



Regione Emilia Romagna Comune di Ravenna (RA) Località Campiano



Impianto Agrivoltaico Campiano

Progetto per la realizzazione dell' impianto agrivoltaico avanzato di tipo zootecnico della potenza complessiva di 60 MWp, sito nel Comune di Ravenna, Località Campiano e relative opere connesse.

Progettista



Ambiente S.p.A.
Via C.Colombo 149, 00147 Roma (RM) Italia
P.IVA e C.F. 00262540453
Tel. +39 06 45678751
Web: www.ambientesca.it


0	07-04-2025	Emissione	A. De Pace	L. Nigro	M.I. Gianviti
Revisione	Data	Descrizione	Preparato	Verificato	Approvato

Proponente



Campiano Solar S.r.l.
Via Brigata Ebraica 50, 48123 Mezzano (RA) Italia
P.IVA e C.F. 02754580393
Tel. +39 0544 525311
Fax. +39 0544 525319
PEC: campianosolar@legalmail.it
Web: www.tozzigreen.com

0	07-04-2025	Emissione	C. Cicchiti	C. Vitali
Revisione	Data	Descrizione	Verificato	Approvato

EMESSO PER	TITOLO	SCALA	COMMESSA	
<input checked="" type="checkbox"/> DEFINITIVO	Relazione Tecnica Opere Civili	-	IT020BD046	
<input type="checkbox"/> COSTRUZIONE		FILE	FOGLIO	FORMATO
<input type="checkbox"/> AS BUILT	FIRMA PROGETTISTA	TGR-02-REL-003	1/1	A4
<input type="checkbox"/> INFORMAZIONE	FIRMA PROPONENTE	DOCUMENTO N.°		
		IT020BD046-TGR-02-REL-003		



RELAZIONE TECNICA OPERE CIVILI

INDICE

1. INTRODUZIONE.....	6
2. NORMATIVA TECNICA DI RIFERIMENTO	8
3. INQUADRAMENTO TERRITORIALE	9
4. INQUADRAMENTO GEOLOGICO GEOMORFOLOGICO E IDROGRAFICO.....	12
4.1 Geologia dell'area	12
4.2 Geomorfologia e idrografia superficiale	17
4.3 Condizioni topografiche	20
4.4 Idrogeologia.....	20
4.5 Elementi di rischio idraulico-idrogeologico.....	24
4.6 Indagini eseguite	26
5. DESCRIZIONE DELLE OPERE.....	31
5.5 Recinzione perimetrale	37
5.6 Strade di servizio	39
6. ANALISI DEI CARICHI	42
6.1 Materiali utilizzati.....	42
6.2 Pesi propri	43
7. VERIFICA DI RESISTENZA STRUTTURE IN ACCIAIO DEI TRACKER	76
7.2 Modello strutturale tracker.....	81

Campiano Solar S.R.L.

Sede legale: Via Brigata Ebraica 50 – 48123 Mezzano (RA)

P.IVA: 02754580393– **MAIL:** campianosolar@legalmail.it



RELAZIONE TECNICA OPERE CIVILI

7.3	Verifica a trazione.....	87
7.4	Verifica a Compressione.....	87
7.5	Verifica a taglio.....	88
7.6	Verifica a Pressoflessione deviata (biassiale).....	89
7.7	Verifica di instabilità per pressoflessione.....	89
7.8	Verifica di deformabilità allo SLE.....	90
8.	VERIFICHE FONDAZIONE TRACKER.....	97
8.1	Premesse	97
8.2	Carico limite verticale.....	98
9.	VERIFICHE FONDAZIONI LOCALI TECNICI	112
9.1	Premesse	112
9.2	Verifica carico limite (SLU)	116

Figure

Figura 1 Ubicazione sito su Ortofoto	10
---	-----------

Figura 2 Estratto Carta Tecnica Regionale - Regione Emilia-Romagna	11
---	-----------

Campiano Solar S.R.L.

Sede legale: Via Brigata Ebraica 50 – 48123 Mezzano (RA)

P.IVA: 02754580393– **MAIL:** campianosolar@legalmail.it



RELAZIONE TECNICA OPERE CIVILI

Figura 3 schema stratigrafico dei depositi plio-quaternari del bacino padano (fonte: regione emilia-romagna & eni-agip, 1998).....	15
Figura 4 – Stralcio del foglio geologico in scala 1.50.000 “Forlì – Cesena”.....	16
Figura 5 – Stralcio della sezione geologica C-C’ del foglio geologico in scala 1.50.000 “Forlì – Cesena”	17
Figura 6 – Reticolo idrografico superficiale.....	19
Figura 7 – Profilo stratigrafico dei depositi del sistema emiliano-romagnolo (memorie descrittive del foglio geologico in scala 1.50.000 “Forlì – Cesena”	21
Figura 8 –Banca dati delle perforazioni eseguite (www.ispraambiente.it).....	23
Figura 9 – Stralcio Tavola 240 NE-240 SE – 241 NO-241 “Tiranti idrici di riferimento”.....	25
Figura 10 – Ubicazione delle indagini eseguite.	26
Figura 11 –Diagrammi di resistenza CPT1.....	28
Figura 12 –Diagrammi di resistenza CPT2.....	29
Figura 13 Planimetria cabina di controllo	31
Figura 14 Assonometria cabina di trasformazione	32
Figura 15 Sezione rilevato trasformatore	33

Campiano Solar S.R.L.

Sede legale: Via Brigata Ebraica 50 – 48123 Mezzano (RA)

P.IVA: 02754580393– **MAIL:** campianosolar@legalmail.it



RELAZIONE TECNICA OPERE CIVILI

Figura 16 Sezione rilevato cabina di controllo.....	34
Figura 17 Sezione tipologica tracker.....	36
Figura 18 Tipologico recinzione di cantiere.....	38
Figura 19 Tipologico passaggio carrabile recinzione perimetrale.....	38
Figura 20 Dettaglio stratigrafia 1.....	40
Figura 21 Dettaglio stratigrafia 2.....	41
Figura 22 Vista posteriore pannello FV.....	48
Figura 23 Rappresentazione delle interferenze delle pressioni del vento tra file di tracker	51
Figura 24 Differenziazione dei tracker rispetto le interferenze per il vento.....	52
Figura 25 Forze del vento applicate al modello a 0° e 55°.....	63
Figura 26 Condizioni di carico di pensilina ad una falda	64
Figura 27 Spettri di risposta e parametri sismici di base.....	67
Figura 28 Modello 3D con indicazione dei componenti metallici.....	83
Figura 29 Riferimento globale del modello	84

Campiano Solar S.R.L.

Sede legale: Via Brigata Ebraica 50 – 48123 Mezzano (RA)

P.IVA: 02754580393– **MAIL:** campianosolar@legalmail.it



RELAZIONE TECNICA OPERE CIVILI

Figura 30-Sistema di riferimento locale travi	85
Figura 31 Sistema di riferimento locale pilastri	86
Figura 32 Meccanismo di rottura secondo Berezantzev	101
Figura 33 Meccanismo palo corto	105
Figura 34 Palo libero di ruotare in testa, terreno incoerente, palo corto	106
Figura 35 Palo libero di ruotare in testa, terreno incoerente, palo lungo.	108
Figura 36 Palo libero di ruotare in testa, terreno incoerente, palo lungo.	109
Figura 37 Palo impedito di ruotare in testa, terreni incoerenti, palo corto	110
Figura 38 Modello di verifica palo	111
Figura 39 Modello 3D cabina di controllo	113
Figura 40 Modello strutturale cabina di controllo	114
Figura 41 Tensioni SLU sul terreno cabina di controllo	115
Figura 42 Andamento tensioni indotte in sezione con la profondità.....	116
Figura 43 Andamento tensioni con la profondità cabina di trasformazione	116

Campiano Solar S.R.L.

Sede legale: Via Brigata Ebraica 50 – 48123 Mezzano (RA)

P.IVA: 02754580393– **MAIL:** campianosolar@legalmail.it



RELAZIONE TECNICA OPERE CIVILI

1. INTRODUZIONE

Lo scopo del presente documento è illustrare tecnicamente le opere civili presenti nel progetto dell'impianto agrivoltaico da realizzarsi presso loc. Campiano, nel comune di Ravenna (RA), l'impianto sarà caratterizzato da un utilizzo "ibrido" dei terreni agricoli per la produzione agricola e produzione di energia elettrica attraverso l'installazione, sullo stesso terreno, di impianti agrivoltaici in combinazione con la coltivazione agricola (agrivoltaico), in quanto dovranno essere rispettati specifici requisiti che verranno successivamente esposti. L'impianto sarà caratterizzato da una potenza nominale pari a 60 MWp, con potenza massima in immissione di 60 MW, da realizzarsi presso la frazione di Campiano nel comune di Ravenna (RA). L'impianto sarà del tipo grid-connected e l'energia elettrica prodotta sarà riversata in rete, con allaccio in alta tensione a 30 kV in modalità trifase. Considerando che la tecnologia fotovoltaica è in rapido sviluppo, dal momento della progettazione definitiva alla realizzazione dell'impianto le caratteristiche delle componenti principali (moduli fotovoltaici, inverter, strutture di supporto, etc.) potranno non essere più disponibili sul mercato e quindi potranno essere impiegate nella realizzazione tecnologie disponibili e più all'avanguardia, lasciando invariate le caratteristiche complessive e principali dell'intero impianto, sia in termini di potenza massima di produzione che di occupazione del suolo.

Di seguito si riporta la denominazione, potenza nominale di picco (DC) e potenza di immissione in rete (AC) dell'impianto agrivoltaico oggetto della presente relazione:

Campiano Solar S.R.L.

Sede legale: Via Brigata Ebraica 50 – 48123 Mezzano (RA)

P.IVA: 02754580393– **MAIL:** campianosolar@legalmail.it



RELAZIONE TECNICA OPERE CIVILI

DENOMINAZIONE IMPIANTO	Campiano
POTENZA NOMINALE DC (MWp)	60
POTENZA IN IMMISSIONE AC (MWac)	60

L'impianto verrà collegato in antenna a 132 kV su una nuova Stazione Elettrica (SE) della RTN a 132 kV da inserire in entra – esce alla linea RTN a 132 kV "Ravenna Alaggio – Savio", previo potenziamento/rifacimento della direttrice RTN a 132 kV "Ravenna Sud – Ravenna Alaggio – Savio – Cervia" e il superamento di eventuali elementi limitanti nelle Cabine Primarie interessate.

L'energia prodotta verrà immessa in rete al netto dei consumi per l'alimentazione dei servizi ausiliari necessari al corretto funzionamento ed esercizio dell'impianto stesso. L'idea alla base del presente sviluppo progettuale è quella di massimizzare la potenza di picco dell'impianto fotovoltaico in rapporto alla superficie utile di terreno disponibile nel pieno rispetto di tutte le norme tecniche di costruzione e di esercizio vigenti. La scelta dell'architettura di impianto e dei materiali da utilizzare per la costruzione tengono conto da un lato di quanto la moderna tecnologia è in grado di offrire in termini di materiali e dall'altro degli standard costruttivi propri della Società proponente.

Nel rispetto di quanto riportato secondo il preventivo di connessione di Terna, l'impianto in fase di esercizio sarà configurato affinché non venga superata la potenza pari a 60 MW di immissione in rete.

Campiano Solar S.R.L.

Sede legale: Via Brigata Ebraica 50 – 48123 Mezzano (RA)

P.IVA: 02754580393– **MAIL:** campianosolar@legalmail.it



RELAZIONE TECNICA OPERE CIVILI

2. NORMATIVA TECNICA DI RIFERIMENTO

Le fasi di analisi e verifica della struttura sono state condotte in accordo alle seguenti disposizioni normative, per quanto applicabili in relazione al criterio di calcolo adottato dal progettista:

- **Legge 5 novembre 1971 n. 1086** (G.U. 21 dicembre 1971 n. 321) “Norme per la disciplina delle opere di conglomerato cementizio armato, normale e precompresso ed a struttura metallica”.
- **Legge 2 febbraio 1974 n. 64** (G.U. 21 marzo 1974 n. 76). “Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche”.
- **D. M. Infrastrutture Trasporti 17/01/2018** (G.U. 20/02/2018 n. 42 - Suppl. Ord. n. 8) “Aggiornamento delle *Norme tecniche per le Costruzioni*”.
- **Circolare gennaio 2019, n. 7 C.S.LL.PP.** (G.U. Serie Generale n. 35 del 11/02/2019 Suppl. Ord. n.5) Istruzioni per l'applicazione dell'«Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni"» di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018.
- **Eurocodice 1 - “Azioni sulle strutture – Parte 1-4: Azioni del vento”** – EN 1991-1-4.
- **Eurocodice 2 - “Progettazione delle strutture in calcestruzzo”** - EN 1992.
- **Eurocodice 3 - “Progettazione delle strutture in acciaio”** - EN 1993
- **Eurocodice 7 - “Progettazione geotecnica”** - EN 1997.
- **Eurocodice 8 - Indicazioni progettuali per la resistenza sismica delle strutture** – Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici.
- **Istruzioni per la valutazione delle Azioni sulle Costruzioni.** (C.N.R. 10012/85);
- **UNI-EN 206/2021 “Calcestruzzo - Specificazione, prestazione, produzione e conformità”**

Campiano Solar S.R.L.

Sede legale: Via Brigata Ebraica 50 – 48123 Mezzano (RA)

P.IVA: 02754580393– **MAIL:** campianosolar@legalmail.it



RELAZIONE TECNICA OPERE CIVILI

3. INQUADRAMENTO TERRITORIALE

3.1 Ubicazione del sito

Il sito di interesse è ubicato in loc. Campiano, frazione del comune di Ravenna e presenta una superficie complessiva di circa 887.000 m² e si inserisce in un contesto periferico residenziale, produttivo e rurale. Si riporta nelle immagini a seguire l'ubicazione del sito e un estratto della Carta tecnica regionale dei dati territoriali della Regione Emilia-Romagna con indicazione dell'area di interesse per il presente documento. In rosso nella figura sottostante è riportato il percorso del cavidotto interrato per il collegamento dell'impianto alla sottocentrale elettrica e in ciano l'area dell'impianto agrivoltaico avanzato.

Campiano Solar S.R.L.

Sede legale: Via Brigata Ebraica 50 – 48123 Mezzano (RA)

P.IVA: 02754580393 – **MAIL:** campianosolar@legalmail.it



RELAZIONE TECNICA OPERE CIVILI



Figura 1 Ubicazione sito su Ortofoto

Campiano Solar S.R.L.

Sede legale: Via Brigata Ebraica 50 – 48123 Mezzano (RA)

P.IVA: 02754580393– **MAIL:** campianosolar@legalmail.it



RELAZIONE TECNICA OPERE CIVILI



Figura 2 Estratto Carta Tecnica Regionale - Regione Emilia-Romagna

L'elettrodotto in cavo verrà realizzato in conformità a quanto prescritto dalle Norme CEI 11-17 ed.III, 2007- 06, "Linee in cavo".

L'impianto di utenza per la connessione sarà realizzato in conformità alla Norma CEI 0-16 vigente.

Campiano Solar S.R.L.

Sede legale: Via Brigata Ebraica 50 – 48123 Mezzano (RA)

P.IVA: 02754580393– **MAIL:** campianosolar@legalmail.it



RELAZIONE TECNICA OPERE CIVILI

4. INQUADRAMENTO GEOLOGICO GEOMORFOLOGICO E IDROGRAFICO

4.1 Geologia dell'area

I caratteri geologici che definiscono la Pianura Padana traggono principalmente origine dagli studi di sismica a riflessione condotti da AGIP, che hanno evidenziato la presenza di depositi di età plio-quadernaria costituenti il riempimento del bacino di avansfossa compreso tra la catena appenninica a Sud e quella alpina a Nord. Lo spessore complessivo delle unità quadernarie risulta di circa 1.000÷1.500 m. L'evoluzione sedimentaria plio-quadernaria del bacino registra una 'tendenza regressiva' da depositi marini di ambiente progressivamente sempre meno profondo fino a depositi continentali. Si identificano quindi due distinti cicli sedimentari, uno marino (indicato in letteratura con 'Qm') ed uno continentale ('Qc'); tale tendenza risulta ben riconoscibile al margine appenninico (Ricci Lucchi et al., 1982). Recentemente gli studi condotti dalla Regione Emilia-Romagna & ENI-AGIP (1998), basati sui profili sismici integrati da dati stratigrafici di pozzi profondi, hanno permesso di identificare la superficie di discontinuità tra i due cicli sedimentari anche nel sottosuolo della Pianura Padana, in corrispondenza del limite tra il Supersistema del Quaternario Marino (corrispondente al ciclo Qm) e il sovrastante Supersistema Emiliano-romagnolo (ciclo Qc). All'interno di queste due unità sono state riscontrate da vari autori discontinuità minori, che portano alla distinzione di sequenze deposizionali di rango inferiore all'interno dei due cicli sedimentari, come riportato nella figura seguente.

Facendo riferimento allo studio della Regione Emilia-Romagna & ENI-Agip (1998), si riconoscono nel Supersistema Emiliano-Romagnolo, caratterizzato da uno spessore complessivo di circa 600÷700 m,

Campiano Solar S.R.L.

Sede legale: Via Brigata Ebraica 50 – 48123 Mezzano (RA)

P.IVA: 02754580393– **MAIL:** campianosolar@legalmail.it



RELAZIONE TECNICA OPERE CIVILI

due unità allostratigrafiche definite come Alloformazione Emiliano-Romagnola Inferiore e Alloformazione Emiliano-Romagnola Superiore. All'interno di quest'ultima sono presenti unità di rango inferiore (Allomembri) che registrano la ciclicità elementare.

Supersintema Emiliano-Romagnolo:

Il Supersintema Emiliano-Romagnolo è l'unità stratigrafica che comprende l'insieme dei depositi quaternari di origine continentale affioranti in corrispondenza del margine appenninico padano (ciclo Qc di Ricci Lucchi et al, 1982) ed i sedimenti ad essi correlati nel sottosuolo della pianura emiliano-romagnola. Questi ultimi, nell'area in esame, includono depositi alluvionali che passano verso Est a depositi deltizi e marini, organizzati in cicli deposizionali di vario ordine gerarchico. Il limite inferiore del Supersintema Emiliano-Romagnolo non affiora nell'area di studio, ma affiora solamente a ridosso del margine appenninico, dove è fortemente discordante sui depositi marini del Pleistocene medio (sabbie di Imola - IMO) e mio-pliocenici. Il limite superiore coincide col piano topografico. L'età dell'unità è Pleistocene medio – attuale (Regione Emilia-Romagna & ENI-AGIP, 1998).

Alloformazione Emiliano-Romagnola Superiore (AES):

Costituisce la porzione superiore del Supersintema Emiliano-Romagnolo. Nell'area di pianura comprende tutti i depositi continentali, deltizi, litorali e marini organizzati in successioni cicliche di alcune decine di metri di spessore. Nel sottosuolo l'Alloformazione appoggia localmente in discontinuità stratigrafica sull'Alloformazione Emiliano-Romagnola Inf. ed è suddivisibile in quattro cicli deposizionali. Il limite superiore corrisponde all'attuale superficie topografica. L'età è attribuibile al Pleistocene medio-Olocene. La porzione più investigata dell'alloformazione è rappresentata dai 120 m

Campiano Solar S.R.L.

Sede legale: Via Brigata Ebraica 50 – 48123 Mezzano (RA)

P.IVA: 02754580393 – **MAIL:** campianosolar@legalmail.it



RELAZIONE TECNICA OPERE CIVILI

sommitali: al di sotto dei sedimenti litorali, localmente affioranti, di età olocenica, attribuibili all'ultimo episodio trasgressivo quaternario (Allomembro di Ravenna), i primi depositi litorali e marini che si incontrano verso il basso stratigrafico sono rappresentati da un corpo tabulare alla profondità di circa -100 m slm, costituito da sabbie litorali e subordinatamente da argille di prodelta e transizione alla piattaforma. Al di sopra di questi sedimenti marini sono riconoscibili depositi di alcune decine di m prevalentemente argillosi di piana deltizia. La comparsa, intorno a -50 ÷ -70 m slm di corpi sabbiosi nastriformi, interpretati come depositi fluviali di valle incisa, segna il passaggio ai sedimenti alluvionali che costituiscono la porzione dell'alloformazione immediatamente sottostante all'Allomembro di Ravenna. Questo intervallo è caratterizzato da argille e limi di piana inondabile, con subordinate sabbie di canale, (Regione Emilia-Romagna, 1999).

glacioeustatica di IV ordine e che per loro natura ciclica costituiscono le unità cartografiche di riferimento.

