizzi (ME)	Rev. 0	
	22-00074-IT-LIBRIZZI_CV-R01 Relazione calcolo preliminare strutture e fondazioni	Pag.	23 di 40



Figura 7: Mappa di pericolosità sismica – valore $S_e(T)$

Data la natura dell'opera sarebbe lecito omettere le verifiche sismiche ma poiché classifichiamo l'intervento come opera strategica, e quindi di classe d'uso IV, la verifica sismica risulta obbligata, seppur è lecito aspettarsi sollecitazioni di gran lunga inferiori rispetto a quelle dovute al carico orizzontale da vento.

La struttura è realizzata con un telaio in acciaio ad un solo piano, quindi non è dissipativa, ragion per cui si utilizza il fattore di struttura minimo imposto dalle NTC 2018: $q=1.5$.

Si riportano a seguire i parametri utilizzati per definire gli spettri elastici.

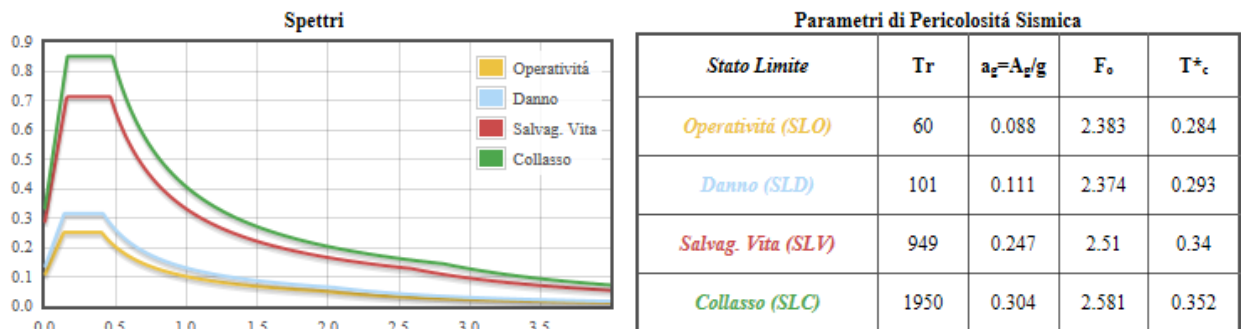




Figura 8: Spettri di risposta e parametri di pericolosità sismica

	IMPIANTO FOTOVOLTAICO A TERRA (AGRIVOLTAICO) COLLEGATO ALLA RTN POTENZA NOMINALE (DC) 21,75 MWP POTENZA IN IMMISSIONE (AC) 19,40 MW Comune di Librizzi (ME)	Rev. 0	
	22-00074-IT-LIBRIZZI_CV-R01 Relazione calcolo preliminare strutture e fondazioni	Pag.	24 di 40

È stata condotta un'analisi statica lineare al fine di valutare le sollecitazioni derivanti dal sisma per le 32 combinazioni sismiche impostando i seguenti parametri sismici:

Vita Nominale	50
Classe d'Uso	IV
Categoria del Suolo	B
Categoria Topografica	1
Latitudine del sito oggetto di edificazione	38.0970534
Longitudine del sito oggetto di edificazione	14.9582777

5.5 Combinazione delle azioni




Le azioni determinate come descritto nei paragrafi precedenti sono state combinate tra loro ed opportunamente amplificate mediante coefficienti di sicurezza come imposto dalle NTC 2018.

Si riportano a seguire i coefficienti di sicurezza, già combinati, utilizzati per tutte le combinazioni di carico considerate in fase di verifica.

COMBINAZIONI CARICHI															
DESCRIZIONI	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Peso Strutturale	1,30	1,30	1,30	1,30	1,30	1,30	1,30	1,30	1,30	1,30	1,30	1,30	1,30	1,30	1,00
Perm.Non Strutturale	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,00
Var.Vento	1,50	0,90	1,50	0,90	0,90	1,50	0,90	0,90	1,50	0,90	0,90	1,50	0,90	0,90	0,00
Var.Neve h<=1000	0,75	1,50	0,75	1,50	0,75	0,75	1,50	0,75	0,75	1,50	0,75	0,75	1,50	0,75	0,00
Vento dir. 0	0,00	0,00	0,90	0,90	1,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Vento dir. 90	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,90	0,90	1,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Vento dir. 180	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,90	0,90	1,50	0,00	0,00	0,00	0,00
Vento dir. 270	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,90	0,90	1,50	0,00
Sisma direz. grd 0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00
Sisma direz. grd 90	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,30

COMBINAZIONI CARICHI															
DESCRIZIONI	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Peso Strutturale	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Perm.Non Strutturale	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Var.Vento	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Var.Neve h<=1000	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Vento dir. 0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Vento dir. 90	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Vento dir. 180	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Vento dir. 270	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Sisma direz. grd 0	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	-1,00	-1,00	-1,00	-1,00	-1,00	-1,00	-1,00	-1,00
Sisma direz. grd 90	0,30	0,30	0,30	-0,30	-0,30	-0,30	-0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	-0,30	-0,30	-0,30	-0,30

COMBINAZIONI CARICHI															
DESCRIZIONI	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45
Peso Strutturale	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Perm.Non Strutturale	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Var.Vento	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Var.Neve h<=1000	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Vento dir. 0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Vento dir. 90	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Vento dir. 180	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Vento dir. 270	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Sisma direz. grd 0	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	-0,30	-0,30	-0,30	-0,30	-0,30	-0,30	-0,30
Sisma direz. grd 90	1,00	1,00	1,00	1,00	-1,00	-1,00	-1,00	-1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	-1,00	-1,00	-1,00

 	IMPIANTO FOTOVOLTAICO A TERRA (AGRIVOLTAICO) COLLEGATO ALLA RTN POTENZA NOMINALE (DC) 21,75 MWP POTENZA IN IMMISSIONE (AC) 19,40 MW Comune di Librizzi (ME)	Rev. 0	0
	22-00074-IT-LIBRIZZI_CV-R01 Relazione calcolo preliminare strutture e fondazioni	Pag.	25 di 40

6 MODELLO DI CALCOLO STRUTTURA PORTA MODULI

La struttura degli inseguitori solari è stata modellata nel software di calcolo CDS WIN, sono stati inseriti i pilastri incastrati alla base per simulare l'infissione al suolo, sarà verificata la portanza del suolo in maniera disaccoppiata, sono stati inseriti i moduli come carico pannello e su di essi si sono applicate le azioni stimate nei paragrafi precedenti.

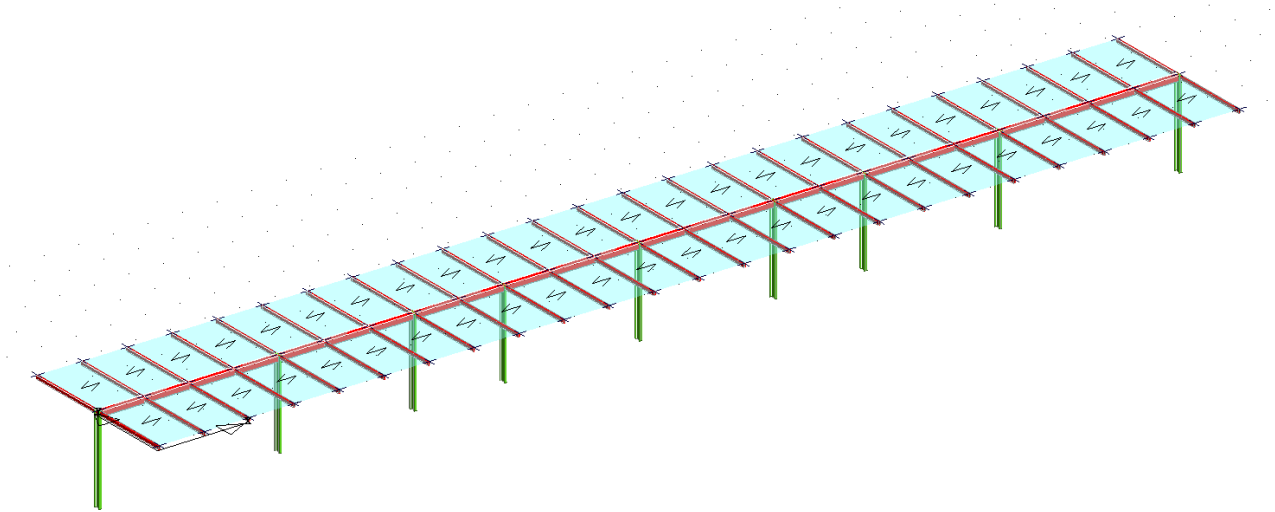


Figura 9: Modello strutturale

6.1 Origine e caratteristiche dei codici di calcolo

Ragione sociale completa del produttore del software: S.T.S. s.r.l. Software Tecnico Scientifico S.r.l.