Campiano Solar S.R.L.

Sede legale: Via Brigata Ebraica 50 – 48123 Mezzano (RA)

P.IVA: 02754580393 – **MAIL:** campianosolar@legalmail.it



RELAZIONE TECNICA OPERE CIVILI

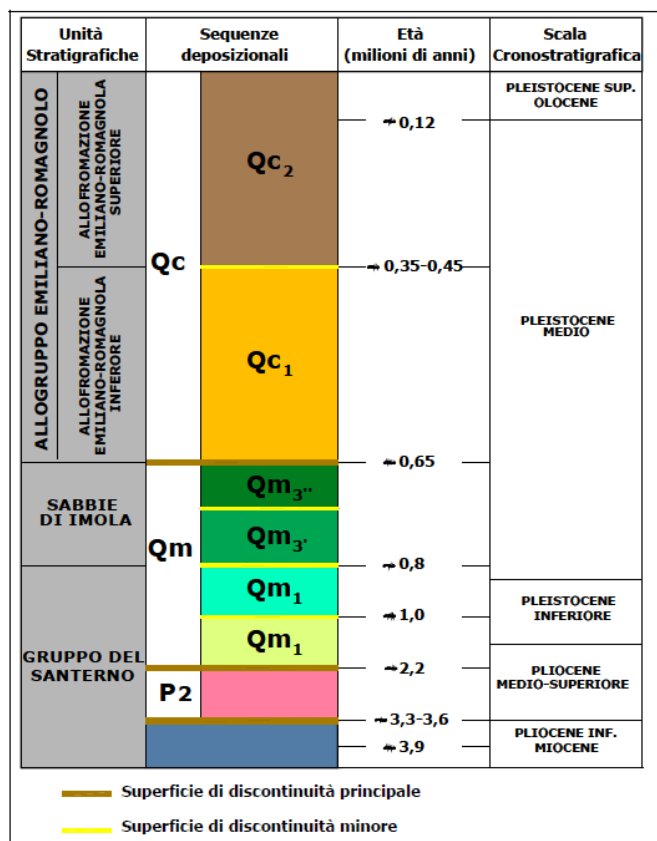


Figura 3 schema stratigrafico dei depositi plio-quadernari del bacino padano (fonte: regione emilia-romagna & eni-agip, 1998)

I terreni presenti negli strati più superficiali sono il frutto di eventi geologico-deposizionali di tipo alluvionale, succedutisi in epoche recenti. La distribuzione tessiturale di questi sedimenti risulta quindi in stretta connessione con la dinamica tipica degli ambienti sedimentari fluviali di pianura alluvionale. Dallo studio della Carta Geologica d'Italia in scala 1:50.000 l'area di progetto ricade al

Campiano Solar S.R.L.

Sede legale: Via Brigata Ebraica 50 – 48123 Mezzano (RA)

P.IVA: 02754580393 – **MAIL:** campianosolar@legalmail.it



RELAZIONE TECNICA OPERE CIVILI

marginale settentrionale del Foglio n. 240-241 "Forlì - Cervia" e nella formazione de Depositi Deltizi di "Prodelta e Transazione alla Piattaforma" costituiti da: Argille e limi ricchi di materiale conchigliare, con intercalazioni di sabbie fini e finissime in strati molto sottili e sottili. Affiorano solo nel settore a mare.

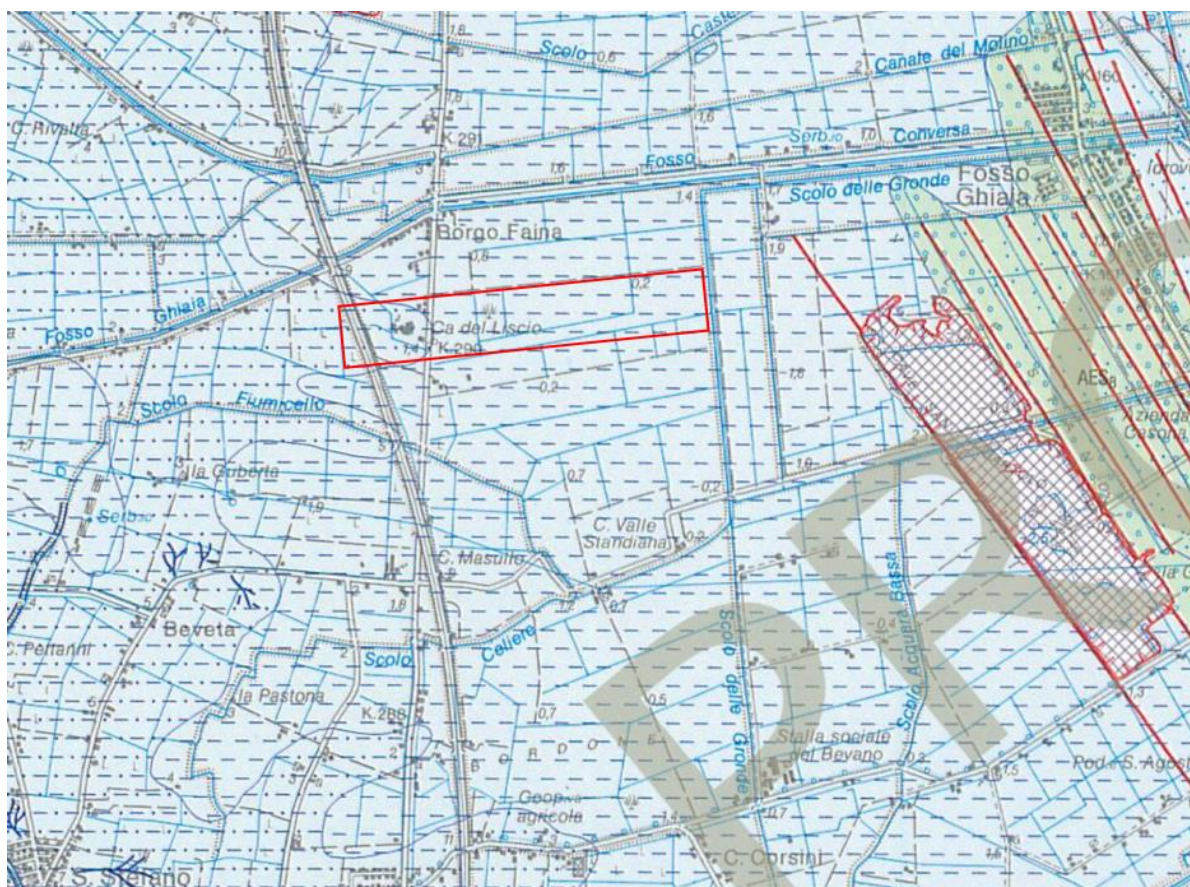


Figura 4 – Stralcio del foglio geologico in scala 1.50.000 "Forlì – Cesena"

Campiano Solar S.R.L.

Sede legale: Via Brigata Ebraica 50 – 48123 Mezzano (RA)

P.IVA: 02754580393– **MAIL:** campianosolar@legalmail.it



RELAZIONE TECNICA OPERE CIVILI

Si riporta nel seguito uno stralcio della sezione geologica C-C' dalla cartografia geologica in scala 1:50.000 del foglio Forlì-Cesena che è ubicata a poca distanza in direzione sud dall'area di studio. In tale sezione è possibile vedere i rapporti strutturali delle unità dei sistemi deposizionali.

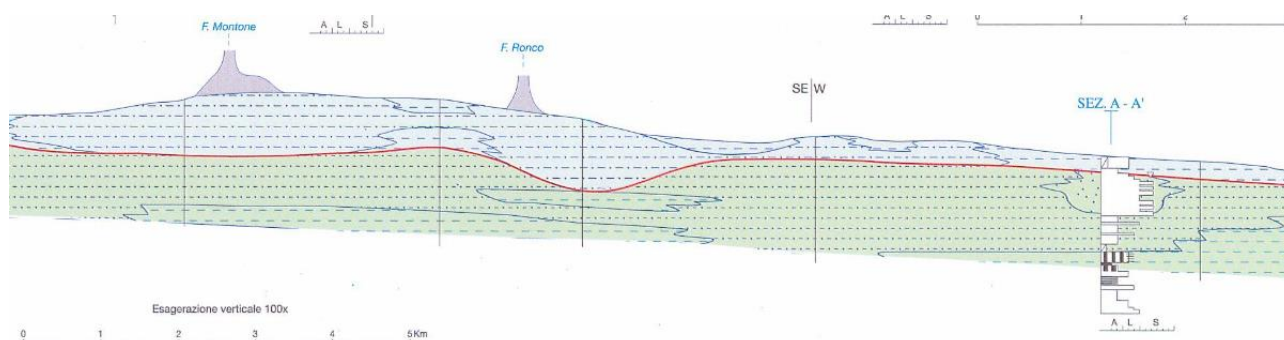


Figura 5 – Stralcio della sezione geologica C-C' del foglio geologico in scala 1.50.000 "Forlì – Cesena"

4.2 Geomorfologia e idrografia superficiale

Il contesto geomorfologico è strettamente connesso al modello genetico di formazione del territorio. Nel territorio di studio gli elementi morfologici maggiori e più rilevanti sono quelli legati all'evoluzione del sistema idrografico, che a sua volta viene condizionato dai caratteri climatici prevalenti e dalle condizioni geologiche del sottosuolo. Occorre inoltre considerare che il territorio ha subito nel tempo significative trasformazioni antropiche. Non è semplice quindi riconoscere e ricostruire gli allineamenti fisici e morfologici originari ed anche molti 'fenomeni ambientali' che si verificano attualmente sono di difficile interpretazione, essendo spesso dipendenti o comunque connessi all'intervento dell'uomo sull'ambiente. Tra gli agenti che concorrono all'assetto morfologico del territorio, la subsidenza, in parte di origine naturale in parte legata ai prelievi di fluido dal sottosuolo, è tra quelli attualmente

Campiano Solar S.R.L.

Sede legale: Via Brigata Ebraica 50 – 48123 Mezzano (RA)

P.IVA: 02754580393– **MAIL:** campianosolar@legalmail.it



RELAZIONE TECNICA OPERE CIVILI

attivi. Studi effettuati indicano per i dintorni dell'area di studio velocità di movimento verticale del suolo, comprese tra circa 5 e 10 mm/anno nei periodi 1999-2000 e 2002-2006.

Il territorio di studio è occupato dai depositi tardo-quadernari della Pianura Padana. Il Piano topografico scende progressivamente verso NE fino a raggiungere il livello del mare. L'area topograficamente depressa al disotto del livello del mare è presente nella pianura costiera a ridosso di Fosso Ghiaia (Valle Standina). Il territorio di studio è interessato da un fitto reticolo di corsi d'acqua. I fiumi principali, che scorrono da SO verso NE, seguendo il gradiente topografico regionale. I fiumi principali, il Fiume Montone e il Fiume Ronco confluiscono insieme immediatamente a sud di Ravenna e formano i Fiumi Uniti. I fiumi e i canali sono confinati tramite argini, in gran parte artificiali, che diventano particolarmente elevati nel settore della bassa pianura. I corsi d'acqua secondari sono dati da una fitta rete di torrenti, fossi, scoli e canali di bonifica che drenano, in gran parte la bassa pianura nord - orientale a sud di Ravenna.

Campiano Solar S.R.L.

Sede legale: Via Brigata Ebraica 50 – 48123 Mezzano (RA)

P.IVA: 02754580393– **MAIL:** campianosolar@legalmail.it



RELAZIONE TECNICA OPERE CIVILI

4.3 Condizioni topografiche

L'area in cui ricade l'area l'impianto ricade su dei terreni agricoli in un contesto prettamente pianeggiante. Secondo quanto riportato nella tab. 3.2. IV delle NTC 2018 la caratteristica topografica dell'area risulta essere in categoria T1 (Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$).

4.4 Idrogeologia

Gli acquiferi della pianura emiliano – romagnola sono costituiti principalmente dai depositi di origine alluvionale presenti nella porzione più superficiale della pianura, per uno spessore di circa $400 \div 500$ m. e, in minima parte, da depositi marino marginali. Procedendo quindi dal margine verso nord, si trovano nell'ordine: le conoidi alluvionali, la pianura alluvionale appenninica e la pianura alluvionale e deltizia del Po.

Gli acquiferi sono presenti sia nei depositi di conoide e di pianura, che più in profondità nel sottosuolo, e possono essere suddivisi in tre grandi gruppi chiamati A, B e C (R.E.R. & ENI-AGIP 1998) separati verticalmente da strati impermeabili, e classificati in base a profondità, spessore e produttività idrica. Ogni gruppo è composto di più acquiferi minori. Le alluvioni della pianura costituiscono formazioni con importanti livelli permeabili; esse sono delimitate a monte dalle formazioni collinari decisamente impermeabili o semipermeabili ad eccezione delle zone in corrispondenza degli alvei fluviali dove le alluvioni permeabili si addentrano, restringendosi progressivamente verso monte, nelle formazioni impermeabili, costituendo con le acque fluviali e di subalveo le zone più importanti per l'alimentazione dei conoidi sotterranei. La sede dell'acquifero è costituita da un insieme di strati ghiaiosi molto dispersi, verso la pianura, entro una naturale massa di sedimenti argillosi e limosi la cui alimentazione è legata

Campiano Solar S.R.L.

Sede legale: Via Brigata Ebraica 50 – 48123 Mezzano (RA)

P.IVA: 02754580393– **MAIL:** campianosolar@legalmail.it



RELAZIONE TECNICA OPERE CIVILI

prevalentemente al subalveo dei fiumi ed alla permeabilità delle zone pedecollinari. I contenitori principali delle acque dolci, attualmente sfruttate per gli usi idropotabili, sono pertanto costituiti dai conoidi dei corsi d'acqua che interessano il territorio della provincia di Ravenna, i quali, di conseguenza, risultano zone altamente vulnerabili all'inquinamento.

Si riporta nel seguito un profilo stratigrafico rappresentativo in cui è riportato l'andamento delle unità deposizionali più grossolane.

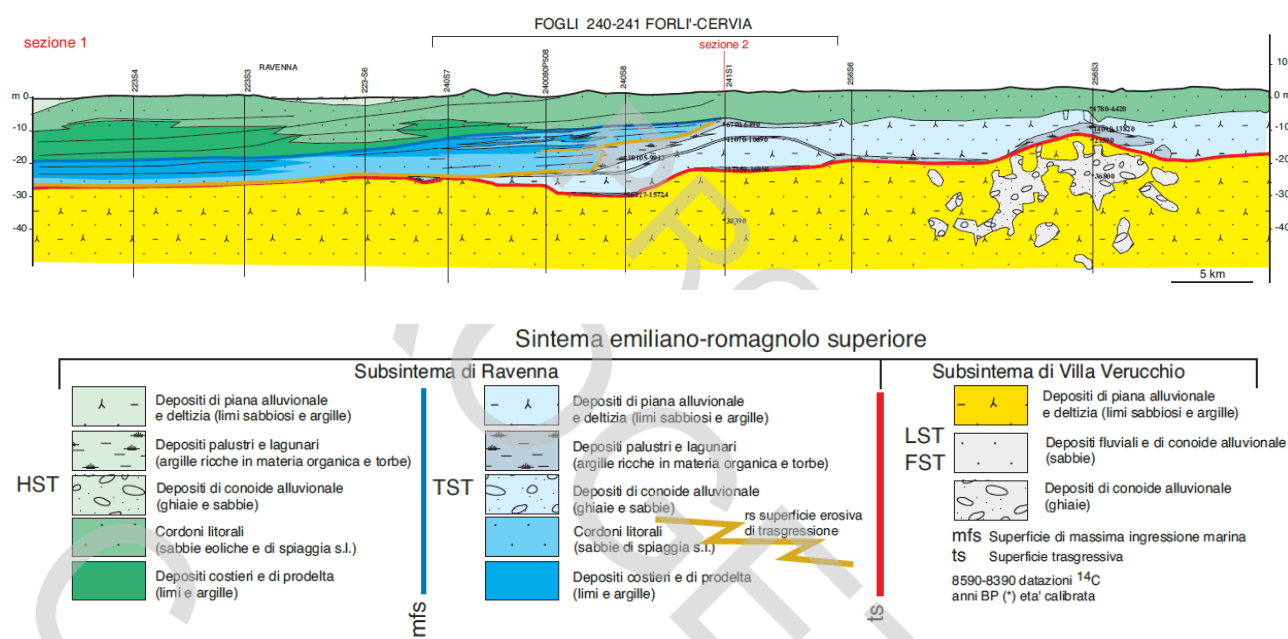


Figura 7 – Profilo stratigrafico dei depositi del sistema emiliano-romagnolo (memorie descrittive del foglio geologico in scala 1.50.000 "Forlì – Cesena")

Campiano Solar S.R.L.

Sede legale: Via Brigata Ebraica 50 – 48123 Mezzano (RA)

P.IVA: 02754580393– **MAIL:** campianosolar@legalmail.it



RELAZIONE TECNICA OPERE CIVILI

Si riportano nel seguito i risultati delle prove di permeabilità (Lefranc a carico variabile) eseguite in occasione della campagna geognostica nell'ambito dello studio del progetto per la realizzazione del Foglio Geologico in scala 1.50.000 "Forlì – Cesena".

Sondaggio	Profondità (m)	Unità stratigrafica	Tessitura	Conducibilità idraulica media (m/sec)
240-S1	10.5	AES ₇	Ghiaia in matrice sabbiosa	$3.8 \cdot 10^{-5}$
240-S1	72.5	AES ₅	Ghiaia in matrice sabbiosa	$5.7 \cdot 10^{-6}$
240-S1	141.5	AEI	Sabbia	$5.1 \cdot 10^{-6}$

Tabella 1 – Risultati delle prove di permeabilità eseguite in foro (memorie descrittive del foglio geologico in scala 1.50.000 "Forlì – Cesena")

Dallo studio del catalogo ISPRA sui pozzi presenti nella zona di studio, acquisiti ai sensi della Legge del 4 agosto 1984 n. 464, si evince che la superficie piezometrica, in accordo con la carta idrogeologica, risulta essere ad una profondità variabile da 2 a 5 metri dal piano campagna.

Campiano Solar S.R.L.

Sede legale: Via Brigata Ebraica 50 – 48123 Mezzano (RA)

P.IVA: 02754580393– **MAIL:** campianosolar@legalmail.it



RELAZIONE TECNICA OPERE CIVILI

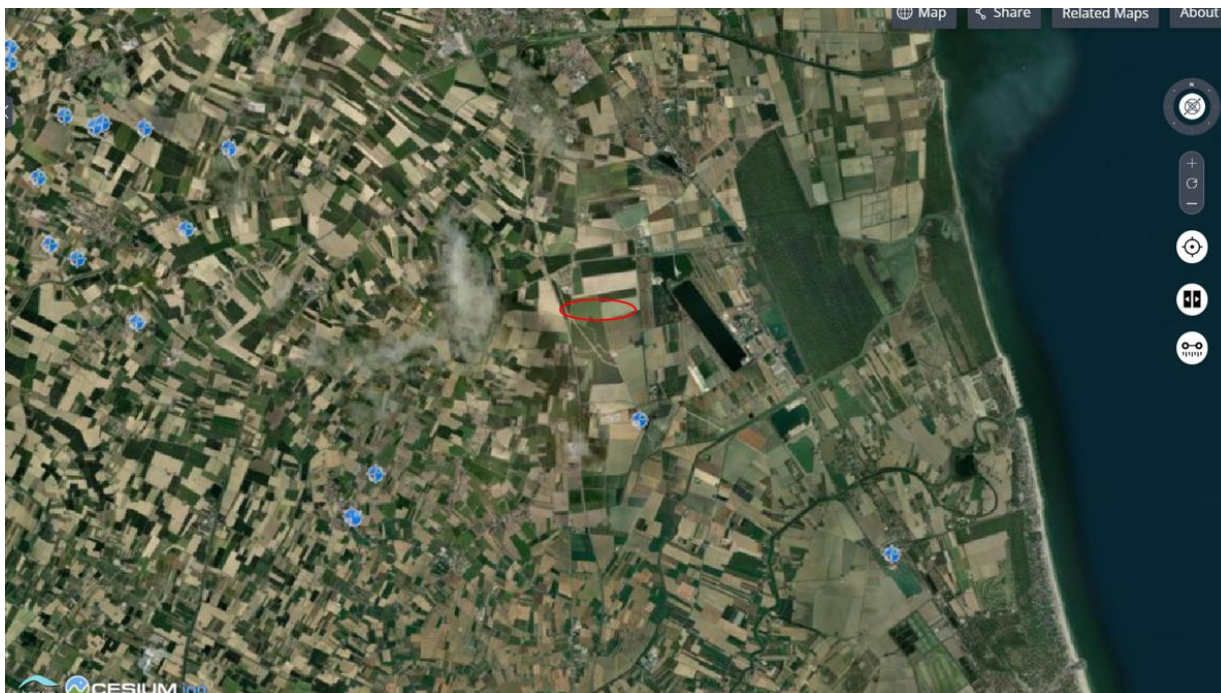


Figura 8 – Banca dati delle perforazioni eseguite (www.ispraambiente.it)

Le indagini eseguite nel mese di agosto 2024 hanno evidenziato la presenza di una falda idrica alla profondità variabile da – 1,7 a – 2,4 metri dal p.c.