Produttore	S.T.S. srl
Titolo	CDSWin
Versione	Rel. 2020
Nro Licenza	34981

Affidabilità dei codici utilizzati

L'affidabilità del codice utilizzato e la sua idoneità al caso in esame, è stata attentamente verificata sia effettuando il raffronto tra casi prova di cui si conoscono i risultati esatti sia esaminando le indicazioni, la documentazione ed i test forniti dal produttore stesso.

La S.T.S. s.r.l., a riprova dell'affidabilità dei risultati ottenuti, fornisce direttamente on-line i test sui casi prova liberamente consultabili all' indirizzo:

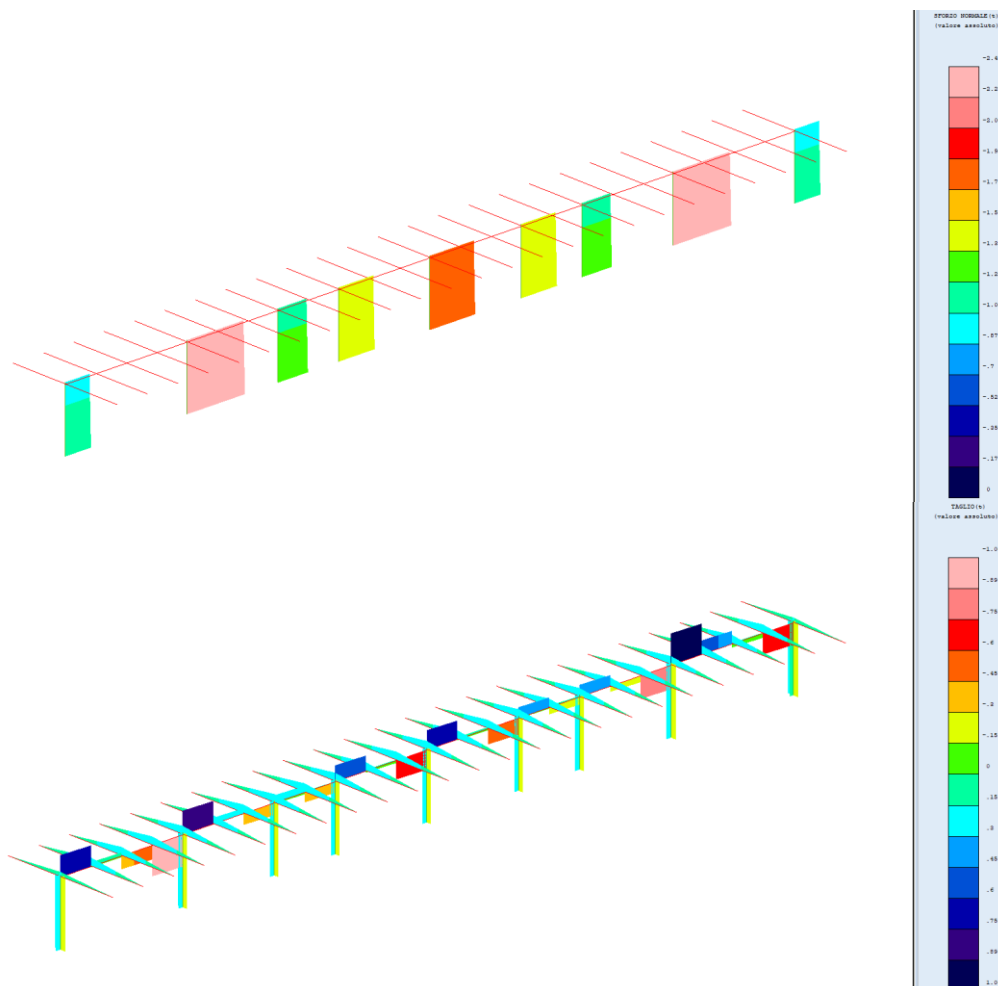
<http://www.stsweb.it/area-utenti/test-validazione.html>



 	<p align="center">IMPIANTO FOTOVOLTAICO A TERRA (AGRIVOLTAICO) COLLEGATO ALLA RTN POTENZA NOMINALE (DC) 21,75 MWP POTENZA IN IMMISSIONE (AC) 19,40 MW Comune di Librizzi (ME)</p>	<p align="center">Rev.</p>	<p align="center">0</p>
	<p align="center">22-00074-IT-LIBRIZZI_CV-R01 Relazione calcolo preliminare strutture e fondazioni</p>	<p align="center">Pag.</p>	<p align="center">26 di 40</p>

6.2 Sollecitazioni sulla struttura

La struttura modellata nel codice di calcolo è stata caricata con carico pannello al fine di simulare i moduli fotovoltaici applicando il peso proprio dei moduli (15 kg/m²), come azione principale il carico vento, come azione secondaria il carico neve (calcolati nei capitoli precedenti) ed è stata eseguita un'analisi statica lineare per calcolare la reazione sismica della struttura nelle 2 direzioni principali.

Vengono riportati gli involuppi dei diagrammi sollecitativi relativi ad i vari casi di carico e la deformata della combinazione più significativa.



	<p align="center">IMPIANTO FOTOVOLTAICO A TERRA (AGRIVOLTAICO) COLLEGATO ALLA RTN POTENZA NOMINALE (DC) 21,75 MWP POTENZA IN IMMISSIONE (AC) 19,40 MW Comune di Librizzi (ME)</p>	<p align="center">Rev. 0</p>	
	<p align="center">22-00074-IT-LIBRIZZI_CV-R01 Relazione calcolo preliminare strutture e fondazioni</p>	<p align="center">Pag.</p>	<p align="center">27 di 40</p>

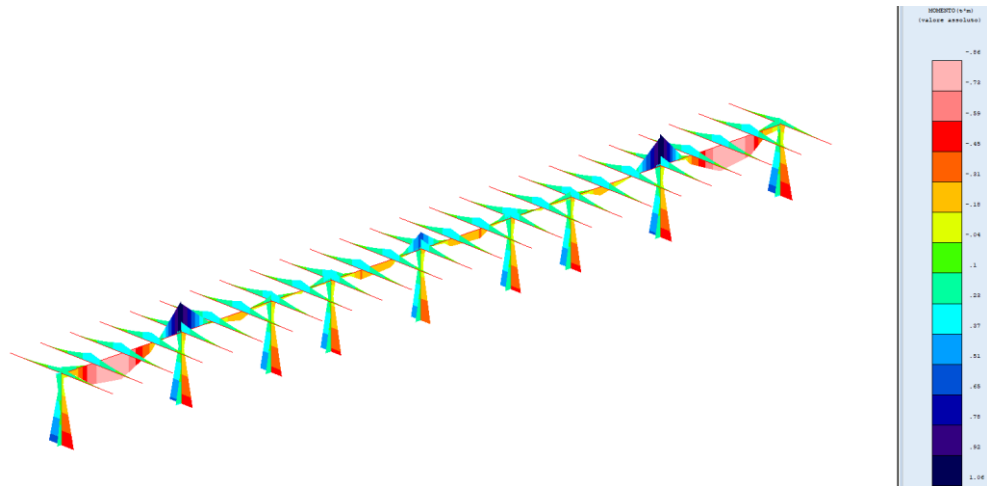


Figura 10: Diagrammi d'involuppo.

Sono state condotte analisi anche riguardo al sisma, utilizzando le 32 combinazioni imposte dalle NTC 2018 e le sollecitazioni indotte risultano di gran lunga inferiori a quelle calcolate con i carichi vento e neve. Tale risultato era prevedibile in quanto l'entità delle azioni di vento e neve dipende dalla superficie impattata, mentre il carico sismico dalla massa eccitata, i tracker sono strutture molto leggere, con poca massa, ma supportano i captatori solari che per loro natura di costruzione hanno una grande superficie al fine di massimizzare l'irraggiamento solare assorbito.

Si riportano a seguire i diagrammi dei momenti flettenti sulla struttura delle combinazioni relative al sisma considerato in direzione X ed in direzione Y.

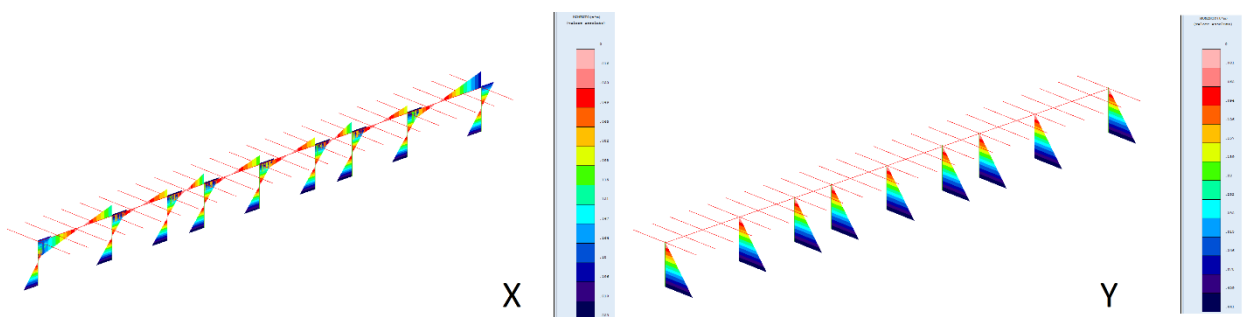





Figura 11: Sollecitazioni indotte dal sisma.

È stata calcolata la deformata massima attesa; lo spostamento massimo registrato risulta essere di 9.1mm, assolutamente compatibile con la destinazione d'uso della struttura.

 	<p align="center">IMPIANTO FOTOVOLTAICO A TERRA (AGRIVOLTAICO) COLLEGATO ALLA RTN POTENZA NOMINALE (DC) 21,75 MWP POTENZA IN IMMISSIONE (AC) 19,40 MW Comune di Librizzi (ME)</p>	<p align="center">Rev. 0</p>	
	<p align="center">22-00074-IT-LIBRIZZI_CV-R01 Relazione calcolo preliminare strutture e fondazioni</p>	<p align="center">Pag.</p>	<p align="center">28 di 40</p>

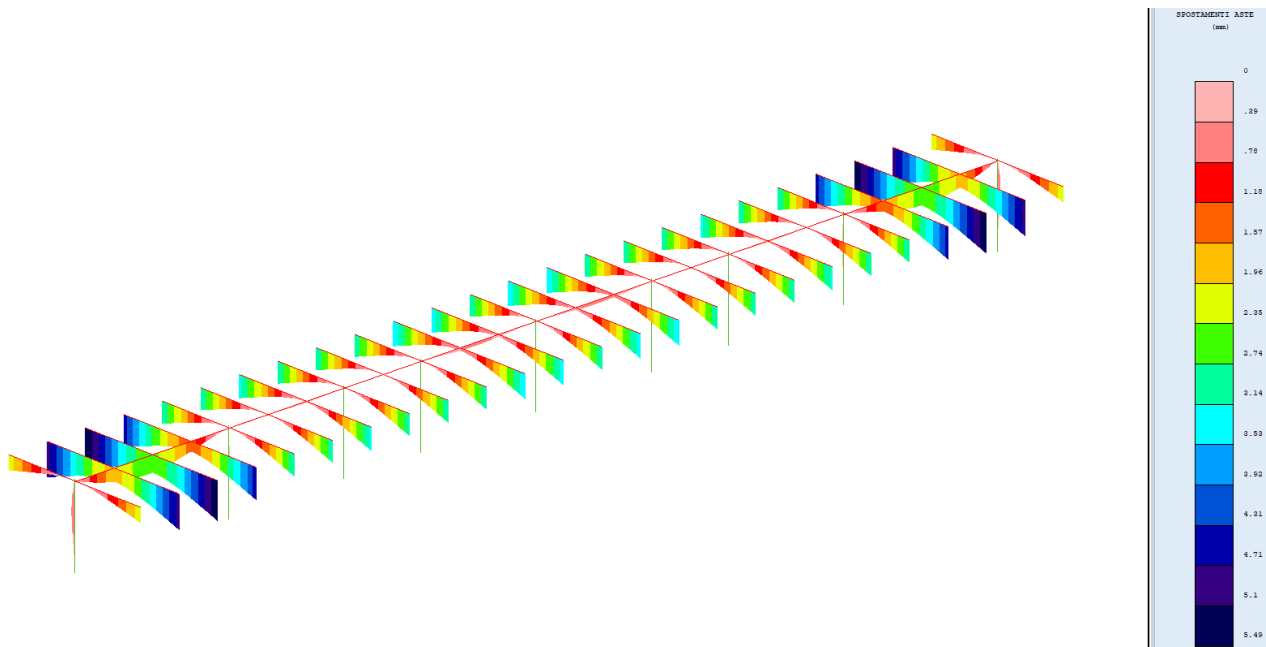


Figura 12: Deformata in corrispondenza della combinazione di carico che massimizza l'azione del vento.

6.3 Verifiche strutturali

Eseguite le analisi strutturali e ricavate le sollecitazioni che andranno ad agire sulla struttura si sono eseguite le analisi di resistenza degli elementi strutturali; la struttura risulta completamente verificata con riserve di resistenza abbastanza elevate.

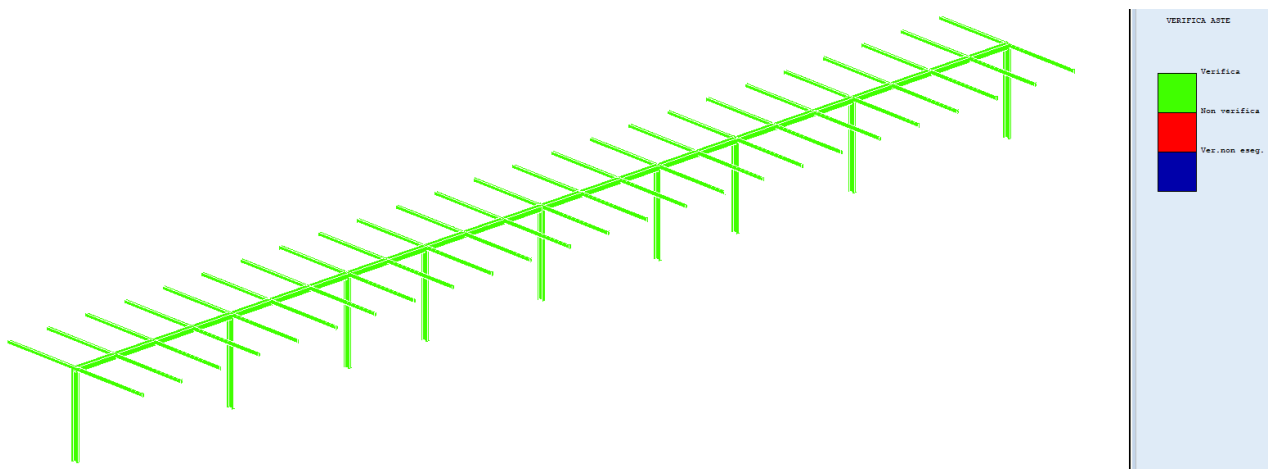





Figura 13: Verifiche strutturali.