Campiano Solar S.R.L.

Sede legale: Via Brigata Ebraica 50 – 48123 Mezzano (RA)

P.IVA: 02754580393 – **MAIL:** campianosolar@legalmail.it



RELAZIONE TECNICA OPERE CIVILI

4.5 Elementi di rischio idraulico-idrogeologico

L'analisi del rischio idraulico ed idrogeologico è basata sull'osservazione degli strumenti di pianificazione territoriale che individuano le diverse tipologie di pericolosità.

I piani e programmi che definiscono detto quadro di riferimento sono:

- Piano di Assetto Idrogeologico (PAI);
- Piano di Gestione del Rischio di Alluvione (PGRA).

Come da punto 4 art.6, l'Autorità di Bacino ha definito i tiranti idrici di riferimento per le diverse aree di potenziale allagamento. Per tirante idrico si intende il valore dell'altezza d'acqua atteso a seguito di possibili esondazioni, misurato dall'intersezione tra piano di campagna e superficie liquida, variabile in relazione alla morfologia locale del terreno. Nella figura seguente è riportato lo stralcio con l'ubicazione dell'area di studio, della tavola dei tiranti idrici di riferimento per le aree di pianura sottoposte a rischio di allagamento.

Campiano Solar S.R.L.

Sede legale: Via Brigata Ebraica 50 – 48123 Mezzano (RA)

P.IVA: 02754580393– **MAIL:** campianosolar@legalmail.it

RELAZIONE TECNICA OPERE CIVILI

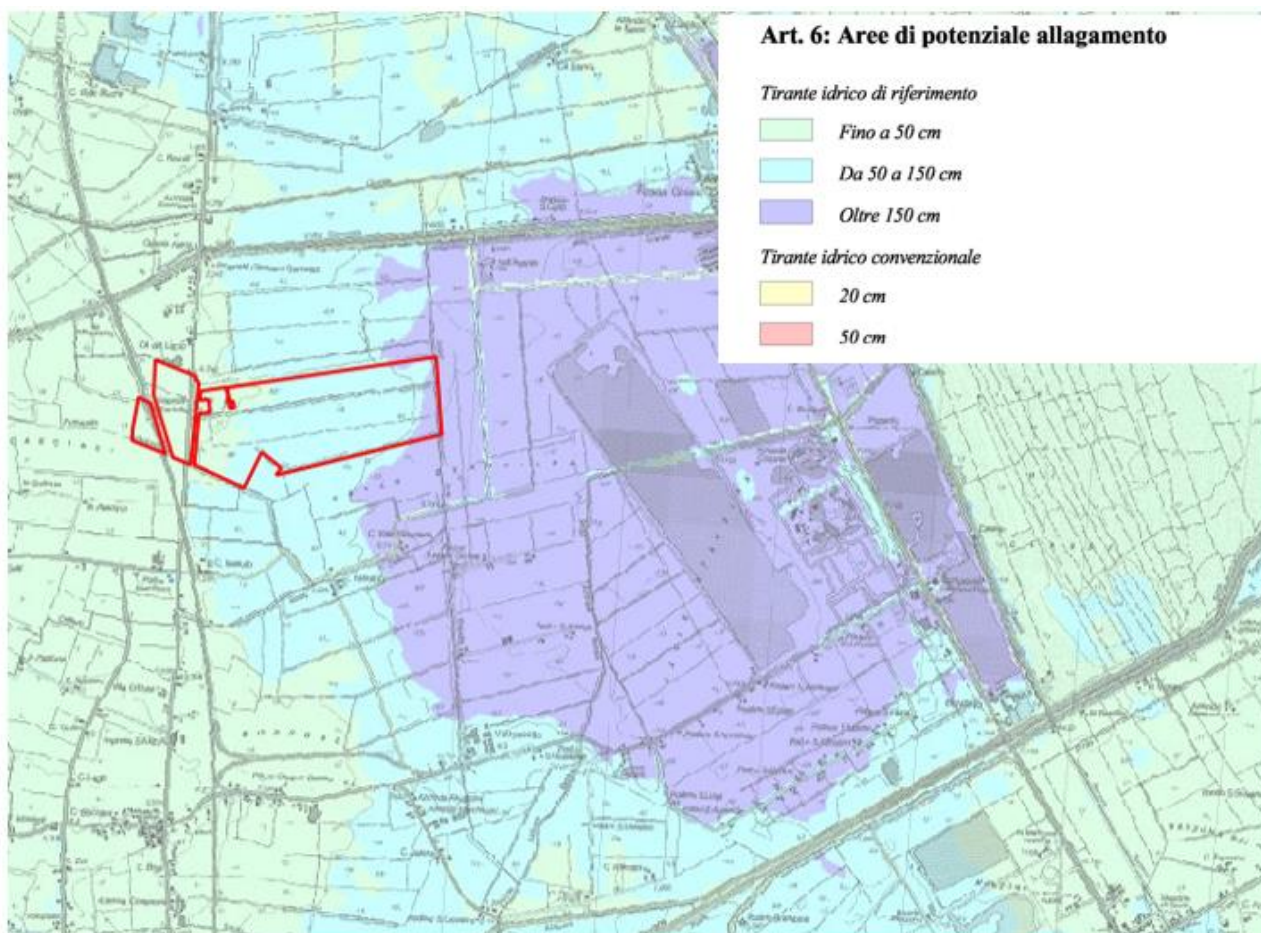


Figura 9 – Stralcio Tavola 240 NE-240 SE – 241 NO-241 “Tiranti idrici di riferimento”

La superficie dell’area del progetto presenta un tirante idrico fino a 50 cm nel settore centro occidentale, compreso tra 50 e 150 cm per la maggior parte dell’area e superiore a 150 cm nella porzione orientale del progetto.

Campiano Solar S.R.L.

Sede legale: Via Brigata Ebraica 50 – 48123 Mezzano (RA)

P.IVA: 02754580393– **MAIL:** campianosolar@legalmail.it



RELAZIONE TECNICA OPERE CIVILI

4.6 Indagini eseguite

Nel mese di agosto 2024 sono state eseguite le seguenti indagini geotecniche e geofisiche propedeutiche alla progettazione delle opere in progetto:

- n. 2 prove CPT spinto sino alla profondità di 30 metri dal p.c.,
- n. 2 prove sismiche a rifrazione,
- n. 2 MASW,
- n. 1 HVSR.



Figura 10 – Ubicazione delle indagini eseguite.

Campiano Solar S.R.L.

Sede legale: Via Brigata Ebraica 50 – 48123 Mezzano (RA)

P.IVA: 02754580393– **MAIL:** campianosolar@legalmail.it



RELAZIONE TECNICA OPERE CIVILI

○ PROVE CPT

La prova Penetrometrica Statica C.P.T. (Cone Penetration Test) consiste nell'infiggere nel terreno, ad una velocità costante pari a 2 cm/s, una punta conica standard (Tipo Begemann) sormontata da un manicotto di attrito laterale. La spinta necessaria viene trasmessa alla punta da un gruppo a pistoni idraulici che sviluppa una forza massima di 20 t, mediante una batteria di tubi ed aste. Ogni 20 cm di avanzamento vengono misurati, mediante cella di carico a trasduzione digitale, i seguenti valori:

- Rp resistenza di punta espressa in Kg/cm^2
- Rt resistenza totale (resistenza di punta e resistenza laterale) espressa in Kg/cm^2

L'elaborazione di questi dati permette di individuare la sequenza stratigrafica dei terreni attraversati e grazie a formule empiriche e correlazioni grafiche (Begmann o Shmertmann) si possono ottenere con sufficiente attendibilità i parametri geotecnici necessari alla determinazione delle caratteristiche geomeccaniche dei terreni. A causa della distanza intercorrente fra il manicotto laterale e la punta conica del penetrometro, la resistenza laterale viene correlata, in fase di elaborazione con la corrispondente profondità di rilievo della Rp. L'intervallo di lettura può comportare talvolta, nel caso di terreni aventi stratificazione inferiore a 20 cm, la mancata individuazione di orizzonti potenzialmente rilevanti.

Sono state eseguite nello specifico n. 2 prove CPT spinte sino alla profondità di – 30 metri dal p.c.

Si riportano nel seguito i diagrammi di resistenza delle prove CPT.

Campiano Solar S.R.L.

Sede legale: Via Brigata Ebraica 50 – 48123 Mezzano (RA)

P.IVA: 02754580393 – **MAIL:** campianosolar@legalmail.it



RELAZIONE TECNICA OPERE CIVILI

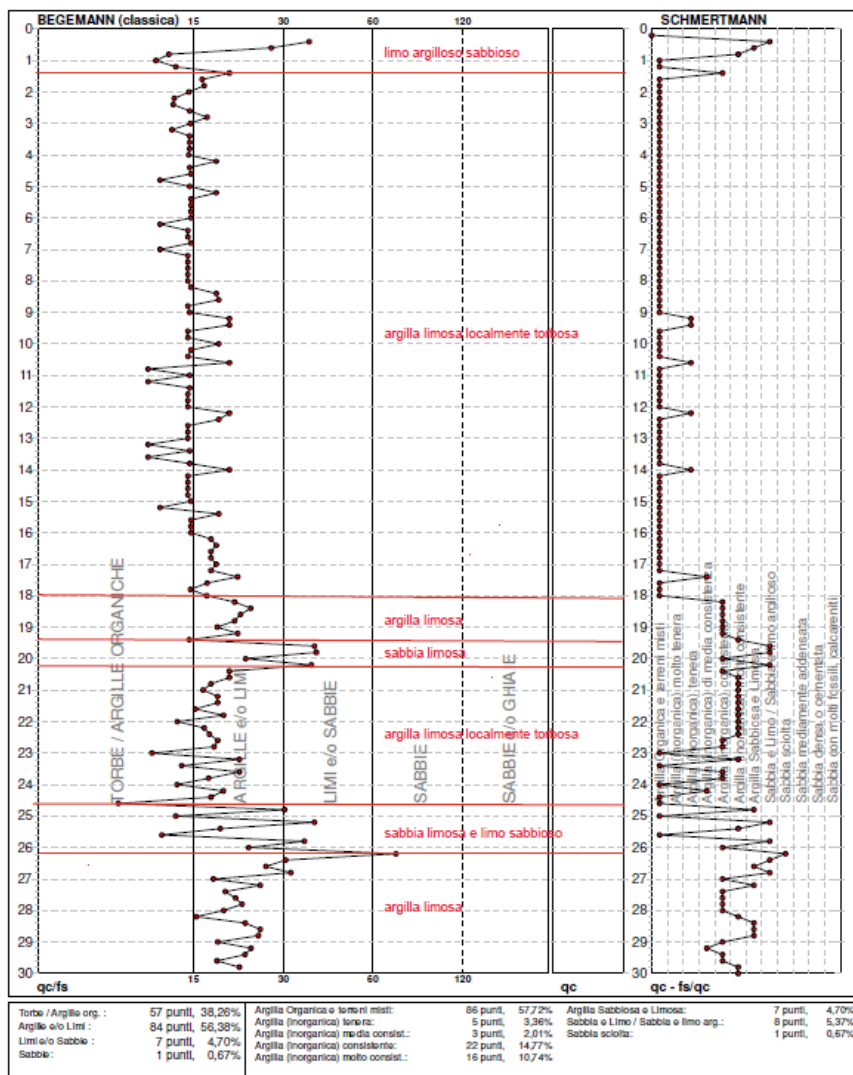


Figura 11 –Diagrammi di resistenza CPT1

Campiano Solar S.R.L.

Sede legale: Via Brigata Ebraica 50 – 48123 Mezzano (RA)

P.IVA: 02754580393– MAIL: campianosolar@legalmail.it



RELAZIONE TECNICA OPERE CIVILI

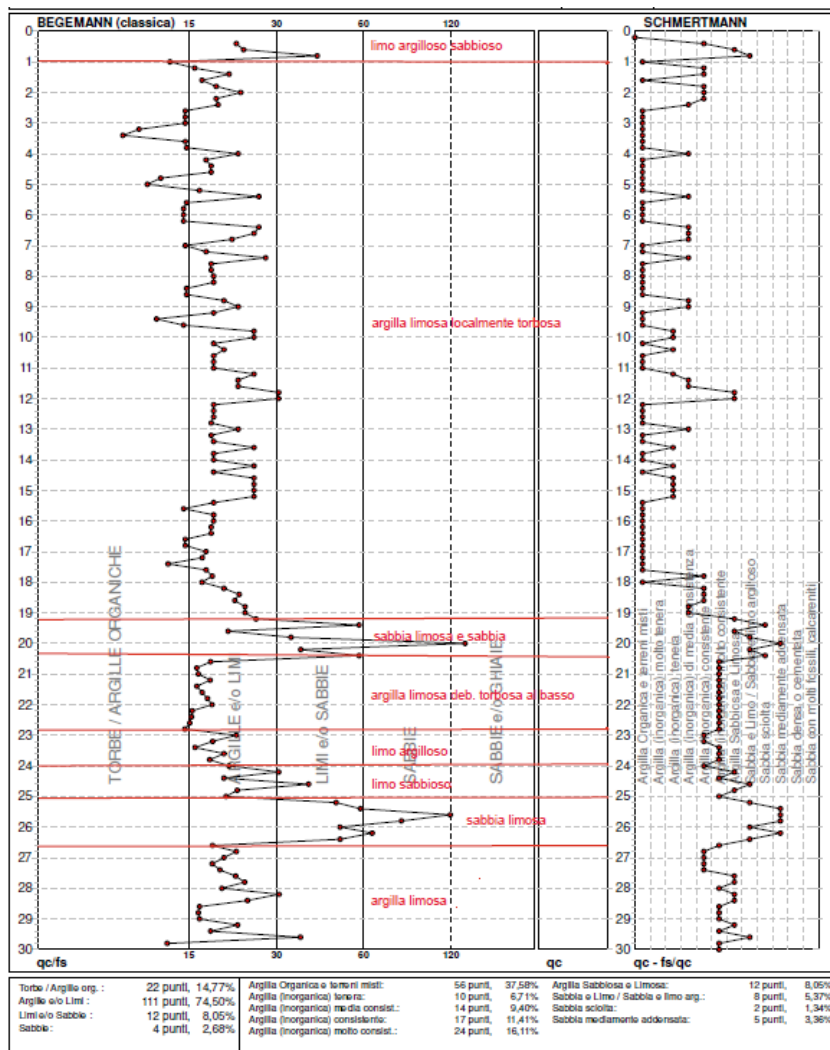


Figura 12 –Diagrammi di resistenza CPT2

Campiano Solar S.R.L.

Sede legale: Via Brigata Ebraica 50 – 48123 Mezzano (RA)

P.IVA: 02754580393– MAIL: campianosolar@legalmail.it



RELAZIONE TECNICA OPERE CIVILI

RICOSTRUZIONE STRATIGRAFICA

La tabella che segue riporta l'interpretazione litologica ed i parametri geotecnici stimati dalle prove eseguite in sito. I parametri geotecnici forniti sono da considerarsi come dati medi, stimati sulla base delle elaborazioni eseguite e sulle conoscenze dei terreni dell'area, relativi al volume significativo di terreno interessato dalle opere di fondazione in progetto.

Prova CPT 1 / CPT2						
Profondità da p.c.	Litologia	Peso unità di volume	Peso unità di volume saturo	Coesione	Angolo di resistenza al taglio	Modulo elastico
[m]		[KN/m3]	[KN/m3]	[KN/m2]	[°]	[MN/m2]
0,00 ÷ 1,00	Limo argilloso sabbioso	19,5	20	110	24	189,83
1,00 ÷ 6,00	Argilla limosa localmente torbosa	18,75	19	20	18	45,54

Tabella 2 – Interpretazione stratigrafica CPT1-CPT2

Campiano Solar S.R.L.

Sede legale: Via Brigata Ebraica 50 – 48123 Mezzano (RA)

P.IVA: 02754580393 – **MAIL:** campianosolar@legalmail.it



RELAZIONE TECNICA OPERE CIVILI

5. DESCRIZIONE DELLE OPERE

I cabinati che si descriveranno di seguito si intendono come opere prefabbricate realizzate in appositi stabilimenti e posate sulle opere di fondazione verificate per il peso complessivo sovrastante. Le cabine sono scelte in base alle esigenze della componentistica elettrica necessaria ai fini del corretto funzionamento dell'architettura elettrica. Le prestazioni strutturali e impiantistiche offerte dai cabinati saranno garantite dal fornitore, si riserva dunque di non verificare le seguenti opere.

5.1 Cabina di controllo

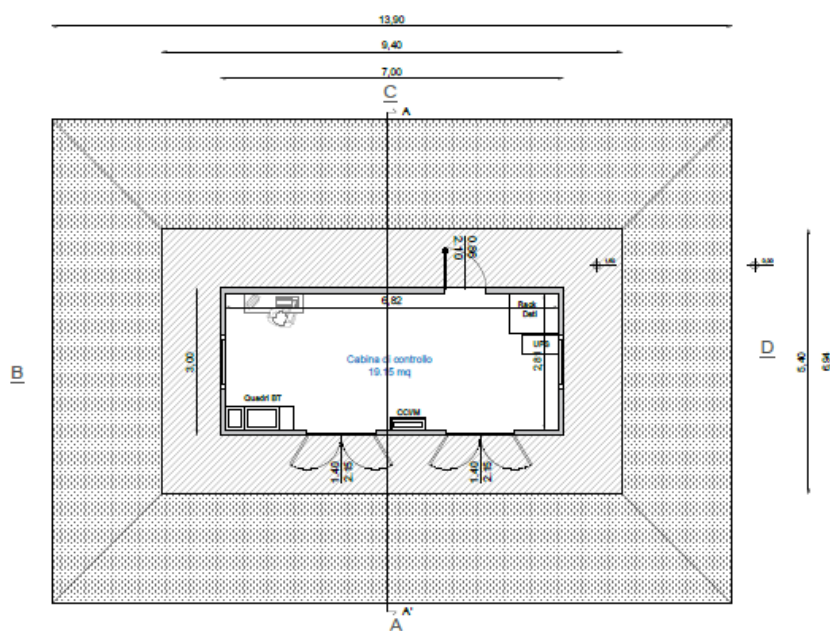


Figura 13 Planimetria cabina di controllo

Campiano Solar S.R.L.

Sede legale: Via Brigata Ebraica 50 – 48123 Mezzano (RA)

P.IVA: 02754580393 – **MAIL:** campianosolar@legalmail.it

RELAZIONE TECNICA OPERE CIVILI

5.2 Cabine di trasformazione

Si prevede l'installazione di dieci cabine di trasformazione. Ogni cabina di campo conterrà i quadri di campo in BT, il trasformatore elevatore di tensione BT/MT e gli organi di comando e protezione MT contenuti negli appositi scomparti e gli elementi inverter, come rappresentato negli elaborati grafici progettuali. Il quadro di Bassa Tensione conterrà la protezione per le linee dei dispositivi ausiliari e prevederà anche il parallelo tra gli inverter. I Quadri di Media Tensione saranno completamente assemblati in fabbrica e certificati, conforme alle IEC 62271-200 e saranno composti da unità di tipo modulare compatte ad isolamento in aria, equipaggiate con apparecchiature di interruzione e sezionamento isolate in SF6.