Tra tutte le verifiche da rispettare secondo le NTC 2018, per le caratteristiche di snellezza della struttura, quella più vincolante risulta essere la verifica a pressoflessione degli elementi, in particolar

 	IMPIANTO FOTOVOLTAICO A TERRA (AGRIVOLTAICO) COLLEGATO ALLA RTN POTENZA NOMINALE (DC) 21,75 MWP POTENZA IN IMMISSIONE (AC) 19,40 MW Comune di Librizzi (ME)	Rev.	0
	22-00074-IT-LIBRIZZI_CV-R01 Relazione calcolo preliminare strutture e fondazioni	Pag.	29 di 40

modo dei pilastri. Calcolando la percentuale di sfruttamento a pressoflessione degli elementi risulta che l'elemento più sollecitato è il pilastro centrale che ha una percentuale di utilizzo del 77%.

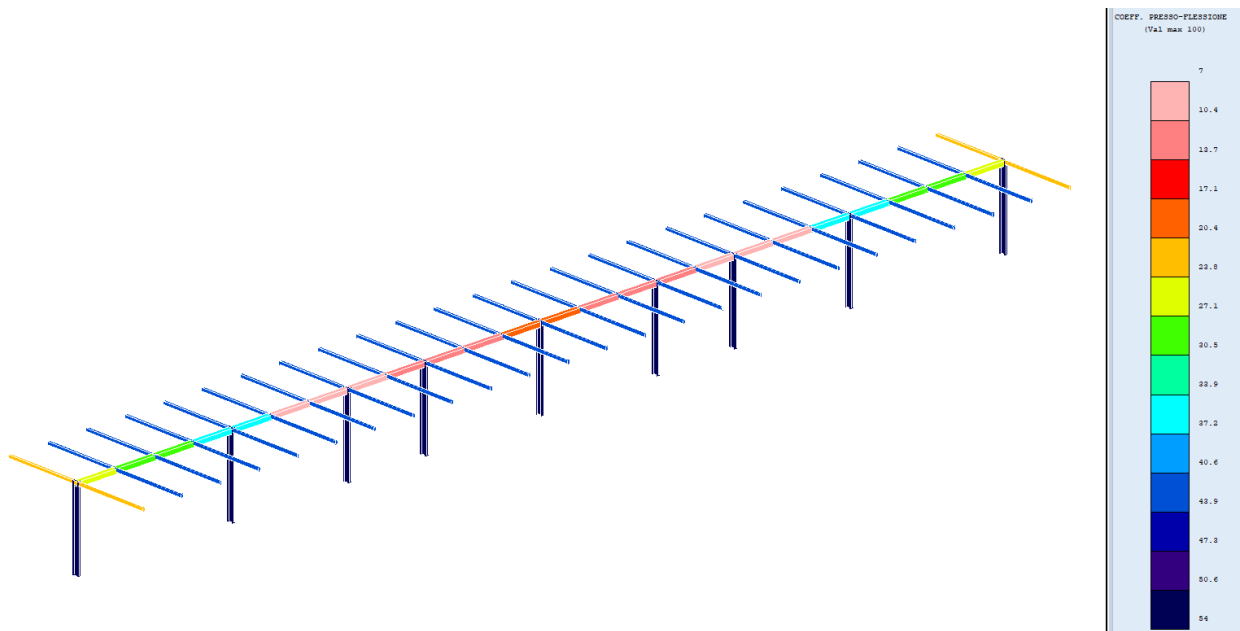


Figura 14: Coefficiente d'instabilità pressoflessionale.




Si riporta a seguire una tabella di confronto nella quale sono confrontati i valori massimi di sollecitazioni indotte negli elementi portanti ed i relativi valori di resistenza offerta.

	Direzione	Nrd	Ned	Vrd	Ved	Mrd	Med
Travi	x	520	0	134	0	245	10,1
	y				10,4		0,1
Pilastri	X	535	25	120	1,12	532	9,2
	y			108	8,9		52	1,7

ed= sollecitazioni, rd= resistenza, valori espressi in kN- kNm

6.4 Verifica infissione pilastri

In via semplificata si procede alla verifica della lunghezza d'infissione, pari a 2 metri, ipotizzata in fase di progetto. La lunghezza di infissione definitiva sarà individuata in fase esecutiva in seguito alla realizzazione di pullout test, eseguiti con pali della medesima dimensione di quelli della struttura, su varie verticali del sito in cui sorgerà l'impianto al fine di meglio conoscere i suoli presenti e la loro

 	IMPIANTO FOTOVOLTAICO A TERRA (AGRIVOLTAICO) COLLEGATO ALLA RTN POTENZA NOMINALE (DC) 21,75 MWP POTENZA IN IMMISSIONE (AC) 19,40 MW Comune di Librizzi (ME)	Rev.	0
	22-00074-IT-LIBRIZZI_CV-R01 Relazione calcolo preliminare strutture e fondazioni	Pag.	30 di 40

effettiva capacità portante.

Si è proceduti a verificare la portanza laterale del palo infisso considerando i parametri geotecnici fornitici dalla relazione geologica, a vantaggio di sicurezza si è ipotizzata nulla la coesione del terreno. La capacità laterale è stata calcolata secondo le NTC 2018 come segue:

$$Q_{later} = (1 - \sin \phi') \cdot \sigma'_v(z) \cdot \mu \cdot A_s$$

essendo

$\sigma'_v(z)$ = tensione verticale efficace lungo il fusto del palo

μ = coefficiente di attrito:

$\mu = \tan \phi'$ per pali trivellati

$\mu = \tan (3/4 \cdot \phi')$ per pali infissi prefabbricati

- In terreni incoerenti:

$$Q_{later} = K \cdot \sigma'_v(z) \cdot \mu \cdot A_s$$

essendo

$\sigma'_v(z)$ = tensione verticale efficace lungo il fusto del palo

K = coefficiente di spinta:

K = (1 - sin ϕ') per pali trivellati

K = 1 per pali infissi

μ = coefficiente di attrito:

$\mu = \tan \phi'$ per pali trivellati

$\mu = \tan(3/4 \cdot \phi')$ per pali infissi prefabbricati



Ai sensi delle vigenti norme tecniche per le costruzioni (NTC 2018), tali verifiche si intendono soddisfatte se è rispettata la condizione:

$$E_d \leq R_d,$$

dove E_d è il valore di progetto dell'azione o dell'effetto dell'azione, ottenuto moltiplicando l'azione caratteristica E_k per un opportuno coefficiente di sicurezza γ_E e R_d è il valore di progetto della resistenza, ottenuto dividendo il valore caratteristico della resistenza R_k per un opportuno coefficiente di sicurezza γ_R (o γ_M se applicato ai valori caratteristici di resistenza dei materiali).

Nello specifico si è optato per l'utilizzo dell'approccio 2 Riportato in normativa basato sull'unica combinazione dei coefficienti di sicurezza A1+M1+R3, nello specifico vengono fortemente ridotte le caratteristiche di resistenza del suolo ma non sono amplificate le azioni.

Si è scelto di utilizzare l'approccio 2 in quanto, allo stato attuale, la conoscenza del sottosuolo è basata su dati non certi, quindi penalizzare le caratteristiche meccaniche del suolo ci permette di progettare a vantaggio di sicurezza.

	IMPIANTO FOTOVOLTAICO A TERRA (AGRIVOLTAICO) COLLEGATO ALLA RTN POTENZA NOMINALE (DC) 21,75 MWP POTENZA IN IMMISSIONE (AC) 19,40 MW Comune di Librizzi (ME)	Rev.	0
	22-00074-IT-LIBRIZZI_CV-R01 Relazione calcolo preliminare strutture e fondazioni	Pag.	31 di 40

I coefficienti parziali γ_G relativi alle azioni (A1) sono indicati nella Tab. 6.2.I delle NTC 2018 mentre i coefficienti parziali γ_M relativi ai parametri geotecnici (M1), invece, sono indicati nella Tab. 6.2.II delle stesse norme, i coefficienti parziali R3 sono riportati alla Tab. 6.4.I.

Tab. 6.2.I – Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni

	Effetto	Coefficiente Parziale γ_F (o γ_E)	EQU	(A1)	(A2)
Carichi permanenti G_1	Favorevole	γ_{G1}	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevole		1,1	1,3	1,0
Carichi permanenti $G_2^{(1)}$	Favorevole	γ_{G2}	0,8	0,8	0,8
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3
Azioni variabili Q	Favorevole	γ_Q	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3

Tab. 6.2.II – Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

Parametro	Grandezza alla quale applicare il coefficiente parziale	Coefficiente parziale γ_M	(M1)	(M2)
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \phi'_k$	$\gamma_{\phi'}$	1,0	1,25
Coesione efficace	c'_k	γ_c	1,0	1,25
Resistenza non drenata	c_{uk}	γ_{cu}	1,0	1,4
Peso dell'unità di volume	γ_γ	γ_γ	1,0	1,0

Tab. 6.4.I – Coefficienti parziali γ_R per le verifiche agli stati limite ultimi di fondazioni superficiali



Verifica	Coefficiente parziale (R3)
Carico limite	$\gamma_R = 2,3$
Scorrimento	$\gamma_R = 1,1$

Considerando la superficie laterale del supporto dato dal profilo IPE 180 pari a $A_L=0.72 \text{ m}^2/\text{m}$, applicando il coefficiente di sicurezza $\gamma_R = 1,2$ e il fattore di correlazione $\zeta_{a3} = \zeta_{a4} = 1.8$, si è calcolata la resistenza del suolo.

- Area A

	Spessore	γ	γ_{sat}	C_u	ϕ	ϕ
	m	kN/mc	kN/mc	kPa	°	rad
Suolo1	4,5	18	18	12	15	0,2618

Z	Li	Suolo	C_u	ϕ	ϕ	μ	Q lat	Qr totale (kN)
m	m		kpa	°	rad		kN	$\gamma_R = 2,3$
0,2	0,2	1	12	22	0,383972	0,2962135	1,829292	37,83339851
0,4	0,4	1	12	22	0,383972	0,2962135	2,40987	
0,6	0,6	1	12	22	0,383972	0,2962135	3,322208	Qr totale (Tonn)
0,8	0,8	1	12	22	0,383972	0,2962135	4,59948	$\gamma_R = 2,3$
1	1	1	12	22	0,383972	0,2962135	6,241688	3,859006648
1,2	1,2	1	12	22	0,383972	0,2962135	8,24883	
1,4	1,4	1	12	22	0,383972	0,2962135	10,62091	
1,6	1,6	1	12	22	0,383972	0,2962135	13,35792	
1,8	1,8	1	12	22	0,383972	0,2962135	16,45987	

	IMPIANTO FOTOVOLTAICO A TERRA (AGRIVOLTAICO) COLLEGATO ALLA RTN POTENZA NOMINALE (DC) 21,75 MWP POTENZA IN IMMISSIONE (AC) 19,40 MW Comune di Librizzi (ME)	Rev.	0
	22-00074-IT-LIBRIZZI CV-R01 Relazione calcolo preliminare strutture e fondazioni	Pag.	32 di 40

2	2	1	12	22	0,383972	0,2962135	19,92675
---	---	---	----	----	----------	-----------	----------

- Area B



	Spessore	γ	γ_{sat}	Cu	ϕ	ϕ
	m	kN/mc	kN/mc	kPa	°	rad
Suolo1	4,0	26,3	18	8	22	0,383972436

Z	Li	Suolo	Cu	ϕ	ϕ	μ	Q lat	Qr totale (kN)
m	m		kpa	°	rad		kN	$\gamma_r = 2,3$
0,2	0,2	1	8	22	0,383972	0,2962135	1,338132	41,38290123
0,4	0,4	1	8	22	0,383972	0,2962135	1,992526	
0,6	0,6	1	8	22	0,383972	0,2962135	3,083185	Qr totale (Tonn)
0,8	0,8	1	8	22	0,383972	0,2962135	4,610106	$\gamma_r = 2,3$
1	1	1	8	22	0,383972	0,2962135	6,57329	4,221055926
1,2	1,2	1	8	22	0,383972	0,2962135	8,972738	
1,4	1,4	1	8	22	0,383972	0,2962135	11,80845	
1,6	1,6	1	8	22	0,383972	0,2962135	15,08042	
1,8	1,8	1	8	22	0,383972	0,2962135	18,78866	
2	2	1	8	22	0,383972	0,2962135	22,93316	

- Area C

	Spessore	γ	γ_{sat}	Cu	ϕ	ϕ
	m	kN/mc	kN/mc	kPa	°	rad
Suolo1	5,5	26,3	18	10	20	0,174532925

Z	Li	Suolo	Cu	ϕ	ϕ	μ	Q lat	Qr totale (kN)
m	m		kpa	°	rad		kN	$\gamma_r = 2,3$
0,2	0,2	1	20	22	0,383972	0,2962135	3,018132	48,68724906
0,4	0,4	1	20	22	0,383972	0,2962135	3,672526	
0,6	0,6	1	20	22	0,383972	0,2962135	4,763185	Qr totale (Tonn)
0,8	0,8	1	20	22	0,383972	0,2962135	6,290106	$\gamma_r = 2,3$
1	1	1	20	22	0,383972	0,2962135	8,25329	4,966099404
1,2	1,2	1	20	22	0,383972	0,2962135	10,65274	
1,4	1,4	1	20	22	0,383972	0,2962135	13,48845	
1,6	1,6	1	20	22	0,383972	0,2962135	16,76042	
1,8	1,8	1	20	22	0,383972	0,2962135	20,46866	

	IMPIANTO FOTOVOLTAICO A TERRA (AGRIVOLTAICO) COLLEGATO ALLA RTN POTENZA NOMINALE (DC) 21,75 MWP POTENZA IN IMMISSIONE (AC) 19,40 MW Comune di Librizzi (ME)	Rev.	0
	22-00074-IT-LIBRIZZI_CV-R01 Relazione calcolo preliminare strutture e fondazioni	Pag.	33 di 40

2	2	1	20	22	0,383972	0,2962135	24,61316
---	---	---	----	----	----------	-----------	----------

- Area D



	Spessore	γ	γ_{sat}	Cu	ϕ	ϕ
	m	kN/mc	kN/mc	kPa	°	rad
Suolo1	5	26,5	18	8	20	0,34906585