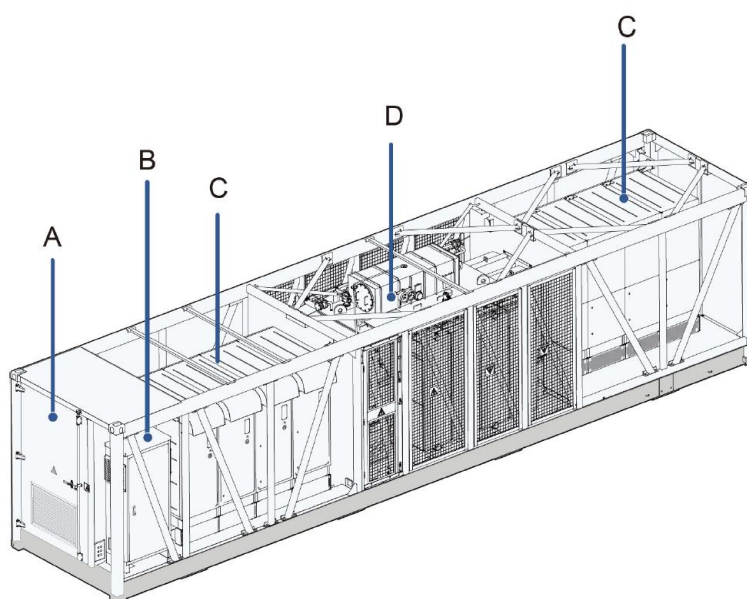


Figura 14 Assonometria cabina di trasformazione

Campiano Solar S.R.L.

Sede legale: Via Brigata Ebraica 50 – 48123 Mezzano (RA)

P.IVA: 02754580393 – **MAIL:** campianosolar@legalmail.it

RELAZIONE TECNICA OPERE CIVILI

5.3 Opere di fondazione in rilevato cabinati

Per i cabinati di trasformazione si prevede una fondazione in rilevato di 0,60 cm in modo da tener conto di un battente idraulico massimo si 1,50 m (si tiene conto nelle quote totali il rialzo del calpestio della cabina tramite la vasca di raccolta dell'olio) nell'area di progetto.

Per la cabina di controllo il rilevato si attesta ad una quota di 1,50 m in quanto la vasca di raccolta non risulta presente per questa tipologia di cabinato.

Il rilevato prevede vari spessori di strati per garantire indeformabilità sotto il carico, stabilità volumetrica sotto l'azione dell'acqua e stabilità delle scarpate. L'opera sarà realizzata per ogni cabinato presente con un margine dalle pareti estere di circa un metro, perciò, la piattaforma sarà di volta in volta di dimensioni differenti a seconda delle dimensioni dei cabinati sovrastanti.

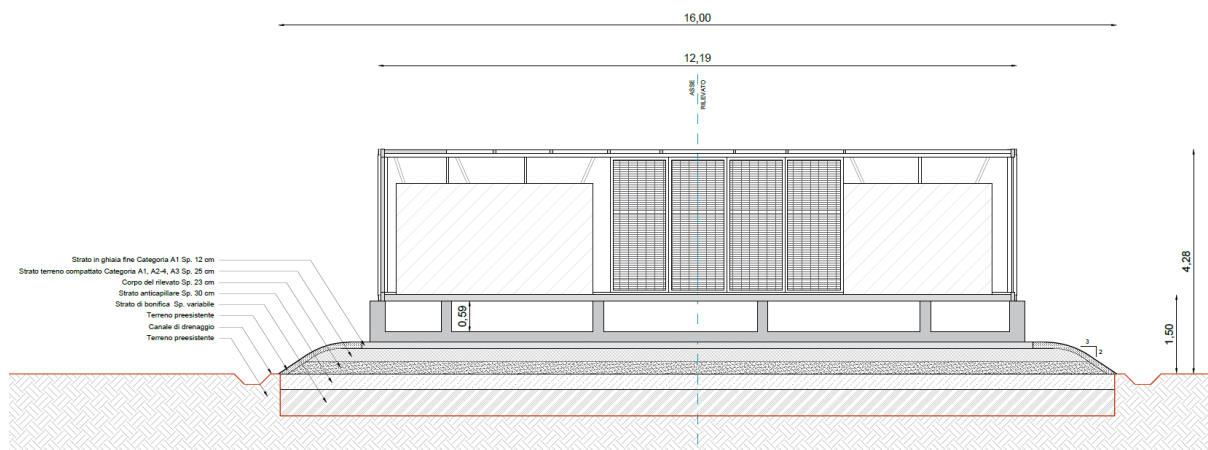


Figura 15 Sezione rilevato trasformatore

Campiano Solar S.R.L.

Sede legale: Via Brigata Ebraica 50 – 48123 Mezzano (RA)

P.IVA: 02754580393– **MAIL:** campianosolar@legalmail.it



RELAZIONE TECNICA OPERE CIVILI

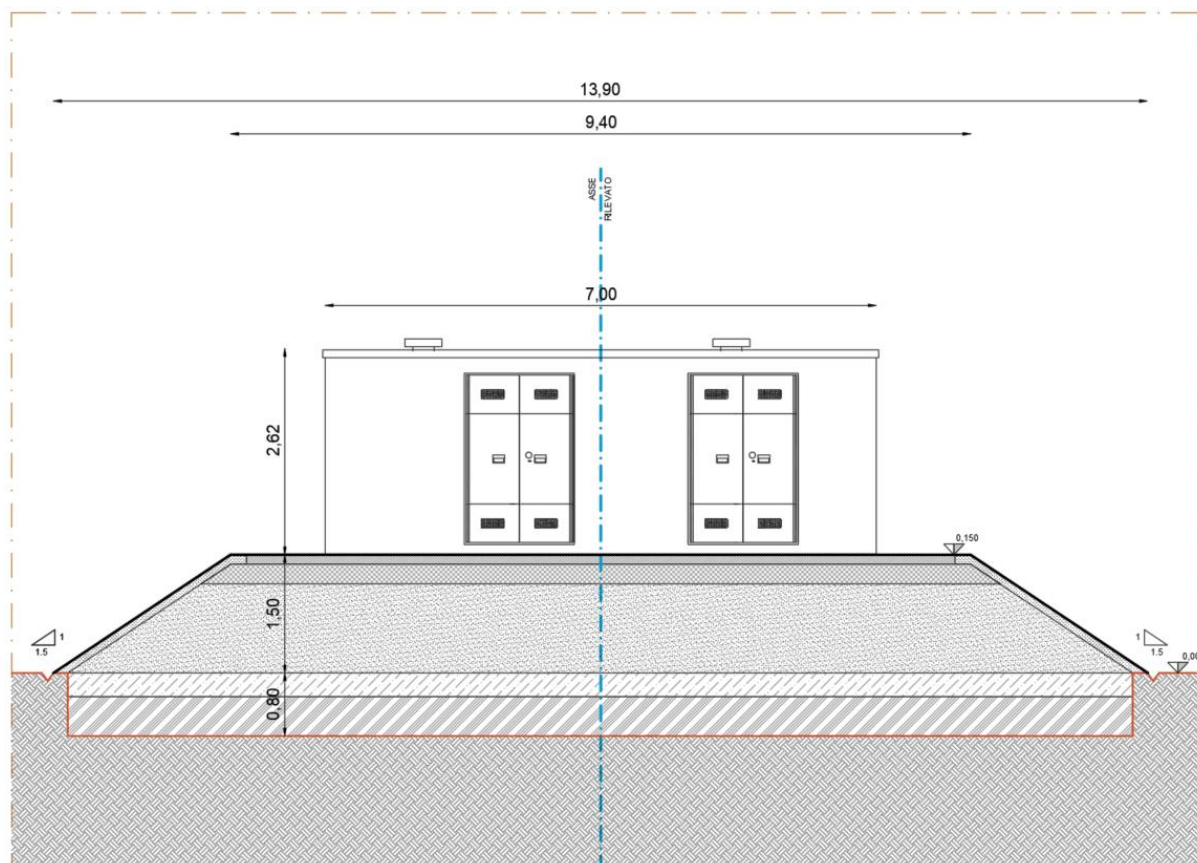


Figura 16 Sezione rilevato cabina di controllo

Campiano Solar S.R.L.

Sede legale: Via Brigata Ebraica 50 – 48123 Mezzano (RA)

P.IVA: 02754580393 – **MAIL:** campianosolar@legalmail.it



RELAZIONE TECNICA OPERE CIVILI

5.4 Tracker

Le opere civili a supporto dei pannelli fotovoltaici sono composte da una serie di profilati metallici in elevazione e una parte interrata realizzata con pali infissi metallici, atta a scaricare le tensioni sul terreno. I pannelli verranno bullonati ai profili di tipo omega disposto tra due pannelli consecutivi, sulla quale scaricheranno metà del loro peso.

I profilati ad omega saranno a loro volta imbullonati ad una trave principale, disposta trasversalmente, di tipo scatolare quadrato. Il profilato tubolare di lunghezza variabile a seconda della tipologia di tracker presa in considerazione corrisponde con la lunghezza dell'intero modulo, connetterà i profili verticali HEB con funzione di pilastri. I pilastri saranno infissi, in modo da garantire per una connessione con il terreno, per una lunghezza variabile a seconda delle caratteristiche geotecniche riscontrate durante le prove geotecniche nelle fasi successive di progetto.

I profili così come le verifiche svolte atte a giustificarne la loro scelta sono da intendersi come preliminari, con lo scopo di fornire un'indicazione progettuale relativamente alle caratteristiche geometriche del tracker e alle quantità di acciaio movimentate per la loro costruzione. Nelle fasi successive di progettazione i profili potranno essere soggetti a variazioni dovute a scelte del fornitore o di cantiere.

Campiano Solar S.R.L.

Sede legale: Via Brigata Ebraica 50 – 48123 Mezzano (RA)

P.IVA: 02754580393– **MAIL:** campianosolar@legalmail.it



RELAZIONE TECNICA OPERE CIVILI

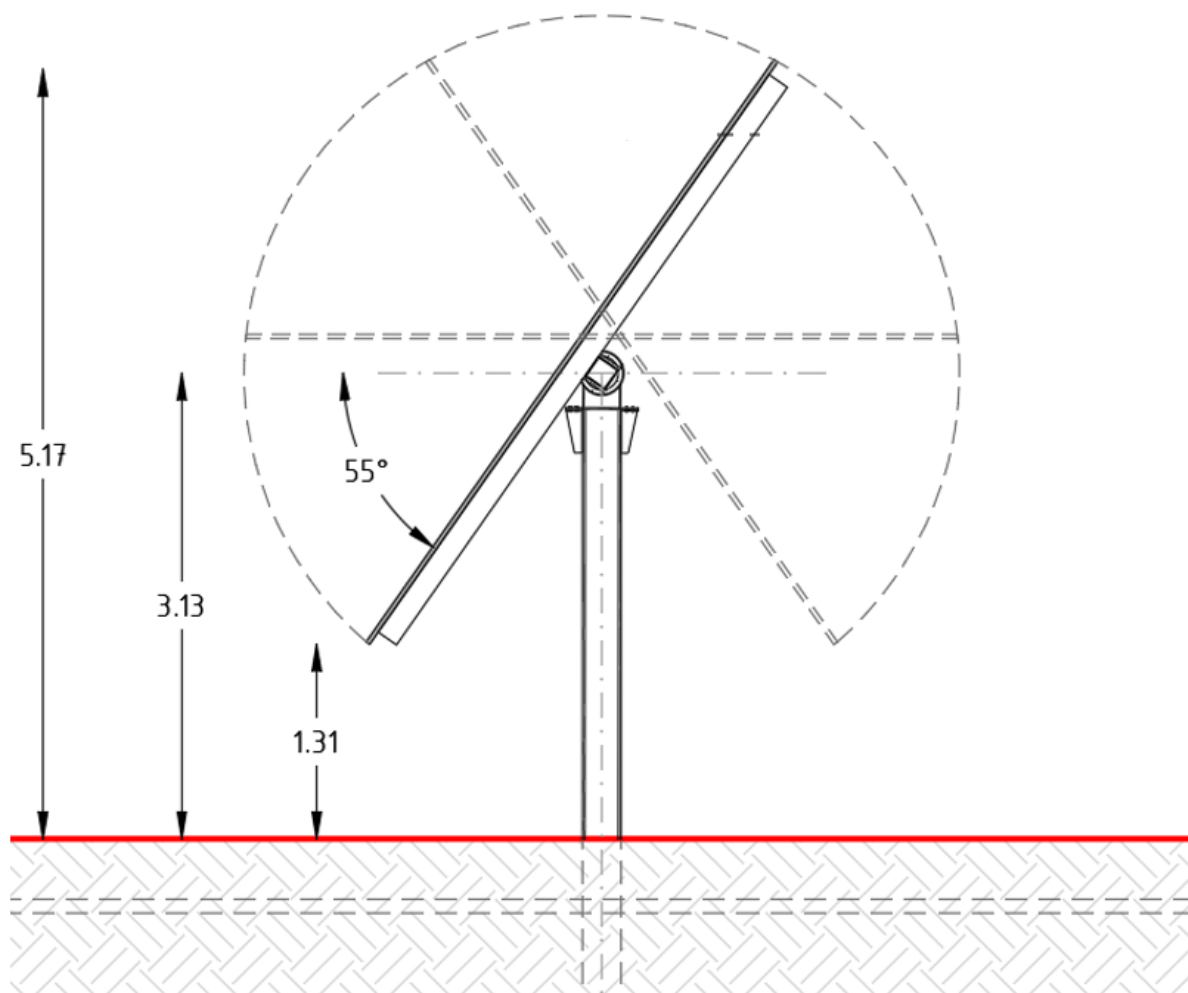


Figura 17 Sezione tipologica tracker

Campiano Solar S.R.L.

Sede legale: Via Brigata Ebraica 50 – 48123 Mezzano (RA)

P.IVA: 02754580393– **MAIL:** campianosolar@legalmail.it



RELAZIONE TECNICA OPERE CIVILI

5.5 Recinzione perimetrale

Opera propedeutica alla costruzione di ciascun impianto è la realizzazione di una recinzione perimetrale a protezione del generatore fotovoltaico e degli apparati dell'impianto. Tale recinzione non presenterà cordoli di fondazione in calcestruzzo posti alla base, ma si procederà con la sola infissione di pali metallici che avrà dimensioni di circa 115 mm e anima di 3 mm. I pali, con altezza fuori terra di 2,3 m, verranno infissi nel terreno per una profondità pari di circa 1 m a seconda delle condizioni del terreno presente, mentre la rete sarà composta da una recinzione a maglia sciolta con forme romboidali 50x50 mm e diametro 3 mm in ferro zincato plastificato tramite PVC.

La rete fornita in cantiere tramite rotoli che si posizioneranno tra i pali metallici e posta in opera grazie all'ausilio di cavi di acciaio di diametro 3,5 mm e passafilo metallici con auto foranti. I tiranti della rete verranno poi legati ai cavi con graffette metalliche e ai pali con apposite legature antitaglio. Di seguito il tipologico della recinzione di cantiere in cui si evidenzia l'interasse scelto tra i pali a sostegno della rete, e rialzo della rete adottato come ponte ecologico per il passaggio della microfauna. Il passaggio sarà attuato ogni 200 ml di rete.

Campiano Solar S.R.L.

Sede legale: Via Brigata Ebraica 50 – 48123 Mezzano (RA)

P.IVA: 02754580393 – **MAIL:** campianosolar@legalmail.it



RELAZIONE TECNICA OPERE CIVILI

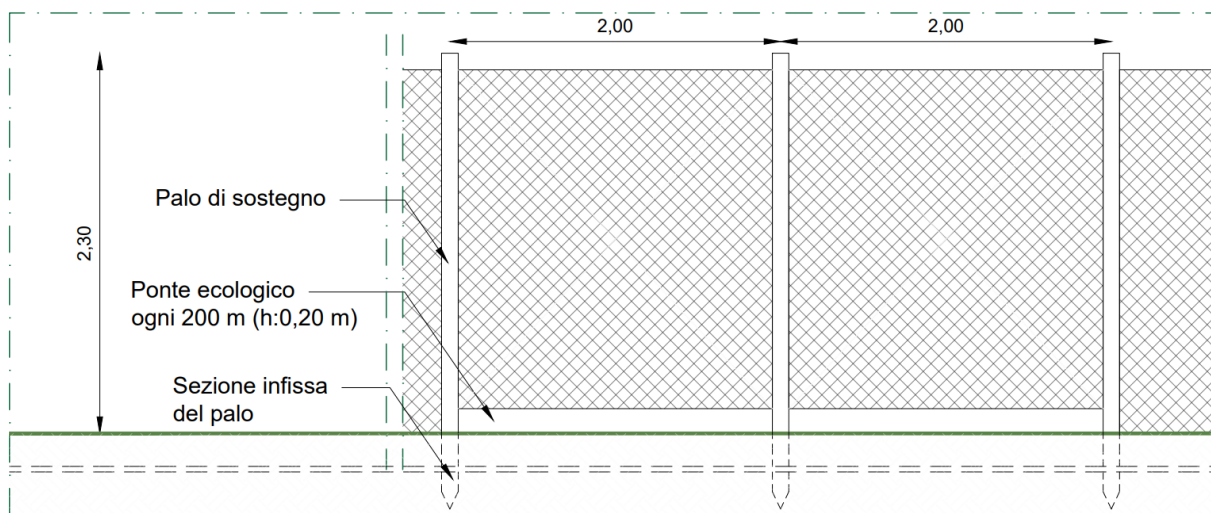


Figura 18 Tipologico recinzione di cantiere

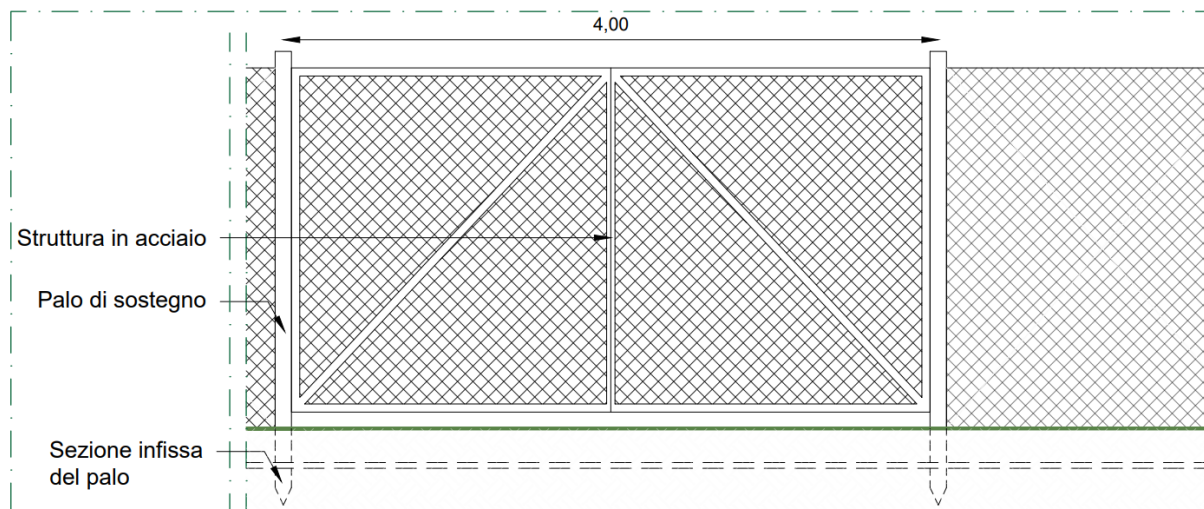


Figura 19 Tipologico passaggio carrabile recinzione perimetrale

Campiano Solar S.R.L.

Sede legale: Via Brigata Ebraica 50 – 48123 Mezzano (RA)

P.IVA: 02754580393 – **MAIL:** campianosolar@legalmail.it



RELAZIONE TECNICA OPERE CIVILI

5.6 Strade di servizio

L'impianto stradale a servizio dell'area è concepito come perimetrale rispetto ai moduli tracker, corrente lungo i confini quindi non interferente con il layout. L'accesso avverrà al lato Est del campo sia in fase di cantiere che di esercizio, tramite uno slargo si ha la diramazione principale che percorre il perimetro dell'area.

La sede stradale è dimensionata il passaggio dei mezzi per la manutenzione dell'impianto, e avrà una larghezza costante di 3 m e raggi di curvatura idonei, con stratigrafia composta da terra e misto stabilizzato con uno strato complessivo di 0,30 cm come riportato sottostante.

Campiano Solar S.R.L.