Z	Li	Suolo	Cu	ϕ	ϕ	μ	Q lat	Qr totale (kN)
m	m		kpa	°	rad		kN	$\gamma_r = 2,3$
0,2	0,2	1	8	22	0,383972	0,2962135	1,33979	41,66056919
0,4	0,4	1	8	22	0,383972	0,2962135	1,999162	
0,6	0,6	1	8	22	0,383972	0,2962135	3,098114	Qr totale (Tonn)
0,8	0,8	1	8	22	0,383972	0,2962135	4,636647	$\gamma_r = 2,3$
1	1	1	8	22	0,383972	0,2962135	6,61476	4,249378057
1,2	1,2	1	8	22	0,383972	0,2962135	9,032455	
1,4	1,4	1	8	22	0,383972	0,2962135	11,88973	
1,6	1,6	1	8	22	0,383972	0,2962135	15,18659	
1,8	1,8	1	8	22	0,383972	0,2962135	18,92302	
2	2	1	8	22	0,383972	0,2962135	23,09904	

- Area E

	Spessore	γ	γ_{sat}	Cu	ϕ	ϕ
	m	kN/mc	kN/mc	kPa	°	rad
Suolo1	4	18	18	8	22	0,383972436

Z	Li	Suolo	Cu	ϕ	ϕ	μ	Q lat	Qr totale (kN)
m	m		kpa	°	rad		kN	$\gamma_r = 2,3$
0,2	0,2	1	8	22	0,383972	0,2962135	1,269292	29,85968112
0,4	0,4	1	8	22	0,383972	0,2962135	1,717166	
0,6	0,6	1	8	22	0,383972	0,2962135	2,463624	Qr totale (Tonn)
0,8	0,8	1	8	22	0,383972	0,2962135	3,508666	$\gamma_r = 2,3$
1	1	1	8	22	0,383972	0,2962135	4,85229	3,045687474
1,2	1,2	1	8	22	0,383972	0,2962135	6,494498	
1,4	1,4	1	8	22	0,383972	0,2962135	8,435288	
1,6	1,6	1	8	22	0,383972	0,2962135	10,67466	
1,8	1,8	1	8	22	0,383972	0,2962135	13,21262	

	IMPIANTO FOTOVOLTAICO A TERRA (AGRIVOLTAICO) COLLEGATO ALLA RTN POTENZA NOMINALE (DC) 21,75 MWP POTENZA IN IMMISSIONE (AC) 19,40 MW Comune di Librizzi (ME)	Rev.	0
	22-00074-IT-LIBRIZZI_CV-R01 Relazione calcolo preliminare strutture e fondazioni	Pag.	34 di 40

2	2	1	8	22	0,383972	0,2962135	16,04916
---	---	---	---	----	----------	-----------	----------

Poiché il valore dello sforzo normale agente in testa al supporto IPE 180, per la combinazione agli SLU, è pari a 25 kN la verifica risulta soddisfatta.

7 MODELLO DI CALCOLO FONDAZIONI CABINE

All'interno dell'impianto saranno installate quattro tipologie di fondazioni per le cabine:

- 1) Fondazione per cabina di trasformazione: 7 m x 4 m x 0.3 m
- 2) Fondazione per magazzino: 13m x 6m x 0.3m
- 3) Fondazione per uffici: 7m x 6m x 0.30
- 4) Fondazione per raccolta cavi: 16m x 4m x 0.3 m

La dimensione in pianta delle fondazioni è stata progettata per verificare la regolarità in pianta, ossia il rapporto tra il lato lungo ed il lato corto dev'essere inferiore a quattro.

Come detto si è verificato la piazzola d'ingresso all'impianto fotovoltaico in quanto lì saranno installate tutt'e quattro le tipologie di cabine e le caratteristiche meccaniche del suolo risultano più scadenti, ragion per cui le altre cabine si considerano verificate di conseguenza.

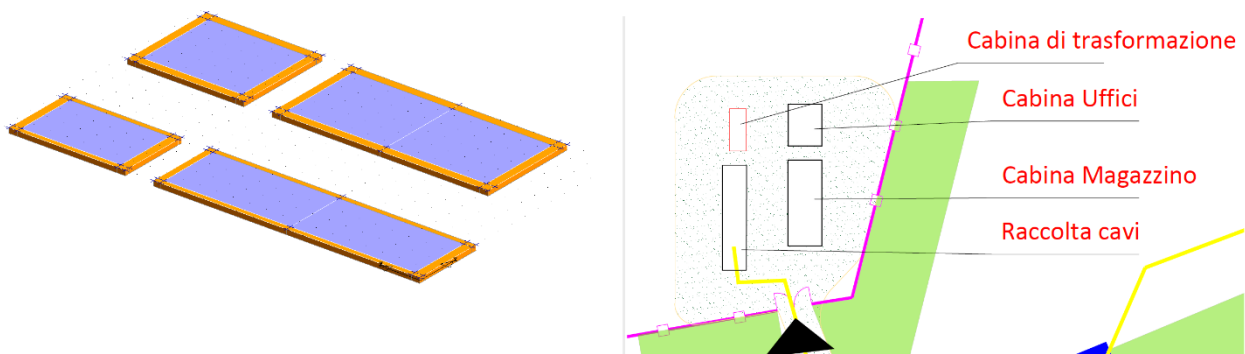





Figura 15: Modelli strutturali piastre di fondazione.

Nel modello strutturale è stata inserita la stratigrafia descritta al par. 2 e si è imposta una quota d'infissione delle piastre pari a 0.3m, con tali dati si sono eseguite le verifiche di portanza per le fondazioni superficiali.

 	IMPIANTO FOTOVOLTAICO A TERRA (AGRIVOLTAICO) COLLEGATO ALLA RTN POTENZA NOMINALE (DC) 21,75 MWP POTENZA IN IMMISSIONE (AC) 19,40 MW Comune di Librizzi (ME)	Rev.	0
	22-00074-IT-LIBRIZZI CV-R01 Relazione calcolo preliminare strutture e fondazioni	Pag.	35 di 40

7.1 Carichi e combinazione delle azioni

Le azioni determinate come descritto nei paragrafi precedenti sono state combinate tra loro ed opportunamente amplificate mediante coefficienti di sicurezza come imposto dalle NTC 2018.

Si riportano a seguire i coefficienti di sicurezza, già combinati, utilizzati per tutte le combinazioni di carico considerate in fase di verifica.

DATI GENERALI		
COEFFICIENTI PARZIALI GEOTECNICA		
	TABELLA M1	TABELLA M2
Tangente Resist. Taglio	1.00	
Peso Specifico	1.00	
Coesione Efficace (c'k)	1.00	
Resist. a taglio NON drenata (cuk)	1.00	
Tipo Approccio	Combinazione Unica: (A1+M1+R3)	

COMBINAZIONI CARICHI - S.L.U. - A1

DESCRIZIONI	1	2
Peso Strutturale	1.30	1.30
Perm.Non Strutturale	1.50	1.50
Var.Bibl.Arch.	1.50	1.50
Var.Neve h<=1000	0.75	1.50

COMBINAZIONI RARE - S.L.E.



DESCRIZIONI	1	2
Peso Strutturale	1.00	1.00
Perm.Non Strutturale	1.00	1.00
Var.Bibl.Arch.	1.00	1.00
Var.Neve h<=1000	0.50	1.00

COMBINAZIONI FREQUENTI - S.L.E.

DESCRIZIONI	1	2
Peso Strutturale	1.00	1.00
Perm.Non Strutturale	1.00	1.00
Var.Bibl.Arch.	0.90	0.80
Var.Neve h<=1000	0.00	0.20

COMBINAZIONI PERMANENTI - S.L.E.

DESCRIZIONI	1
Peso Strutturale	1.00
Perm.Non Strutturale	1.00
Var.Bibl.Arch.	0.80

	IMPIANTO FOTOVOLTAICO A TERRA (AGRIVOLTAICO) COLLEGATO ALLA RTN POTENZA NOMINALE (DC) 21,75 MWP POTENZA IN IMMISSIONE (AC) 19,40 MW Comune di Librizzi (ME)	Rev.	0
	22-00074-IT-LIBRIZZI_CV-R01 Relazione calcolo preliminare strutture e fondazioni	Pag.	36 di 40

COMBINAZIONI PERMANENTI - S.L.E.

DESCRIZIONI	1
Var.Neve h<=1000	0.00

7.2 Teoria di calcolo

La verifica della capacità portante consiste nel confronto tra la pressione verticale di esercizio in fondazione e la pressione limite per il terreno, valutata secondo *Brinch-Hansen*:

$$q_{lim} = q N_q Y_q i_q d_q b_q g_q s_q + c N_c Y_c i_c d_c b_c g_c s_c + \frac{1}{2} G B' N_g Y_g i_g b_g s_g$$

dove:

Caratteristiche geometriche della fondazione:



- q = carico sul piano di fondazione
- B = lato minore della fondazione
- L = lato maggiore della fondazione
- D = profondità della fondazione
- α = inclinazione base della fondazione
- G = peso specifico del terreno
- B' = larghezza di fondazione ridotta = $B - 2 e_B$
- L' = lunghezza di fondazione ridotta = $L - 2 e_L$

Caratteristiche di carico sulla fondazione:

- H = risultante delle forze orizzontali
- N = risultante delle forze verticali
- e_B = eccentricità del carico verticale lungo B
- e_L = eccentricità del carico verticale lungo L
- F_{hB} = forza orizzontale lungo B
- F_{hL} = forza orizzontale lungo L

Caratteristiche del terreno di fondazione:

- β = inclinazione terreno a valle
- $c = c_u$ = coesione non drenata (condizioni U)
- $c = c'$ = coesione drenata (condizioni D)
- Γ = peso specifico apparente (condizioni U)
- $\Gamma = \Gamma'$ = peso specifico sommerso (condizioni D)
- $\phi = 0$ = angolo di attrito interno (condizioni U)
- $\phi = \phi'$ = angolo di attrito interno (condizioni D)

	<p align="center">IMPIANTO FOTOVOLTAICO A TERRA (AGRIVOLTAICO) COLLEGATO ALLA RTN POTENZA NOMINALE (DC) 21,75 MWP POTENZA IN IMMISSIONE (AC) 19,40 MW Comune di Librizzi (ME)</p>	<p align="center">Rev. 0</p>	
	<p align="center">22-00074-IT-LIBRIZZI_CV-R01 Relazione calcolo preliminare strutture e fondazioni</p>	<p align="center">Pag.</p>	<p align="center">37 di 40</p>

7.3 Tensioni agenti al suolo

Nel modello strutturale si sono applicati i carichi distribuiti derivanti dalle apparecchiature elettromeccaniche e si sono condotte le analisi strutturali amplificando e combinando i carichi secondo quanto descritto dalle vigenti norme tecniche.

Come anticipato le cabine sono del tipo prefabbricato e quindi saranno le ditte di fornitura a redigere i calcoli strutturali, in questa fase vi è la necessità di comprendere se il suolo offre le idonee capacità portanti per assorbire i carichi delle cabine.

Si riportano gli involuipi dei diagrammi tensionali che le fondazioni scaricano al suolo, si evince che la condizione più gravosa è data dalla cabina di trasformazione per la quale si registra una tensione al suolo massima pari a 0.325 kg/cmq.

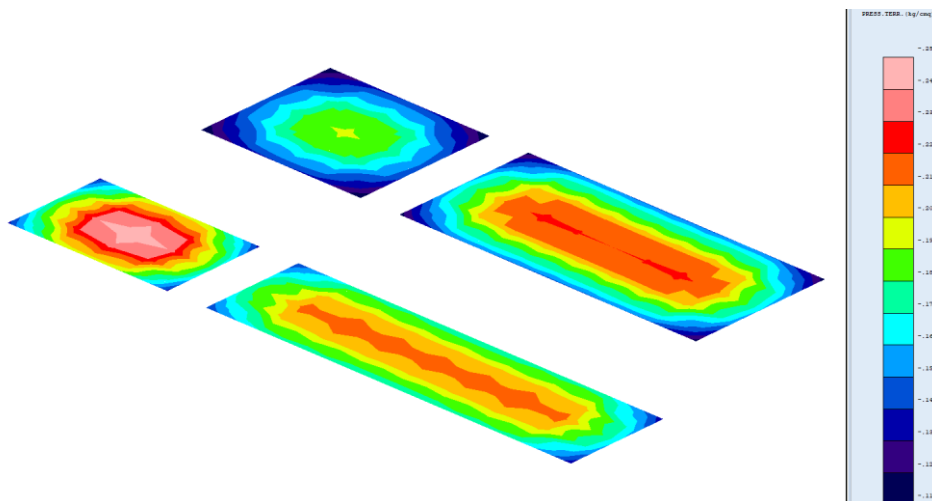
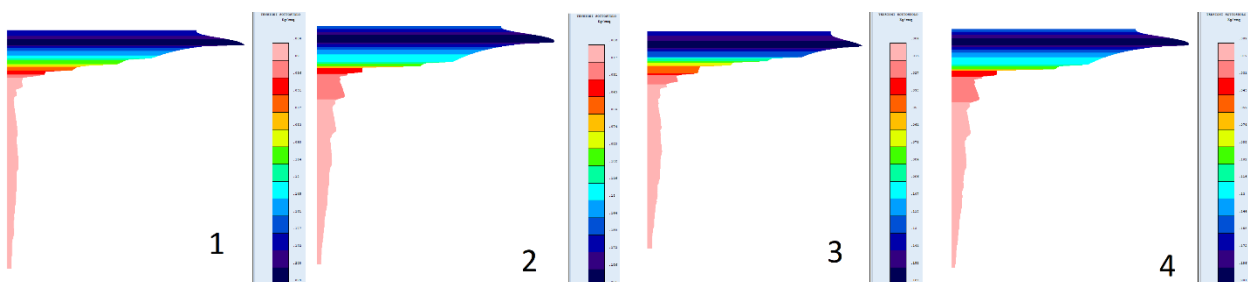


Figura 16: Pressioni al suolo delle piastre di fondazione.

Per meglio comprendere come i suoli assorbono tali tensioni si sono calcolati i bulbi tensionali, ossia come le tensioni indotte dalle piastre di fondazione si distribuiscono al terreno. Si riportano i bulbi tensionali calcolati al baricentro geometrico delle tre piastre che corrispondono alle verticali più sollecitate.






 	IMPIANTO FOTOVOLTAICO A TERRA (AGRIVOLTAICO) COLLEGATO ALLA RTN POTENZA NOMINALE (DC) 21,75 MWP POTENZA IN IMMISSIONE (AC) 19,40 MW Comune di Librizzi (ME)	Rev.	0
	22-00074-IT-LIBRIZZI_CV-R01 Relazione calcolo preliminare strutture e fondazioni	Pag.	38 di 40

Figura 17: Bulbi tensionali 1) Cabina di trasformazione, 2) raccolta cavi, 3) uffici 4) magazzino.



7.4 Verifica della portanza

Ottenuti i valori tensionali si è utilizzata la teoria di Brinch-Hansen per calcolare il carico limite sopportabile dal terreno al fine di confrontarlo con le tensioni agenti ed ottenere i coefficienti di sicurezza.