Sede legale: Via Brigata Ebraica 50 – 48123 Mezzano (RA)

P.IVA: 02754580393– **MAIL:** campianosolar@legalmail.it



RELAZIONE TECNICA OPERE CIVILI

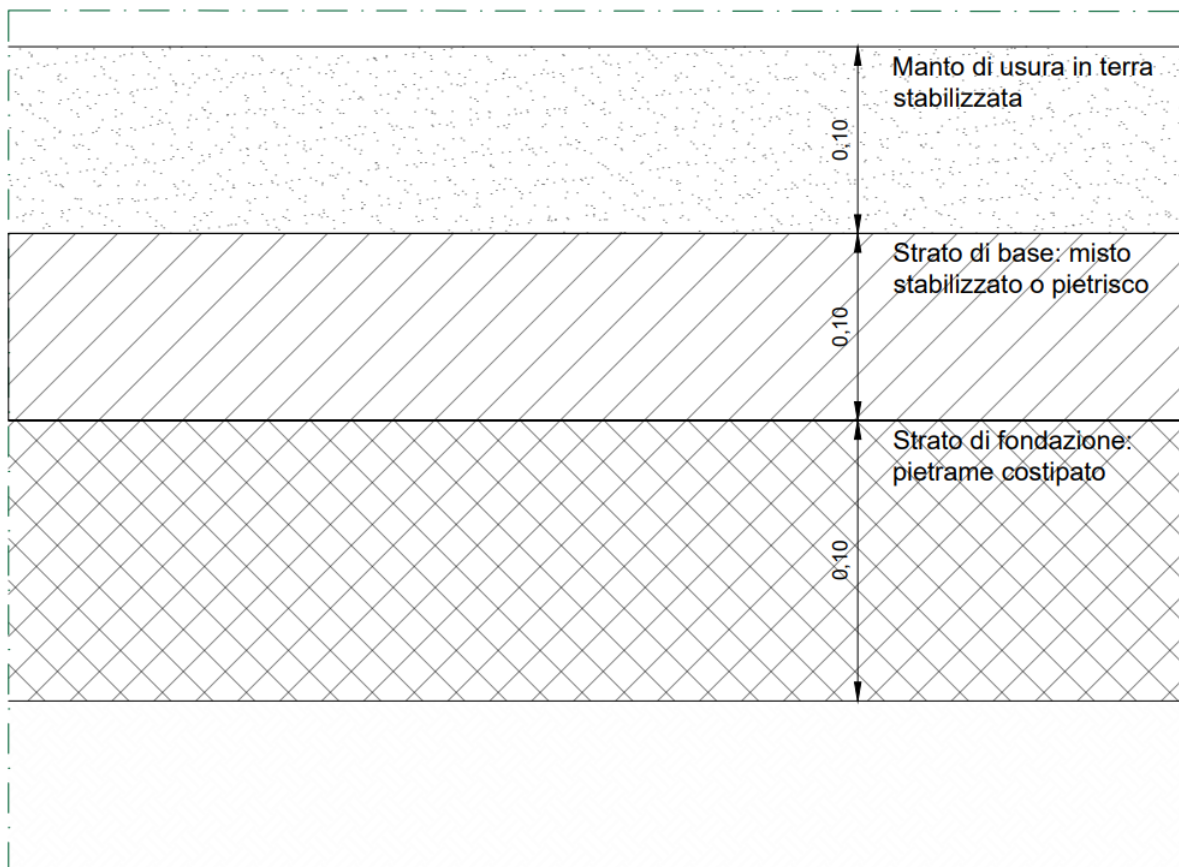


Figura 20 Dettaglio stratigrafia 1

I materiali utilizzati per la realizzazione della strada sono per la maggior parte materiali già presenti in situ in quanto si opererà per una strada in terra stabilizzata, resa solidale tramite l'utilizzo della soluzione stabilizzante insieme a terreno risultate dagli scavi, previo controllo dei componenti che lo

Campiano Solar S.R.L.

Sede legale: Via Brigata Ebraica 50 – 48123 Mezzano (RA)

P.IVA: 02754580393 – **MAIL:** campianosolar@legalmail.it



RELAZIONE TECNICA OPERE CIVILI

costituiscono (sono da evitare elevati contenuti di frazione argillosa e composti organici) e dei risultati preliminari sulle terre.

Prima della posa in opera dello strato di usura in terra si dovrà prevedere la realizzazione o l'adeguamento di un corretto sottostrato, regolarizzato tramite pala caricatrice e compattato tramite rullo compressore. Nel caso in cui la stratigrafia presente in sito non permetterà un adeguamento per la realizzazione di uno strato di sottofondo adeguato si realizzerà una massicciata in pietrisco con pezzatura degli inerti decrescenti verso l'alto, con materiali il più possibile permeabili in modo da evitare il fenomeno di dilavamento causato dall'acqua.

A posa in opera completata, successivamente alla stessa dello strato di terra stabilizzata e conseguente rullatura, si dovrà consentire la corretta stagionatura dello strato, proteggendola dalle condizioni meteorologiche tramite protezione esterne, tessuto non tessuto o tramite anti evaporante direttamente applicato sulla superficie stradale, che potrebbero compromettere la presa del materiale.

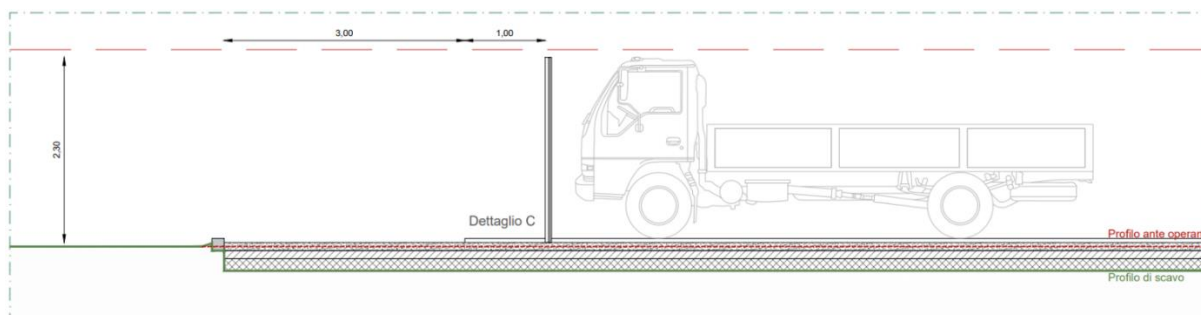


Figura 21 Dettaglio stratigrafia 2

Campiano Solar S.R.L.

Sede legale: Via Brigata Ebraica 50 – 48123 Mezzano (RA)

P.IVA: 02754580393 – **MAIL:** campianosolar@legalmail.it



RELAZIONE TECNICA OPERE CIVILI

6. ANALISI DEI CARICHI

6.1 Materiali utilizzati

Il peso proprio degli elementi strutturali è stato valutato come prodotto del volume dell'elemento strutturale stesso per il proprio peso specifico. In particolare, sono stati utilizzati come base la tabella Tab. 3.1.I delle NTC 2018. Per la realizzazione dell'opera in oggetto saranno impiegati i seguenti materiali:

Materiali	Peso unita di volume
	(kN/m ³)
Acciaio	78,5
Calcestruzzo	25,0

Tabella 3 *Pesi dell'unità di volume dei materiali strutturali*

Le strutture in acciaio sono progettate con elementi strutturali con le seguenti caratteristiche:

Acciaio									
γ_k	$\alpha T, i$	E	G	f_{yk}	f_{tk}	f_{yd}	γ_s	γ_{m1}	γ_{m2}
[N/m ³]	[1/°C]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]			[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]
S275									
78 500	0,00001	210 000	80 769	275	430	261,90	1,05	1,05	1,25

Tabella 4 *Proprietà degli acciai in progetto*

Campiano Solar S.R.L.

Sede legale: Via Brigata Ebraica 50 – 48123 Mezzano (RA)

P.IVA: 02754580393– **MAIL:** campianosolar@legalmail.it



RELAZIONE TECNICA OPERE CIVILI

I calcestruzzi utilizzati avranno classe di esposizione **XC2** (Bagnato raramente asciutto):

XC2			
Descrizione ambiente	Max a/c	Minimo contenuto di cemento [kg/m³]	Minima classe di [N/mm²]
Bagnato raramente asciutto	0,6	300 (UNI EN 206-1)	C25/30 (UNI EN 206-1)
Calcestruzzo armato			
Platea di fondazione	Classe di resistenza		C25/30
	Classe di consistenza		S5
Copriferro			4 cm
Dim. Massima nominale aggregati			< 32 mm

Tabella 5 Classe di esposizione calcestruzzo

6.2 Pesì propri

6.2.1 Cabinati

Il peso proprio del cabinato di controllo è composto da una struttura in calcestruzzo armato vibrato (C.a.v.) della quale si considera il volume delle partizioni verticali e orizzontali costituenti la struttura. Per il container di trasformazione si fa riferimento le schede tecniche nella quale si riporta il carico

Campiano Solar S.R.L.

Sede legale: Via Brigata Ebraica 50 – 48123 Mezzano (RA)

P.IVA: 02754580393– **MAIL:** campianosolar@legalmail.it



RELAZIONE TECNICA OPERE CIVILI

dell'intera struttura comprensiva di trasformatore. I pesi sono tutt'ora ipotizzati e potranno essere soggetti a variazioni nelle fasi successive.

Peso Proprio	
<i>Cabina di riferimento</i>	<i>Peso (kg)</i>
Cabina di controllo	21 800
Cabine di trasformazione 6.6 MVA	27 500

Tabella 6 Pesì proprio cabinati

6.2.2 Tracker

Per i tracker sono considerati in via preliminare il peso di massima dei profili metallici a favore di sicurezza successivamente ad un calcolo di predimensionamento, a partire da questo viene calcolato il computo dell'acciaio e i relativi pesi propri elencati per tipologia di tracker 56-28.

Computo materiali: Pilastrì infissione 4,30 m												
Formato	Tipologia	Numero moduli tracker	Lunghezza (m)	Campate	Interasse medio (m)	Numero pilastrì	Numero pilastrì di progetto	Altezza pilastrì	Lunghezza infissione	Lunghezza pilastrì (m)	Profilato	Stima peso (kN)
2P	56	1295	37,30	9	4,144	10	12950	2,89	4,3	93110,5	H 260 B peso: 93 kg/m	86592,765
	28	348	18,83	4	4,707	5	1740	2,89	4,3	12510,6		11634,858
Totale						14690				105621,1		98227,62

Tabella 7 Computo lunghezze pilastrì

Computo materiali: Travi							
			Trave principale		Trave secondaria		
Formato	Tipologia	Numero moduli tracker	Lunghezza trave (m)	Lunghezza complessiva (m)	Lunghezza trave (m)	Numero travi secondarie	Lunghezza complessiva (m)
2P	56	1295	37,30	48303,5	4,568	29	171551,24
	28	348	18,83	6551,8	4,568	15	23844,96
Totale				54855,3	Totale		195396,20

Tabella 8 Computo lunghezze travi

Campiano Solar S.R.L.

Sede legale: Via Brigata Ebraica 50 – 48123 Mezzano (RA)

P.IVA: 02754580393– **MAIL:** campianosolar@legalmail.it



RELAZIONE TECNICA OPERE CIVILI

Di seguito viene riportato il calcolo dei pesi dei profilati complessivi per ogni tipologia di tracker e per tutto il progetto. Per il calcolo viene considerato un profilo HE260B per i pilastri corrispondente ad un peso al di $g = 0,930 \text{ kN/m}$, per le travi principali uno scatolare a sezione quadrata di dimensioni $160 \times 160 \times 5 \text{ mm}$ con un peso $g = 0,237 \text{ kN/m}$, infine per le travi secondarie un profilo Omega $40 \times 150 \times 80 \times 4 \text{ mm}$ con peso al metro lineare di $g = 0,1366 \text{ kN/m}$. I profilati saranno verificati nelle fasi successive di progettazione costruttiva tramite il fornitore.

Peso Proprio				
Formato	Tipologia	Pilastri (kN)	Travi principali (kN)	Travi secondarie (kN)
2P	56	86592,77	11447,93	23433,90
	28	11634,86	1552,78	3257,22
TOTALE		98227,62	13000,71	26691,12

Tabella 9 Pesi profilati in acciaio

6.2.3 Rilevati

Il peso proprio considerato del rilevato risulta essere 18 kN/m^3 , partendo da questa considerazione e tenendo conto di un volume di terreno complessiva che differisce a seconda della tipologia di cabinato considerato (al variare dell'altezza del rilevato)

Peso proprio		
	Altezza (m)	(kN/m ²)
Cabina di consegna	1,50	27,00
Cabina di trasformazione	0,60	10,80

Campiano Solar S.R.L.

Sede legale: Via Brigata Ebraica 50 – 48123 Mezzano (RA)

P.IVA: 02754580393 – **MAIL:** campianosolar@legalmail.it



RELAZIONE TECNICA OPERE CIVILI

Tabella 10 Peso proprio rilevati

6.3 Peso permanente NON strutturale

6.3.1 Cabinati

Le attrezzature elettriche presenti sono considerate come carichi permanenti non strutturali uniformemente distribuiti tra cui: trasformatori, quadri elettrici e ulteriori componenti presenti all'interno delle cabine. Si riporta di seguito la tabella dei pesi divisa per cabinato.

Peso Proprio NON strutturale	
Cabina di controllo	
Componenti	(kg)
Scomparto	1 200
Scomparto	1 200
Scomparto	1 200
Scomparto	1 200
Scomparto	1 200
Quadro BT	225
Trasformatore ausiliare	800

Tabella 11 Pesi propri non strutturali interni ai cabinati.

6.3.2 Tracker

Campiano Solar S.R.L.

Sede legale: Via Brigata Ebraica 50 – 48123 Mezzano (RA)

P.IVA: 02754580393 – **MAIL:** campianosolar@legalmail.it



RELAZIONE TECNICA OPERE CIVILI

Per le strutture tracker il peso proprio NON strutturale coincide con il peso del pannello fotovoltaico, si considera un peso di 12,16 kg/m² a partire da un peso del pannello di 37,8 kg come riportato nelle specifiche meccaniche del pannello preso in considerazione.

Specification	Data
Cell Type	TOPCon cells
Cell Arrangement	132 [2 x (11 x 6)]
Dimensions	2384 × 1303 × 33 mm (93.9 × 51.3 × 1.30 in)
Weight	37.8 kg (83.3 lbs)
Front Glass	2.0 mm heat strengthened glass with anti-reflective coating

Tabella 12 Caratteristiche meccaniche pannello di progetto

Campiano Solar S.R.L.

Sede legale: Via Brigata Ebraica 50 – 48123 Mezzano (RA)

P.IVA: 02754580393– **MAIL:** campianosolar@legalmail.it



RELAZIONE TECNICA OPERE CIVILI

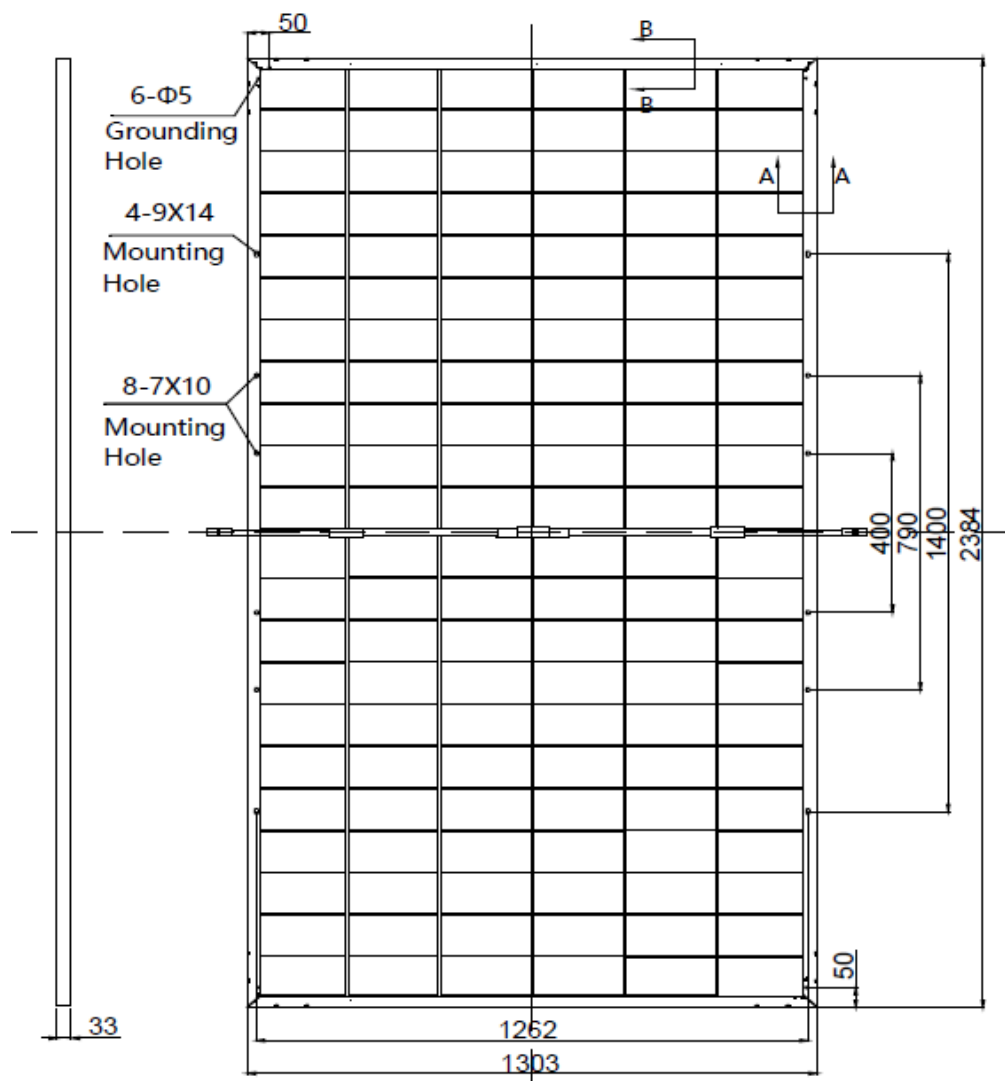


Figura 22 Vista posteriore pannello FV

6.4 Carichi Variabili

Campiano Solar S.R.L.

Sede legale: Via Brigata Ebraica 50 – 48123 Mezzano (RA)

P.IVA: 02754580393 – **MAIL:** campianosolar@legalmail.it



RELAZIONE TECNICA OPERE CIVILI

Azioni che agiscono con valori istantanei che possono risultare sensibilmente diversi fra loro nel corso della vita nominale della struttura. All'interno dei cabinati sulle superfici calpestabili dei solai sarà applicato un sovraccarico che comprende i carichi legati alla destinazione d'uso dell'opera. Nel progetto si evidenziano le seguenti categorie:

Cat.	Ambienti	q_k [kN/m ²]	Q_k [kN]	H_k [kN/m]
D	Ambienti ad uso commerciale			
	Cat. D1 Negozi	4,00	4,00	2,00
	Cat. D2 Centri commerciali, mercati, grandi magazzini	5,00	5,00	2,00
	Scale comuni, balconi e ballatoi	Secondo categoria d'uso servita		
E	Aree per immagazzinamento e uso commerciale ed uso industriale			
	Cat. E1 Aree per accumulo di merci e relative aree d'accesso, quali biblioteche, archivi, magazzini, depositi, laboratori manifatturieri	$\geq 6,00$	7,00	1,00*
	Cat. E2 Ambienti ad uso industriale	da valutarsi caso per caso		
F-G	Rimesse e aree per traffico di veicoli (esclusi i ponti)			
	Cat. F Rimesse, aree per traffico, parcheggio e sosta di veicoli leggeri (peso a pieno carico fino a 30 kN)	2,50	2 x 10,00	1,00**
	Cat. G Aree per traffico e parcheggio di veicoli medi (peso a pieno carico compreso fra 30 kN e 160 kN), quali rampe d'accesso, zone di carico e scarico merci.	da valutarsi caso per caso e comunque non minori di		
		5,00	2 x 50,00	1,00**
H-I-K	Coperture			
	Cat. H Coperture accessibili per sola manutenzione e riparazione	0,50	1,20	1,00
	Cat. I Coperture praticabili di ambienti di categoria d'uso compresa fra A e D	secondo categorie di appartenenza		
	Cat. K Coperture per usi speciali, quali impianti, eliporti.	da valutarsi caso per caso		

* non comprende le azioni orizzontali eventualmente esercitate dai materiali immagazzinati.
** per i soli parapetti o partizioni nelle zone pedonali. Le azioni sulle barriere esercitate dagli automezzi dovranno essere valutate caso per caso.

Tabella 13 Categorie sovraccarichi di progetto Tab 3.1.II

Campiano Solar S.R.L.

Sede legale: Via Brigata Ebraica 50 – 48123 Mezzano (RA)

P.IVA: 02754580393 – **MAIL:** campianosolar@legalmail.it



RELAZIONE TECNICA OPERE CIVILI

I solai di calpestio dei cabinati sono considerati come Cat. E2 per un valore di $4,00 \text{ kN/m}^2$, il carico è stato calcolato considerando la presenza di un carico antropico per la manutenzione dei macchinari incrementandolo rispetto al più favorevole $2,00 \text{ kN/m}^2$. Per le coperture si ricade in Categoria H con $q_k = 0,50 \text{ kN/m}^2$ in quanto non praticabile e utilizzabile per sola manutenzione.

Sovraccarichi		
Cabina di controllo		
<i>Categoria</i>	<i>Superficie</i>	<i>q_k</i>
Cat. E2	Solaio di calpestio	4,00
Cat. H	Copertura non praticabile	0,50
Cabine di trasformazione 6,6 MVA		
<i>Categoria</i>	<i>Superficie</i>	<i>q_k</i>
Cat. E2	Solaio di calpestio	4,00
Cat. H	Copertura non praticabile	0,50

Tabella 14 *Categorie sovraccarichi di progetto*

6.5 Analisi del vento

6.5.1 Premessa

Le azioni del vento sono state determinate in conformità al par. 3.3 del D.M. 17/01/18 e della Circolare del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti del 21 gennaio 2019 n. 7. Il vento, la cui direzione si considera generalmente orizzontale, esercita sulle costruzioni azioni che variano nel tempo e nello spazio provocando, in generale, effetti dinamici. Per le costruzioni usuali tali azioni sono convenzionalmente ricondotte a delle forze statiche equivalenti, semplificando così il problema.

Campiano Solar S.R.L.

Sede legale: Via Brigata Ebraica 50 – 48123 Mezzano (RA)

P.IVA: 02754580393 – **MAIL:** campianosolar@legalmail.it

RELAZIONE TECNICA OPERE CIVILI

Si evidenzia inoltre che l'azione del vento sulle strutture dipenda dalla fila di tracker considerata nel calcolo, infatti, l'effetto delle pressioni sulle superfici è influenzato dalla presenza o meno di eventuali ostacoli presenti davanti la superficie, nel nostro caso altri tracker con inclinazione maggiore di 10° possono diminuirne la forza agente sui pannelli successivi. Questo effetto dipende principalmente dalla distanza tra le file e dall'inclinazione dei pannelli. In questa fase si assume per semplicità lo studio della struttura soggetta a pressioni maggiori, ovvero i tracker esterni, studiandoli come strutture isolate.

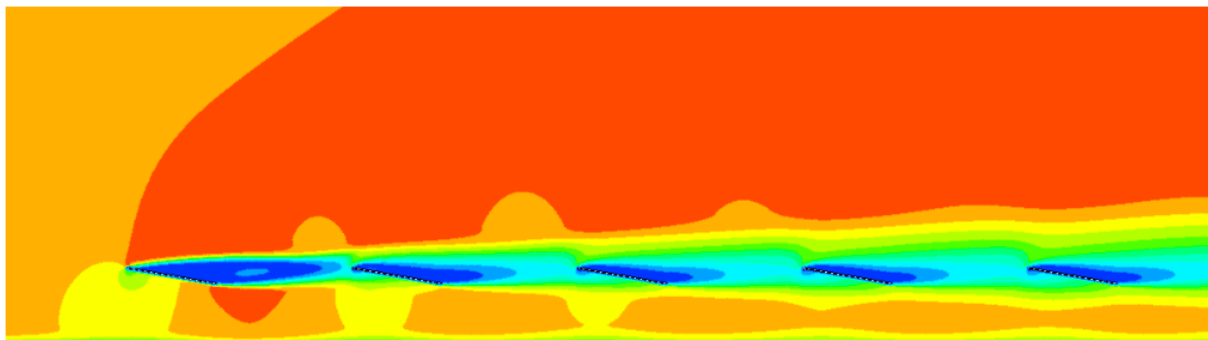


Figura 23 Rappresentazione delle interferenze delle pressioni del vento tra file di tracker

Di seguito si riporta una rappresentazione tipologica relativamente alle diverse pressioni a cui sono soggetti tracker rispetto alla loro fila e collocazione tra i filari.

Campiano Solar S.R.L.

Sede legale: Via Brigata Ebraica 50 – 48123 Mezzano (RA)

P.IVA: 02754580393 – **MAIL:** campianosolar@legalmail.it



RELAZIONE TECNICA OPERE CIVILI

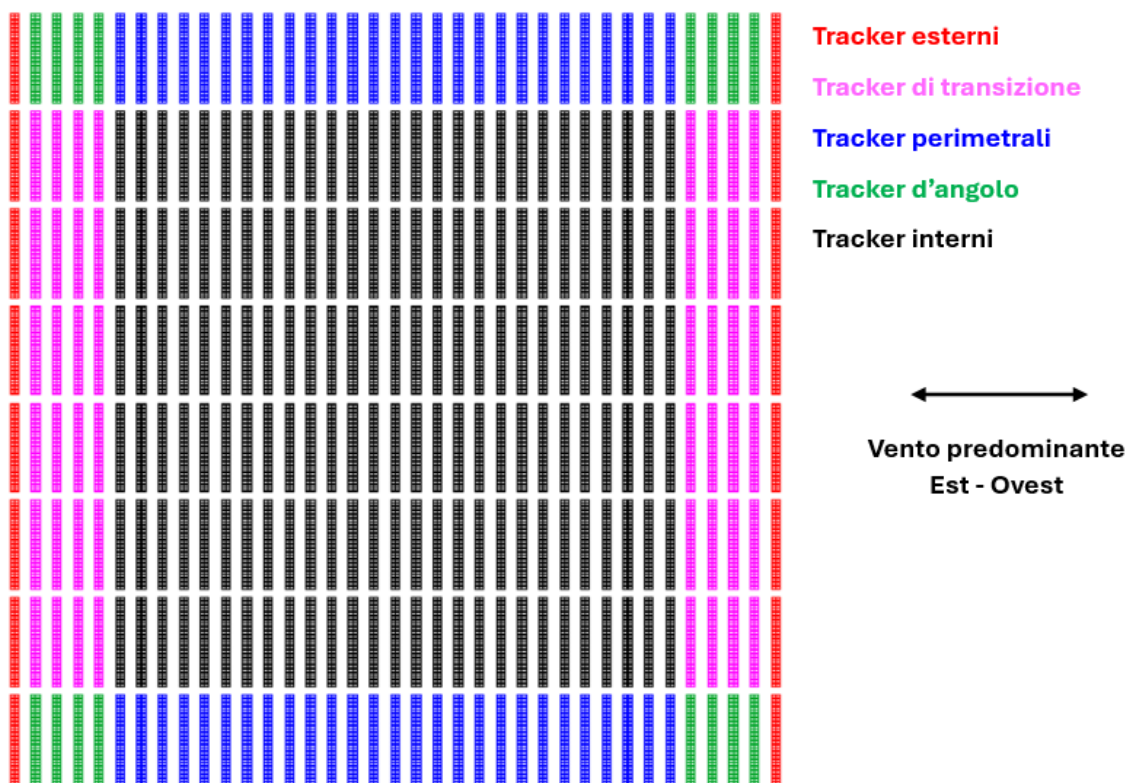


Figura 24 Differenziazione dei tracker rispetto le interferenze per il vento

Le analisi dinamiche sui tracker che terranno conto delle fluttuazioni temporali del vento nel tempo, degli effetti di risonanza e della risposta dinamica della struttura dipendenti da rigidità massa e smorzamento, verranno condotte nelle fasi successive di progettazione in

Le azioni statiche del vento sono costituite da pressioni e depressioni agenti normalmente alle superfici, sia esterne che interne, degli elementi che compongono la costruzione. L'azione del vento

Campiano Solar S.R.L.

Sede legale: Via Brigata Ebraica 50 – 48123 Mezzano (RA)

P.IVA: 02754580393– **MAIL:** campianosolar@legalmail.it



RELAZIONE TECNICA OPERE CIVILI

sul singolo elemento viene determinata considerando la combinazione più gravosa della pressione agente sulla superficie esterna e della pressione agente sulla superficie interna dell'elemento.

L'azione d'insieme esercitata dal vento su una costruzione è data dalla risultante delle azioni sui singoli elementi, considerando come direzione del vento, quella corrispondente ad uno degli assi principali della pianta della costruzione. La pressione del vento è data dalla seguente espressione:

$$p = q_r \cdot C_e \cdot C_p \cdot C_d$$

Per il sito in esame:

Zona	Descrizione	$v_{b,0}$ [m/s]	a_0 [m]	k_s
1	Valle d'Aosta, Piemonte, Lombardia, Trentino Alto Adige, Veneto, Friuli Venezia Giulia (con l'eccezione della provincia di Trieste)	25	1000	0,40
2	Emilia Romagna	25	750	0,45
3	Toscana, Marche, Umbria, Lazio, Abruzzo, Molise, Puglia, Campania, Basilicata, Calabria (esclusa la provincia di Reggio Calabria)	27	500	0,37
4	Sicilia e provincia di Reggio Calabria	28	500	0,36
5	Sardegna (zona a oriente della retta congiungente Capo Teulada con l'Isola di Maddalena)	28	750	0,40
6	Sardegna (zona a occidente della retta congiungente Capo Teulada con l'Isola di Maddalena)	28	500	0,36
7	Liguria	28	1000	0,54
8	Provincia di Trieste	30	1500	0,50
9	Isole (con l'eccezione di Sicilia e Sardegna) e mare aperto	31	500	0,32

Campiano Solar S.R.L.

Sede legale: Via Brigata Ebraica 50 – 48123 Mezzano (RA)

P.IVA: 02754580393 – **MAIL:** campianosolar@legalmail.it



RELAZIONE TECNICA OPERE CIVILI

Tabella 15 Tabella zonizzazione

La zona di riferimento è la **2** si sceglie un un'altitudine a_s pari a circa 0 m s.l.m.

Valori dei parametri del sito $V_{b,0}$, a_0 , k_s			
Zona 1	$V_{b,0}$	25	[m/s]
	a_0	750	[m]
	k_s	0,45	-

Tabella 16 Valori dei parametri $v_{b,0}$, a_0 , k_s

Inseguito si calcola V_b la velocità base di riferimento valore medio del vento su 10 minuti ad un'altezza di 10 m su terreno pianeggiante ed omogeneo di Categoria di esposizione II mentre C_a è il coefficiente di altitudine dipendente da a_s .

$$V_b = v_{b,0} \cdot C_a$$

La velocità di riferimento V_r è il valore medio su 10 minuti, a 10 m di altezza dal suolo su un terreno pianeggiante e omogeneo di categoria di esposizione II riferito al periodo di ritorno di progetto T_R . Tale velocità è definita dalla relazione:

$$V_r = v_b \cdot C_r$$

In cui C_r è il coefficiente di ritorno, funzione del periodo di ritorno di progetto T_R , tramite V_r è possibile calcolare la pressione cinetica di riferimento q_r è data dall'espressione:

Campiano Solar S.R.L.

Sede legale: Via Brigata Ebraica 50 – 48123 Mezzano (RA)

P.IVA: 02754580393 – **MAIL:** campianosolar@legalmail.it



RELAZIONE TECNICA OPERE CIVILI

$$q_r = \frac{1}{2} \rho V_r^2$$

ρ densità dell'aria (assunta pari a 1,25 kg/m³);

Di seguito si riportano i valori numerici sito specifici appena descritti per il calcolo della pressione cinetica di riferimento.

Pressione cinetica di riferimento					
Calcolo velocità di riferimento V_r					
$a_s < a_0$	$V_{b,0}$	C_a	V_b	C_r	V_r
[m]	[m/s]		[m/s]		[m/s]
$0 < 750$	25	1,0	25,00	1,00	25,00
Pressione cinetica di riferimento					
q_r					
[N/m ²]					
390,63					

Tabella 17 Pressione cinetica di riferimento

La pressione del vento è data dall'espressione:

$$p = q_r \cdot C_e \cdot C_p \cdot C_d$$

- q_r è la pressione cinetica di riferimento, valutata secondo il punto 3.3.6 del D.M. 17/01/2018;

Campiano Solar S.R.L.

Sede legale: Via Brigata Ebraica 50 – 48123 Mezzano (RA)

P.IVA: 02754580393 – **MAIL:** campianosolar@legalmail.it



RELAZIONE TECNICA OPERE CIVILI

- c_e è il coefficiente di esposizione, valutata secondo il punto 3.3.7 del D.M. 17/01/2018; dipendente da c_t è posto generalmente pari a 1, sia per le zone pianeggianti sia per quelle ondulate.
- c_p è il coefficiente di pressione, funzione della tipologia e della geometria della costruzione e del suo orientamento rispetto alla direzione del vento. Il suo valore può essere ricavato da dati suffragati da opportuna documentazione o da prove sperimentali in galleria 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, in questa fase di progetto verrà preso pari a 1 per semplicità e verrà approfondito nelle fasi successive di progettazione in quanto la struttura risulta avere una forma non regolare.

Per le strutture oggetto di studio si determinano i coefficienti appena descritti che essendo direttamente connessi alle caratteristiche geometriche come l'altezza totale dal suolo, o del suo orientamento rispetto la direzione del vento saranno valutate separatamente nel calcolo della pressione del vento.

Si ricorda che la strategia progettuale seguita prevede di prendere in considerazione la condizione più sfavorevole fra tutte quelle possibili.

6.5.2 Coefficiente di esposizione

Il coefficiente è stato calcolato tramite le equazioni come riportate nelle norme tecniche al punto 3.3.7 in quanto risultano assenti dati provenienti da analisi specifiche. Il coefficiente dipende dall'altezza del

Campiano Solar S.R.L.

Sede legale: Via Brigata Ebraica 50 – 48123 Mezzano (RA)

P.IVA: 02754580393 – **MAIL:** campianosolar@legalmail.it



RELAZIONE TECNICA OPERE CIVILI

suolo dell'opera, dalla topografia e dalla categoria di esposizione del terreno. Si evidenzia come per entrambe le strutture, sia i locali tecnici che le strutture di sostegno dei pannelli ricadano entro il range della Z_{min} di 4,00 m rendendo il coefficiente indipendente dall'altezza e perciò uguale per entrambi i casi considerati. Il coefficiente viene determinato tramite la fig. 3.3.3 delle norme tecniche.

Categoria di esposizione					
as	C. rugosità	Distanza costa	Tr	Cat. Esposizione	
[m]		[Km]	[anni]		
0	D	> 10	50	II	
Ce Coefficiente di esposizione					
Z	Kr	Z0	Zmin	Ct	Ce
[m]	[m]		[m/s]	[anni]	
< 4	0,19	0,05	4,00	1,00	1,80
					1,80

Tabella 18 Coefficiente di esposizione

6.5.3 Coefficienti aerodinamici

Il coefficiente di pressione C_p dipende dalla tipologia e dalla geometria della costruzione e dal suo orientamento rispetto alla direzione del vento come da 3.3.8 - D.M. 2018. Nel caso considerato le strutture presentano geometrie e direzioni rispetto al vento diverse, perciò, si differenziano nel calcolo del coefficiente.

Campiano Solar S.R.L.

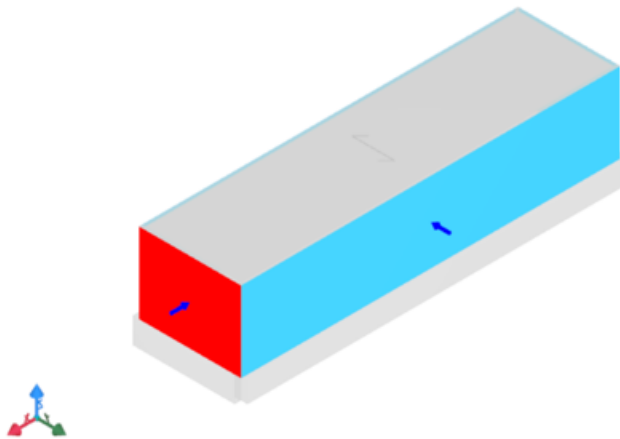
Sede legale: Via Brigata Ebraica 50 – 48123 Mezzano (RA)

P.IVA: 02754580393 – **MAIL:** campianosolar@legalmail.it



RELAZIONE TECNICA OPERE CIVILI

Per il calcolo delle azioni del vento del locale tecnico la struttura è considerabile come “stagna” a pianta rettangolare con copertura piana in quanto la superficie finestrata è molto minore della superficie totale ($S < 30\%$), il coefficiente di pressione interna C_{pi} verrà considerato nullo, mentre il coefficiente C_{pe} sarà l’unico contributo che verrà calcolato tramite le formule riportate in tabella C3.3.I della circolare alle NTC del 2019. Il calcolo verrà eseguito per quattro direzioni del vento, in particolare +X;-X e +Y;-Y, nel sistema di riferimento utilizzato nel software di calcolo utilizzato.



Pressione Normale	
+X	-0.40
-X	+0.80
+Y	-0.40
-Y	-0.40

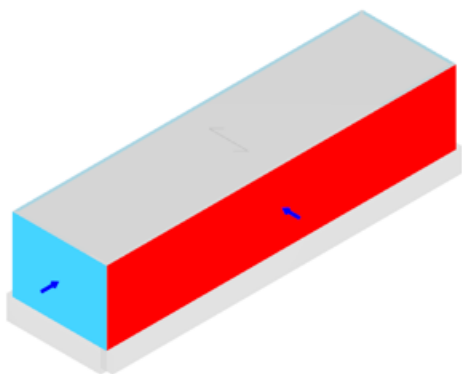
Campiano Solar S.R.L.

Sede legale: Via Brigata Ebraica 50 – 48123 Mezzano (RA)

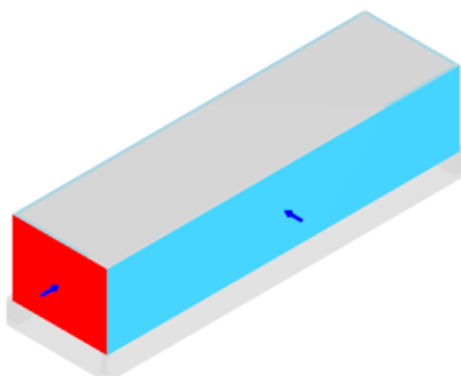
P.IVA: 02754580393 – **MAIL:** campianosolar@legalmail.it



RELAZIONE TECNICA OPERE CIVILI



Pressione Normale	
+X	-0.40
-X	-0.40
+Y	-0.40
-Y	+0.80



Pressione Normale	
+X	+0.80
-X	-0.40
+Y	-0.40
-Y	-0.40

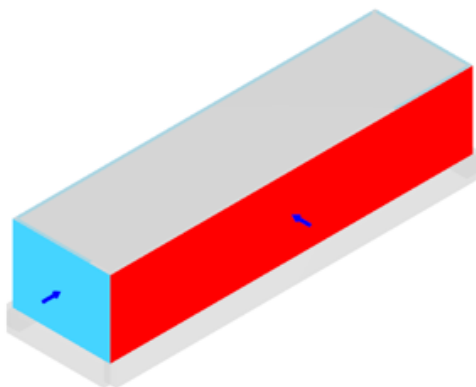
Campiano Solar S.R.L.

Sede legale: Via Brigata Ebraica 50 – 48123 Mezzano (RA)

P.IVA: 02754580393– **MAIL:** campianosolar@legalmail.it



RELAZIONE TECNICA OPERE CIVILI



Pressione Normale	
+X	-0.40
-X	-0.40
+Y	+0.80
-Y	-0.40



Per il calcolo del coefficiente di forma C_p relativamente alle strutture di sostegno dei pannelli fotovoltaici viene considerata come struttura a tettoia a uno spiovente non essendo una costruzione “stagna” con coefficiente di pressione interna nulla e vento agente nella direzione +X e -X, verrà perciò definito tramite le indicazioni della circolare 21/01/2019. In questo tipo di costruzioni si definisce il grado di bloccaggio Φ correlato ad eventuali ostacoli al di sotto della superficie esposta al vento e il coefficiente di forza C_f così come determinato nella tabella C3.3. XV. Nel caso in esame verranno prese in considerazione le condizioni più sfavorevoli, tenendo conto delle possibili variazioni dell’angolo di inclinazione del pannello α e dell’angolo di bloccaggio Φ , considerando 55° come il valore più sfavorevole per l’inclinazione e $\Phi = 0$ per l’angolo di bloccaggio. Il caso di angolo di inclinazione 0° verrà utilizzato in combinazione con il carico neve massimo.