COEFFICIENTI DI PORTANZA PIASTRE - S.L.U. CABINA DI TRASFORMAZIONE								
Brinch Hansen			Incl.PianoPosa			CoeffIncl.Car.		
Nc	Nq	Ng	Bc	Bq	Bg	IcV	IqV	IgV
16,88	7,82	7,13	1	1	1	1	1	1
Forma			Punzonamento			Affondamento		
Sc	Sq	Sg	Psic	Psig	Psig	Dc	Dq	Dg
1,46	1,58	0,6	1	1	1	1,43	1,37	1
Qmax (kg/cm2)			Qlim (kg/cm2)			Fs		
0,224			1,992215392			8,89375		

COEFFICIENTI DI PORTANZA PIASTRE - S.L.U. RACCOLTA CAVI								
Brinch Hansen			Incl.PianoPosa			CoeffIncl.Car.		
Nc	Nq	Ng	Bc	Bq	Bg	IcV	IqV	IgV
16,88	7,82	7,13	1	1	1	1	1	1
Forma			Punzonamento			Affondamento		
Sc	Sq	Sg	Psic	Psig	Psig	Dc	Dq	Dg
1,46	1,4	0,6	1	1	1	1,25	1,22	1
Qmax (kg/cm2)			Qlim (kg/cm2)			Fs		
0,201			1,54848496			7,663905		

COEFFICIENTI DI PORTANZA PIASTRE - S.L.U. UFFICI								
Brinch Hansen			Incl.PianoPosa			CoeffIncl.Car.		
Nc	Nq	Ng	Bc	Bq	Bg	IcV	IqV	IgV

	IMPIANTO FOTOVOLTAICO A TERRA (AGRIVOLTAICO) COLLEGATO ALLA RTN POTENZA NOMINALE (DC) 21,75 MWP POTENZA IN IMMISSIONE (AC) 19,40 MW Comune di Librizzi (ME)	Rev.	0
	22-00074-IT-LIBRIZZI_CV-R01 Relazione calcolo preliminare strutture e fondazioni	Pag.	39 di 40

16,88	7,82	7,13	1	1	1	1	1	1
Forma			Punzonamento			Affondamento		
Sc	Sq	Sg	Psic	Psig	Psig	Dc	Dq	Dg
1,46	1,4	0,6	1	1	1	1,32	1,28	1
Qmax (kg/cm2)			Qlim (kg/cm2)			Fs		
0,164			1,5762464			14,870249		

COEFFICIENTI DI PORTANZA PIASTRE - S.L.U. MAGAZZINO								
Brinch Hansen			Incl.PianoPosa			CoeffIncl.Car.		
Nc	Nq	Ng	Bc	Bq	Bg	IcV	IqV	IgV
16,88	7,82	7,13	1	1	1	1	1	1
Forma			Punzonamento			Affondamento		
Sc	Sq	Sg	Psic	Psig	Psig	Dc	Dq	Dg
1,46	1,4	0,6	1	1	1	1,32	1,28	1
Qmax (kg/cm2)			Qlim (kg/cm2)			Fs		
0,211			1,5762464			7,4701422		

7.5 Cedimenti attesi

Il calcolo viene eseguito sulla base della conoscenza delle tensioni nel sottosuolo.

$$\mu = \int \frac{\sigma(z)}{E} dz$$

Essendo:

E = modulo elastico o edometrico




$\sigma(z)$ = tensione verticale nel sottosuolo dovuta all'incremento di carico q

La distribuzione delle tensioni verticali viene valutata secondo l'espressione di Steinbrenner, considerando la pressione agente su una superficie rettangolare di dimensioni B e L:

$$\sigma(z) = \frac{q}{4\pi} \left[\frac{2 \times M \times N \times \sqrt{V} \times (V+1)}{V(V+V1)} + \left| \arctan \frac{2 \times M \times N \times \sqrt{V}}{V-V1} \right| \right]$$

con: $M = B/z$, $N = L/z$, $V = M^2 + N^2 + 1$, $V1 = (M \times N)^2$

Dalle analisi condotte risulta che il valore massimo dei cedimenti edometrici attesi si registra per la cabina di trasformazione ed è pari a 0.142 cm, assolutamente compatibili con la destinazione d'uso dell'opera.

 	<p>IMPIANTO FOTOVOLTAICO A TERRA (AGRIVOLTAICO) COLLEGATO ALLA RTN POTENZA NOMINALE (DC) 21,75 MWP POTENZA IN IMMISSIONE (AC) 19,40 MW Comune di Librizzi (ME)</p>	<p>Rev. 0</p>	
	<p>22-00074-IT-LIBRIZZI_CV-R01 Relazione calcolo preliminare strutture e fondazioni</p>	<p>Pag.</p>	<p>40 di 40</p>

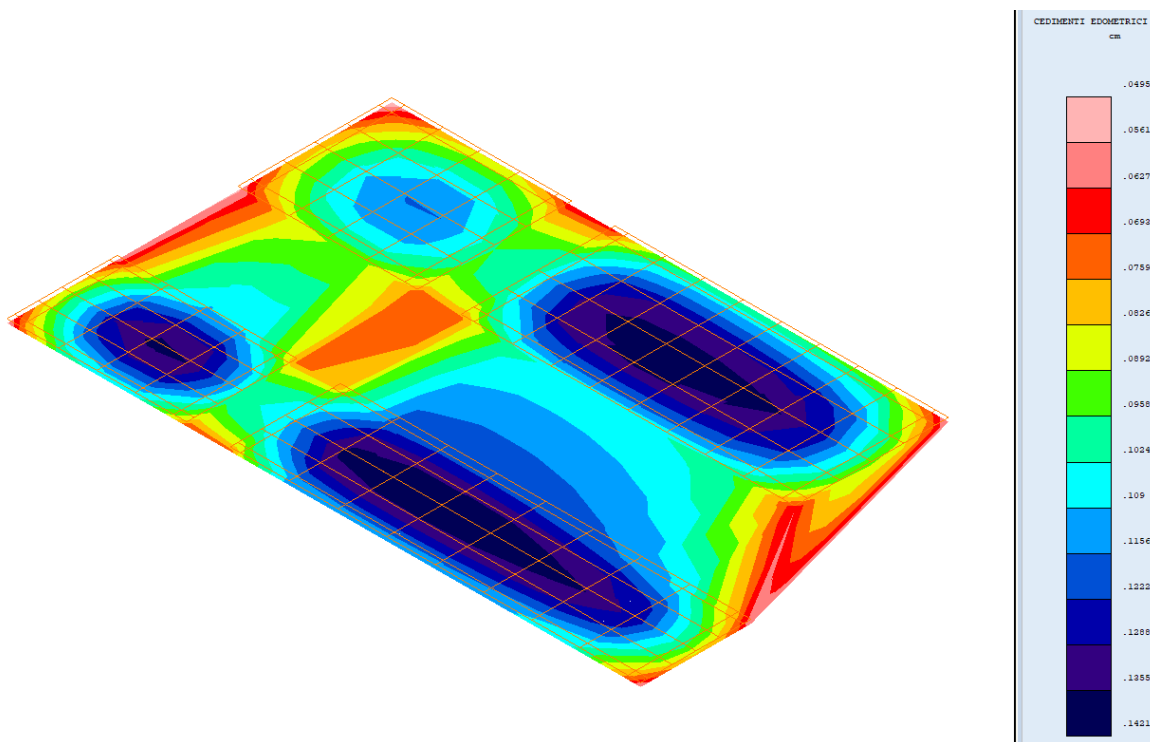


Figura 18: Cedimenti edometrici.

Il tecnico
Ing. Leonardo Sblendido



Professional stamp: Ingegnere LEONARDO SBLENDIDO, Laurea Specialistica, Sezione A, n. 1947, Cosenza, Informazione, Settore Civile-Ambientale-Industriale.