Campiano Solar S.R.L.

Sede legale: Via Brigata Ebraica 50 – 48123 Mezzano (RA)

P.IVA: 02754580393– **MAIL:** campianosolar@legalmail.it



RELAZIONE TECNICA OPERE CIVILI

Coefficiente di forza - Strutture di sostegno pannelli fotovoltaici			
	α Angolo di inclinazione falda	Φ Angolo di bloccaggio	C_f Coefficiente di forza
Valori positivi	55°	Tutti i valori	2.03
Valori negativi	55°	0	-2.88
Valori positivi	0°	Tutti i valori	0.20
Valori negativi	0°	0	-0.50

Tabella 19 Coefficiente di forza strutture di sostegno dei pannelli

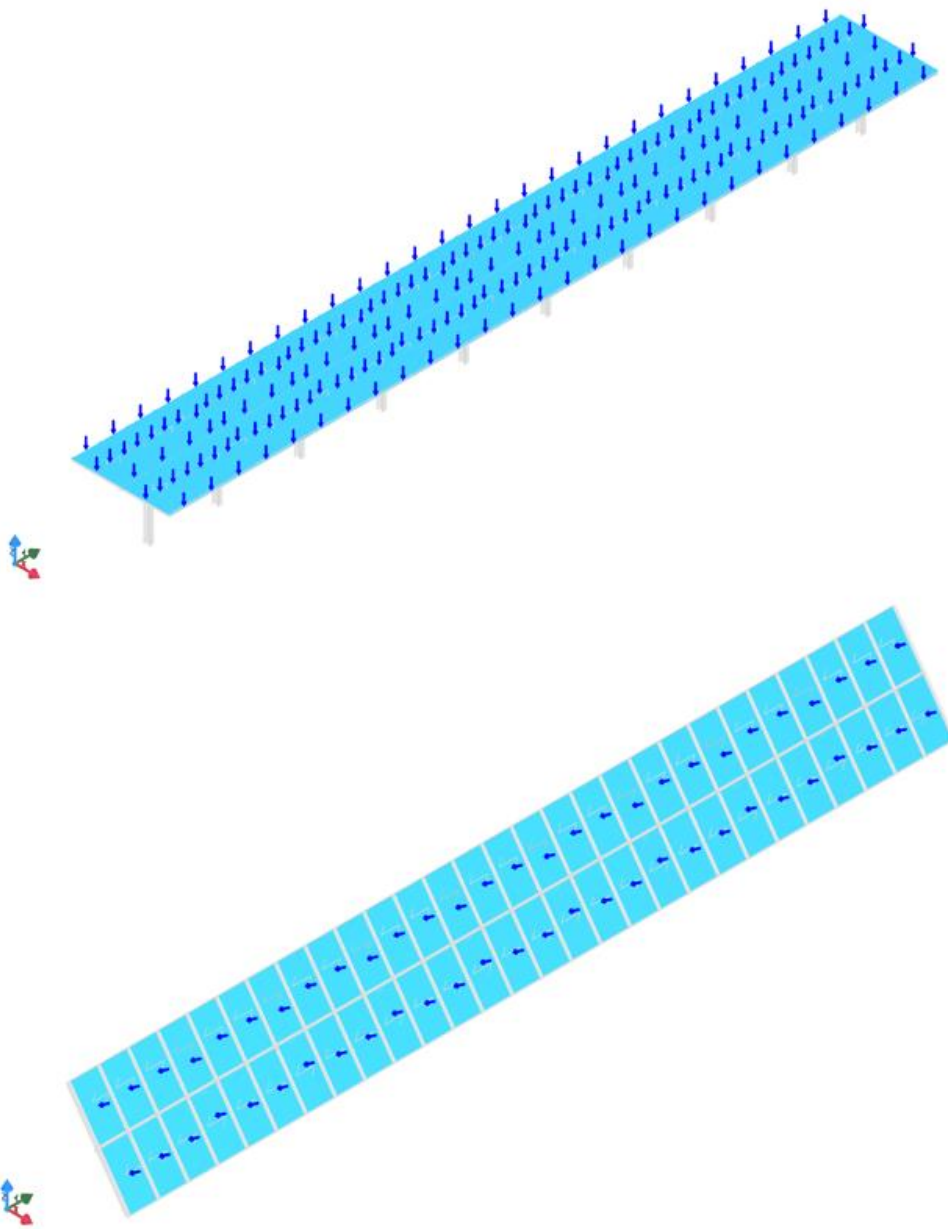
Campiano Solar S.R.L.

Sede legale: Via Brigata Ebraica 50 – 48123 Mezzano (RA)

P.IVA: 02754580393 – **MAIL:** campianosolar@legalmail.it



RELAZIONE TECNICA OPERE CIVILI



Campiano Solar S.R.L.

Sede legale: Via Brigata Ebraica 50 – 48123 Mezzano (RA)

P.IVA: 02754580393– **MAIL:** campianosolar@legalmail.it



RELAZIONE TECNICA OPERE CIVILI

Figura 25 Forze del vento applicate al modello a 0° e 55°

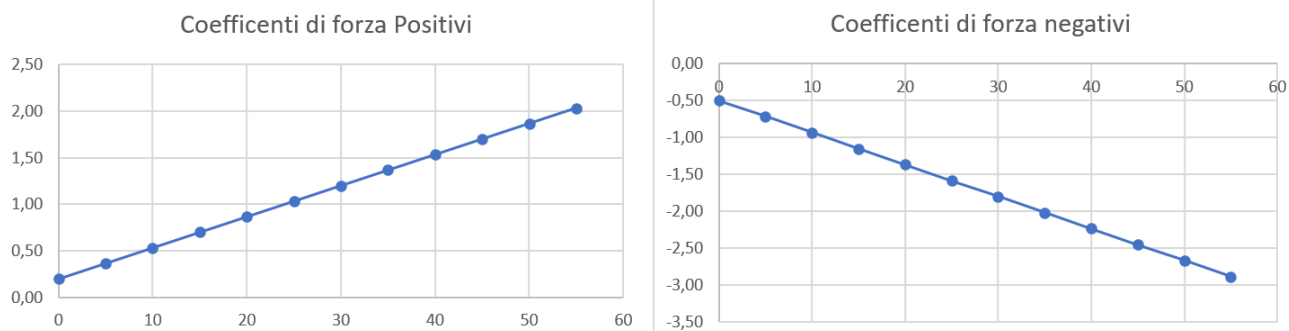


Tabella 20 Andamento coefficiente di forza

Di seguito le condizioni di carico da considerare per il calcolo del vento per le tettoie a singola falda.

Tabella 21 Andamento coefficiente di forza negativo (angolo di bloccaggio nullo)

Campiano Solar S.R.L.

Sede legale: Via Brigata Ebraica 50 – 48123 Mezzano (RA)

P.IVA: 02754580393– **MAIL:** campianosolar@legalmail.it

RELAZIONE TECNICA OPERE CIVILI

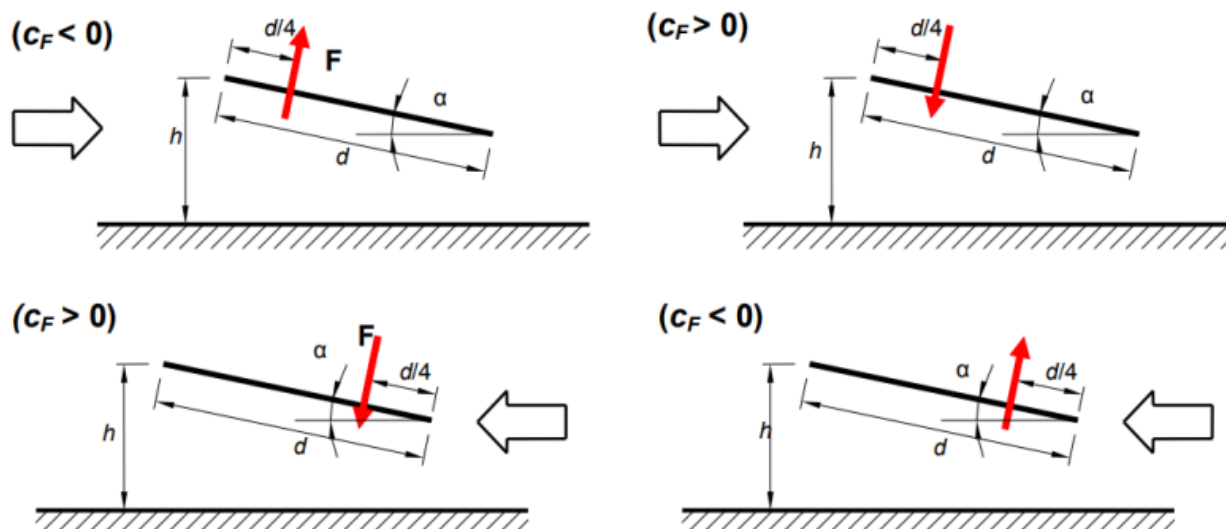


Figura 26 Condizioni di carico di pensilina ad una falda

6.5.4 Coefficiente dinamico

Come riportato al punto 3.3.9 delle NTC 2018: “Il coefficiente dinamico tiene conto degli effetti riduttivi associati alla non contemporaneità delle massime pressioni locali e degli effetti amplificativi dovuti alla risposta dinamica della struttura”, il quale può essere posto pari a 1 nel caso di costruzioni ricorrenti con forma regolare e altezza inferiore a 80 m oppure può essere determinato mediante analisi specifiche o dati di comprovata affidabilità.

I locali tecnici posti in opera nel sito in esame rientrano nel caso di costruzione regolare con altezza inferiore al limite, mentre le strutture a sostegno dei pannelli fotovoltaici per semplicità di trattazione e in assenza di analisi specifiche svolte sulla tipologia di costruzione viene anch'esso posto pari ad 1.

Campiano Solar S.R.L.

Sede legale: Via Brigata Ebraica 50 – 48123 Mezzano (RA)

P.IVA: 02754580393– **MAIL:** campianosolar@legalmail.it



RELAZIONE TECNICA OPERE CIVILI

6.5.5 Riepilogo

In relazione alle analisi svolte il calcolo delle pressioni del vento è il seguente:

$$p = q_r \cdot C_e \cdot C_p \cdot C_d = 390,63 \cdot 1,80 \cdot C_p \cdot 1,00 = 703,13 \cdot C_p \text{ [N/m}^2\text{]}$$

Data la presenza di molte variabili associate al calcolo del coefficiente aerodinamico, funzione della direzione del vento e della superficie considerata, il calcolo delle forze risultanti per semplicità di trattazione non verrà riportato, lasciano il parametro come ultima variabile.

6.6 Azione sismica

L'azione sismica è stata valutata in conformità alle indicazioni riportate al §3.2 del D.M. 2018 tramite un'analisi dinamica solo orizzontale. In particolare, il procedimento per la definizione degli spettri di progetto per i vari Stati Limite per cui sono state effettuate le verifiche è stato il seguente:

- Definizione della Vita Nominale e della Classe d'Uso della struttura, il cui uso combinato ha portato alla definizione del Periodo di Riferimento dell'azione sismica V_R e del periodo di ritorno T_R ;
- Individuazione, tramite latitudine e longitudine, dei parametri sismici di base a_g , F_0 e T_c per tutti e quattro gli Stati Limite previsti (SLO, SLD, SLV e SLC);
- Determinazione dei coefficienti di amplificazione stratigrafica e topografica;
- Calcolo del periodo T_c corrispondente all'inizio del tratto a velocità costante dello Spettro;
- Calcolo dei parametri di categoria stratigrafica e topografica per determinare la risposta sismica locale;

Campiano Solar S.R.L.

Sede legale: Via Brigata Ebraica 50 – 48123 Mezzano (RA)

P.IVA: 02754580393– **MAIL:** campianosolar@legalmail.it



RELAZIONE TECNICA OPERE CIVILI

Nel presente progetto, l'azione sismica è stata valutata tenendo conto dei seguenti parametri: coordinate del reticolo di riferimento scelto (ED50) del comune di Ravenna (RA):

Coordinate del sito di interesse ED50		
	Lat.	Lng.
Comune di Ravenna	44.341996°	12.222487°

Tabella 22 Coordinate reticolo di riferimento

Per le strutture progettate si considera:

- Vita nominale V_N : 50 anni (Punto 2.4.2 del D.M. 17/01/2018);
- Classe d'uso C_U : I

Da cui risulta V_R Periodo di Riferimento per l'azione sismica di 35 anni funzione della classe d'uso C_U e della vita nominale V_N ($V_R = C_U \cdot V_N$) sulla base di questo arco temporale verranno valutate le azioni sismiche. Le forme spettrali sono riferite ad una serie prestabilita di probabilità di superamento P_{VR} in funzione della V_R precedentemente stabilita, per individuare le corrispondenti azioni sismiche si determina il periodo di ritorno T_R associato ad ogni stato limite. Nella tabella seguente vengono riportati i parametri sismici di base (a_g , F_0 e T_c) che definiscono la pericolosità sismica del sito considerato come rigido ed orizzontale.

Campiano Solar S.R.L.

Sede legale: Via Brigata Ebraica 50 – 48123 Mezzano (RA)

P.IVA: 02754580393– **MAIL:** campianosolar@legalmail.it



RELAZIONE TECNICA OPERE CIVILI

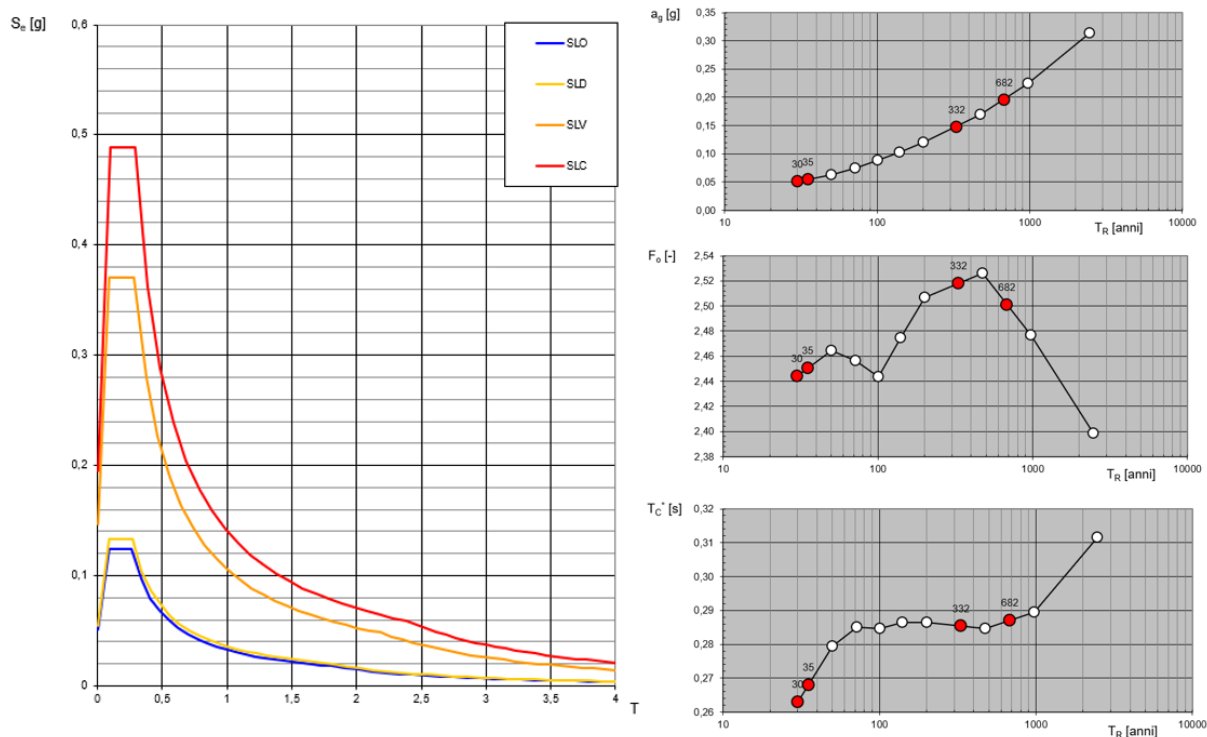


Figura 27 Spettri di risposta e parametri sismici di base

Stato Limite	V_R	P_{VR}	T_R	a_g/g	F_0	T_c^*
	[anni]	[%]	[anni]	[g]	[-]	[s]
SLO	50	81	30	0.051	2.444	0.263
SLD		63	35	0.054	2.450	0.268
SLV		10	332	0.147	2.518	0.285
SLC		5	682	0.195	2.501	0.287

Tabella 23 Parametri sismici di base

Campiano Solar S.R.L.

Sede legale: Via Brigata Ebraica 50 – 48123 Mezzano (RA)

P.IVA: 02754580393– **MAIL:** campianosolar@legalmail.it



RELAZIONE TECNICA OPERE CIVILI

Le condizioni trovate in precedenza fanno riferimento ad una risposta *sismica teorica* che occorre caratterizzare andando a considerare gli effetti stratigrafici e topografici per ottenere la risposta *sismica locale*. Sul sito si sono condotte due tipologie di prove per la determinazione della tipologia di sottosuolo, indagini **MASV** e **HVSR** (si rimanda alla relazione alla “TGR-02-REL-014 - Relazione Geologica-Idrogeologica-Geotecnica” per maggiori dettagli sulle prove in situ) dalla quale risulta prevalente una categoria di sottosuolo di **tipo D** (Tab. 3.2.II):

Categoria sottosuolo	Caratteristiche stratigrafiche
D	Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, 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.

Tabella 24 Categoria di sottosuolo

Si determinano i coefficienti S_s (amplificazione stratigrafica) e C_c (categoria stratigrafica) rispetto la Tab. 3.2.IV in funzione della categoria di sottosuolo e dei parametri sismici di base.

Coefficienti di stratigrafia S_s e C_c				
	SLO	SLD	SLV	SLC
S_s	1,800	1,800	1,800	1,667
C_c	2,437	2,414	2,340	2,333

Tabella 25 Coefficienti di stratigrafia

Campiano Solar S.R.L.

Sede legale: Via Brigata Ebraica 50 – 48123 Mezzano (RA)

P.IVA: 02754580393 – **MAIL:** campianosolar@legalmail.it



RELAZIONE TECNICA OPERE CIVILI

Per la determinazione della categoria topografica sono stati analizzati i moduli con posizionamenti più sfavorevoli secondo la normativa: inclinazione media del pendio minore di 15° si ricade così in categoria topografica T1 secondo la Tab. 3.2.III si determina quindi il coefficiente di amplificazione topografica S_T considerando $h/H = 0$.

Categoria topografica	Caratteristiche della superficie topografica	h/H	Valori S_T
T1	Pendii con inclinazione media $i < 15^\circ$	0,00	1,00

Tabella 26 Categoria topografica e coefficiente S_T

Per la definizione degli spettri di risposta di progetto, occorre determinare il Fattore di Comportamento (q). Il Fattore di comportamento q è un fattore riduttivo delle forze elastiche introdotto per tenere conto delle capacità dissipative della struttura che dipende dal sistema costruttivo adottato, dalla Classe di Duttilità e dalla regolarità in altezza.

$$q = q_0 \cdot K_R$$

Con q_0 che identifica il valore massimo del fattore di struttura dipendente dal livello di duttilità attesa, dalla tipologia strutturale e dal rapporto α_1/α_2 . Mentre K_R è un fattore riduttivo che dipende dalle caratteristiche di regolarità in altezza della costruzione, con valore pari a 1 per costruzioni regolari in altezza e pari a 0,80, per costruzioni non regolari in altezza.

Data la differente tipologia delle strutture trattate di evidenza nella seguente tabella i parametri per la definizione del fattore di struttura. La strategia progettuale scelta è di considerare le strutture come

Campiano Solar S.R.L.

Sede legale: Via Brigata Ebraica 50 – 48123 Mezzano (RA)

P.IVA: 02754580393 – **MAIL:** campianosolar@legalmail.it

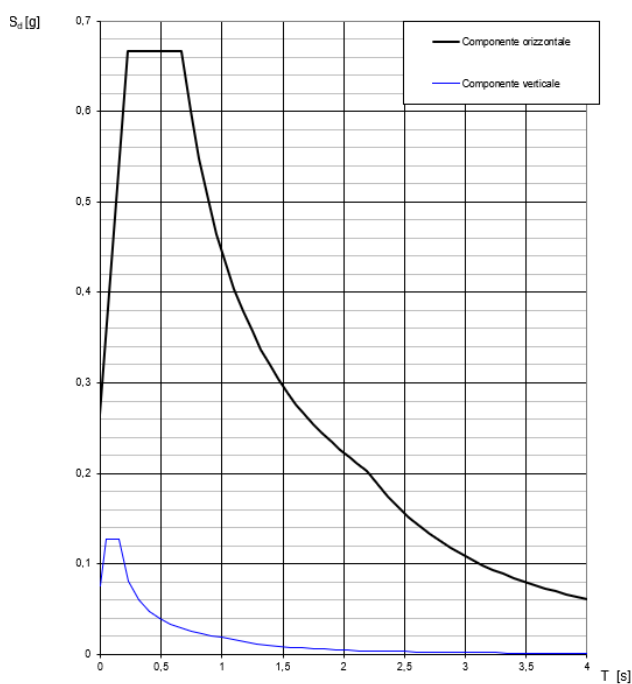


RELAZIONE TECNICA OPERE CIVILI

“NON dissipative” utilizzando il fattore apposito q_{ND} con i limiti imposti dalle norme tecniche al paragrafo 7.3.2

Fattore di struttura		
	Classe di duttilità	q_{ND}
Locali tecnici	Non dissipativa	1,0
Strutture di sostegno pannelli fotovoltaici	Non dissipativa	1,0

Tabella 27 Fattore di struttura



Parametri indipendenti	
Stato limite	SLV
a_g	0,141
F_0	2,518
T^*_c	0,285
S_s	1,800
C_c	2,340
S_T	1,000

Campiano Solar S.R.L.

Sede legale: Via Brigata Ebraica 50 – 48123 Mezzano (RA)

P.IVA: 02754580393 – **MAIL:** campianosolar@legalmail.it



RELAZIONE TECNICA OPERE CIVILI

Considerando tali valori si ottengono i seguenti spettri di risposta elastici di progetto per lo stato SLV.

q	1,000
---	-------

Parametri dipendenti	
S	1,800
η	1,000
T_B	0,223
T_C	0,668
T_D	2,188

Campiano Solar S.R.L.

Sede legale: Via Brigata Ebraica 50 – 48123 Mezzano (RA)

P.IVA: 02754580393 – **MAIL:** campianosolar@legalmail.it



RELAZIONE TECNICA OPERE CIVILI

6.7 Azione della neve

Il carico da neve è stato calcolato seguendo le prescrizioni del §3.4 del D.M. 2018 e le integrazioni della Circolare 2019 n. 7. Il carico da neve, calcolato come di seguito riportato, è stato combinato con le altre azioni variabili definite al §2.5.3, ed utilizzando i coefficienti di combinazione della Tabella 2.5.I del D.M. 2018. Il carico da neve superficiale da applicare sulle coperture è stato stimato utilizzando la relazione [cfr. §3.4.1 D.M. 2018]:

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

q_{sk} è il valore di riferimento del **carico della neve al suolo**, tale valore è calcolato in base alla posizione ed all'altitudine (a_s) secondo quanto indicato alla seguente tabella; Il sito risulta cadere all'interno della **Zona I** con:

$$q_{sk} = 1,50$$

Zona	$a_s \leq 200$ m	$a_s > 200$ m
I – Alpina	$q_{sk} = 1,50$ kN/m ²	$q_{sk} = 1,39 [1+(a_s/728)^2]$ kN/m ²
I – Mediterranea	$q_{sk} = 1,50$ kN/m ²	$q_{sk} = 1,35 [1+(a_s/602)^2]$ kN/m ²
II	$q_{sk} = 1,00$ kN/m ²	$q_{sk} = 0,85 [1+(a_s/481)^2]$ kN/m ²
III	$q_{sk} = 0,60$ kN/m ²	$q_{sk} = 0,51 [1+(a_s/481)^2]$ kN/m ²

Campiano Solar S.R.L.

Sede legale: Via Brigata Ebraica 50 – 48123 Mezzano (RA)

P.IVA: 02754580393– **MAIL:** campianosolar@legalmail.it



RELAZIONE TECNICA OPERE CIVILI

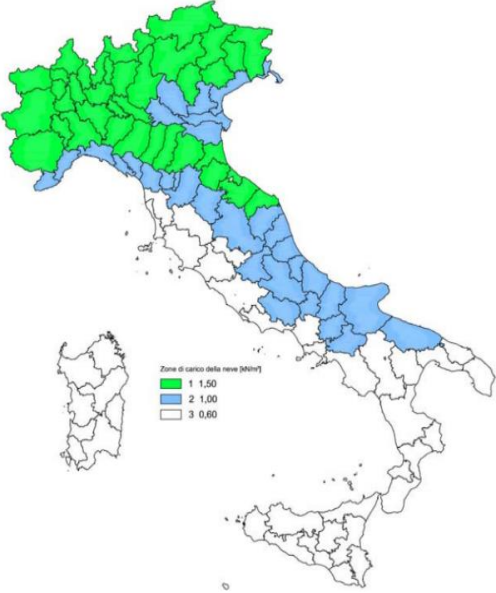
	<p style="text-align: center;">Zone di carico della neve</p> <p>I - Alpina: Aosta, Belluno, Bergamo, Biella, Bolzano, Brescia, Como, Cuneo, Lecco, Pordenone, Sondrio, Torino, Trento, Udine, Verbano-Cusio-Ossola, Vercelli, Vicenza</p> <p>I-Mediterranea: Alessandria, Ancona, Asti, Bologna, Cremona, Forlì-Cesena, Lodi, Milano, Modena, Monza Brianza, Novara, Parma, Pavia, Pesaro e Urbino, Piacenza, Ravenna,</p> <p>II: Arezzo, Ascoli Piceno, Avellino, Bari, Barletta-Andria-Trani, Benevento, Campobasso, Chieti, Fermo, Ferrara, Firenze, Foggia, Frosinone, Genova, Gorizia, Imperia, Isernia, L'Aquila, La Spezia, Lucca, Macerata, Mantova, Mass, Pistoia, Prato, Rieti,</p> <p>III: Agrigento, Brindisi, Cagliari, Caltanissetta, Carbonia-Iglesias, Caserta, Catania, Catanzaro, Cosenza, Crotone, Enna, Grosseto, Latina, Lecce, Livorno, Matera, Medio Campidano, Messina, Napoli, Nuoro, Reggio Calabria, Roma</p>
<p style="text-align: center;">Mappa delle zone di carico della neve</p> <p style="text-align: center;">[cfr. Fig. 3.4.1 D.M. 2018].</p>	

Tabella 28 Zone di carico della neve

I parametri successivi completano lo studio del carico neve e sono strettamente legati alla tipologia di copertura (μ_i) e alle condizioni ambientali alla quale le opere sono soggette; pertanto, C_e e C_t risulteranno uguali sia per i tracker che per i locali tecnici, rimane come variabile l'inclinazione della falda.

Campiano Solar S.R.L.

Sede legale: Via Brigata Ebraica 50 – 48123 Mezzano (RA)

P.IVA: 02754580393 – **MAIL:** campianosolar@legalmail.it



RELAZIONE TECNICA OPERE CIVILI

- μ_i è il **coefficiente di forma della copertura**, funzione dell'inclinazione della falda e della sua morfologia;
- C_E è il **coefficiente di esposizione**, funzione della topografia del sito;
- C_t è il **coefficiente termico**, cautelativamente posto pari ad 1 (cfr. §3.4.4 D.M. 2018);

Il coefficiente C_E è posto pari ad 0,90 in quanto l'area è considerata come: "Aree pianeggianti non ostruite esposte su tutti i lati, senza costruzioni o alberi più alti"

Il coefficiente C_t per semplicità viene posto pari ad 1 essendo assenti studi specifici riguardo il potenziale scioglimento della neve causato dal calore della costruzione.

Per il calcolo del carico neve della superficie dei pannelli fotovoltaici, si considera l'angolo di inclinazione con l'orizzontale che permette di raggiungere il valore massimo Q_s , in questo caso è valido qualsiasi angolo compreso tra 0° e 55°.

Carico Neve Tracker			
α	0	55°	[°]
q_{sk}	1,50	1,50	[kN/m ²]
μ_i	0,80	0,13	-
C_E	0,90	0,90	-
C_t	1,00	1,00	-
$q_s = q_{sk} \cdot \mu_i \cdot C_E \cdot C_t$	1,08	0,175	[kN/m ²]

Tabella 29 Carico neve Tracker

Campiano Solar S.R.L.

Sede legale: Via Brigata Ebraica 50 – 48123 Mezzano (RA)

P.IVA: 02754580393 – **MAIL:** campianosolar@legalmail.it



RELAZIONE TECNICA OPERE CIVILI

Per i locali tecnici di qualsiasi tipologia, sia quelli di campo che quello di consegna, risultano avere una copertura singola piana con pendenza approssimabile ai 0°.

Carico Neve Locali tecnici		
α	0°	[°]
q_{sk}	1,50	[kN/m ²]
μ_i	0,80	-
C_E	0,90	-
C_t	1,00	-
$q_s = q_{sk} \cdot \mu_i \cdot C_E \cdot C_t$	1,08	[kN/m ²]

Tabella 30 Carico neve locali tecnici

Campiano Solar S.R.L.

Sede legale: Via Brigata Ebraica 50 – 48123 Mezzano (RA)

P.IVA: 02754580393 – **MAIL:** campianosolar@legalmail.it



RELAZIONE TECNICA OPERE CIVILI

7. VERIFICA DI RESISTENZA STRUTTURE IN ACCIAIO DEI TRACKER

7.1 Premessa

Per quanto concerne gli elementi in acciaio, si riportano le verifiche effettuate per il dimensionamento preliminare dei profili in acciaio della struttura di supporto. Le verifiche effettuate per ogni elemento dipendono dalla funzione dell'elemento nella struttura, ad esempio, elementi con prevalente comportamento assiale (controventi o appartenenti a travi reticolari) sono verificate a trazione e/o compressione; elementi con funzioni portanti nei confronti dei carichi verticali sono verificati a Pressoflessione retta e Taglio; elementi con funzioni resistenti nei confronti di azioni orizzontali sono verificati a pressoflessione deviata e taglio oppure a sforzo normale se hanno la funzione di controventi. **Si ricorda che la scelta dei profilati, nelle fasi successive, sarà soggetta a ulteriori valutazioni di concerto con il fornitore dei tracker, che svolgerà ulteriori controlli e potrà portare ad aggiustamenti sulla struttura in modo da adeguarsi ai tipologici prodotti o a disposizione in quel momento.**

Le verifiche allo **SLU** sono effettuate sempre controllando il soddisfacimento della relazione:

$$R_d > S_d$$

dove R_d è la resistenza calcolata come rapporto tra R_k (resistenza caratteristica del materiale) e g (coefficiente di sicurezza), mentre S_d è la generica sollecitazione di progetto calcolata considerando tutte le Combinazioni di Carico per lo Stato Limite esaminato. La resistenza viene determinata, in funzione della Classe di appartenenza della Sezione metallica, col metodo Elastico o Plastico (vedi §4.2.3.2 del D.M. 2018).

Campiano Solar S.R.L.

Sede legale: Via Brigata Ebraica 50 – 48123 Mezzano (RA)

P.IVA: 02754580393 – **MAIL:** campianosolar@legalmail.it



RELAZIONE TECNICA OPERE CIVILI

Le **verifiche effettuate** sono quelle previste al §4.2.4.1.2 D.M. 2018 ed in particolare:

- Verifiche di Trazione;
- Verifiche di Compressione;
- Verifiche di Flessione Monoassiale;
- Verifiche di Taglio (considerando l'influenza della Torsione) assiale e biassiale;
- Verifiche per contemporanea presenza di Flessione e Taglio;
- Verifiche per Presso-Flessione retta e biassiale;

Verifiche di instabilità

Per tutti gli elementi strutturali sono state condotte verifiche di stabilità delle membrature secondo le indicazioni del §4.2.4.1.3 del D.M. 2018; in particolare sono state effettuate le seguenti verifiche:

- Verifiche di stabilità per compressione semplice, con controllo della snellezza;
- Verifiche di stabilità per elementi inflessi;
- Verifiche di stabilità per elementi inflessi e compressi;

Verifiche di deformabilità

Sono state condotte le verifiche definite al §4.2.4.2 del D.M. 2018 e in particolare si citano:

- Verifiche agli spostamenti verticali per i singoli elementi (§4.2.4.2.1 D.M. 2018);
- Verifiche agli spostamenti laterali per i singoli elementi (§4.2.4.2.2 D.M. 2018);
- Verifiche agli spostamenti per il piano e per l'edificio (§4.2.4.2.2 D.M. 2018);

Campiano Solar S.R.L.

Sede legale: Via Brigata Ebraica 50 – 48123 Mezzano (RA)

P.IVA: 02754580393– **MAIL:** campianosolar@legalmail.it



RELAZIONE TECNICA OPERE CIVILI

Vengono considerate un totale di **22 combinazioni di carico** per lo stato limite SLU in condizioni non sismiche

SLU non sismiche				
N.°	Carico Permanente	Carico da Neve	Pressione del Vento (+X)	Pressione del Vento (-X)
01	1,00	0,00	0,00	0,00
02	1,00	0,00	0,00	0,90
03	1,00	0,00	0,90	0,00
04	1,00	1,50	0,00	0,00
05	1,00	1,50	0,00	0,90
06	1,00	1,50	0,90	0,00
07	1,00	0,00	1,50	0,00
08	1,00	0,75	0,00	0,00
09	1,00	0,75	1,50	0,00
10	1,00	0,00	0,00	1,50
11	1,00	0,75	0,00	1,50
12	1,30	0,00	0,00	0,00
13	1,30	0,00	0,00	0,90
14	1,30	0,00	0,90	0,00

Campiano Solar S.R.L.

Sede legale: Via Brigata Ebraica 50 – 48123 Mezzano (RA)

P.IVA: 02754580393 – **MAIL:** campianosolar@legalmail.it



RELAZIONE TECNICA OPERE CIVILI

SLU non sismiche				
N.°	Carico Permanente	Carico da Neve	Pressione del Vento (+X)	Pressione del Vento (-X)
15	1,30	1,50	0,00	0,00
16	1,30	1,50	0,00	0,90
17	1,30	1,50	0,90	0,00
18	1,30	0,00	1,50	0,00
19	1,30	0,75	0,00	0,00
20	1,30	0,75	1,50	0,00
21	1,30	0,00	0,00	1,50
22	1,30	0,75	0,00	1,50

Tabella 31 Combinazioni di carico SLU non sismiche

SLE Frequente				
N.°	Carico Permanente	Carico da Neve	Pressione del Vento (+Y)	Pressione del Vento (-Y)
01	1,00	0,20	0,00	0,00
02	1,00	0,00	0,20	0,00
03	1,00	0,00	0,00	0,20

Tabella 32 Combinazioni di carico SLE Frequente

Campiano Solar S.R.L.

Sede legale: Via Brigata Ebraica 50 – 48123 Mezzano (RA)

P.IVA: 02754580393 – **MAIL:** campianosolar@legalmail.it



RELAZIONE TECNICA OPERE CIVILI

SLE Quasi permanente				
N.°	Carico Permanente	Carico da Neve	Pressione del Vento (+Y)	Pressione del Vento (-Y)
01	1,00	0,00	0,00	0,00

Tabella 33 Combinazioni di carico SLE Quasi permanente

Nella tabella sottostante si riportano i dati geometrici dei profilati utilizzati per l'analisi strutturale in esame.

Tipo	Label	base	Seconda base	Altezza	Sp. Ala	Sp. Anima	Raggio anima ala	Altezza anima	Altezza netta raccordi
		[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
Quadrato	160x160x5.0	160,0	-	160,0	5,0	-	-	-	-
HEA	HE 260 B	260,0	-	260,0	17,5	10,0	24,0	225,0	177,0
Omega	40x150x80x4.5	152,0	40,0	150,0	4,0	-	4,0	-	-

Tabella 34 Caratteristiche geometriche sezioni in acciaio

Campiano Solar S.R.L.

Sede legale: Via Brigata Ebraica 50 – 48123 Mezzano (RA)

P.IVA: 02754580393 – **MAIL:** campianosolar@legalmail.it



RELAZIONE TECNICA OPERE CIVILI

7.2 Modello strutturale tracker

Le strutture di sostegno dei pannelli fotovoltaici sono state modellate tramite telai bidimensionali composti da aste e nodi strutturali atte a rappresentare i pilastri e la trave principale, mentre le travi secondarie di appoggio dei pannelli, sono state modellate tramite travi passanti a sbalzo.

I pilastri riportano al piede un incastro in modo da rappresentare il vincolo di continuità che sarà presente tra il pilastro in elevazione e il palo infisso nel terreno. La trave principale è modellata come trave continua sui pilastri ed incastrata a questi ultimi con interasse massima di 4.00 m nelle campate centrali mentre in agli esterni si attesta a 3.33 m per finire con uno sbalzo di 1.41 m. I nodi agli estremi delle travi secondarie sono lasciati come liberi mentre i centrali sono di continuità e quindi incastri interni.

Il modello prevede viene studiato per due configurazioni per le due configurazioni di tracker a 0° e 55° in modo da verificare la configurazione più sfavorevole per le membrature in acciaio e allo stesso tempo determinare le sollecitazioni massime al piede.

Campiano Solar S.R.L.

Sede legale: Via Brigata Ebraica 50 – 48123 Mezzano (RA)

P.IVA: 02754580393– **MAIL:** campianosolar@legalmail.it



RELAZIONE TECNICA OPERE CIVILI

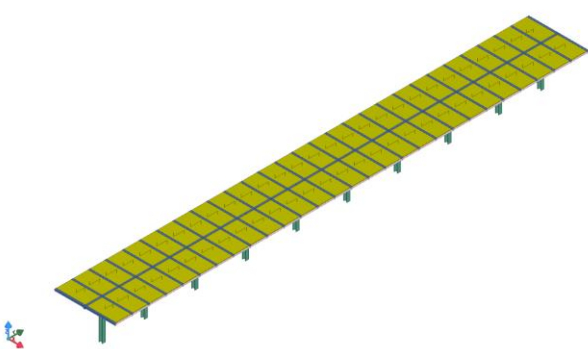
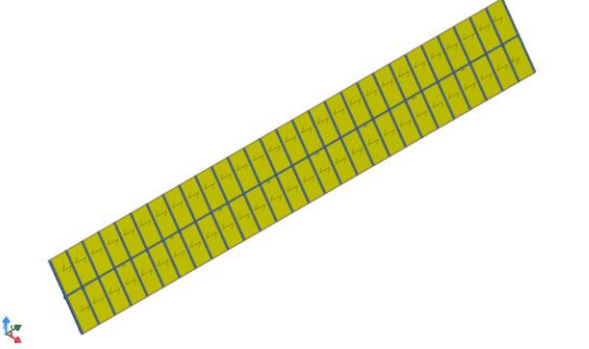
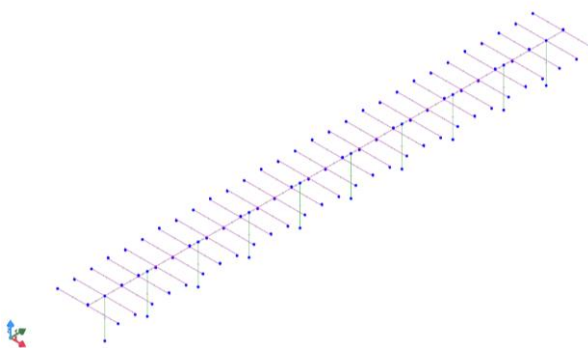
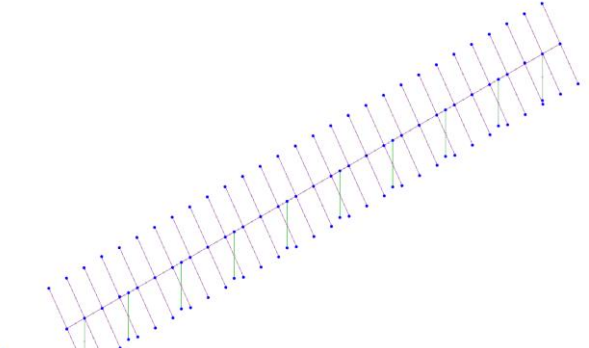
Angolo 0°	Angolo 55°
	
	

Tabella 35 Modelli strutturali 0° e 55°

Campiano Solar S.R.L.

Sede legale: Via Brigata Ebraica 50 – 48123 Mezzano (RA)

P.IVA: 02754580393 – **MAIL:** campianosolar@legalmail.it



RELAZIONE TECNICA OPERE CIVILI

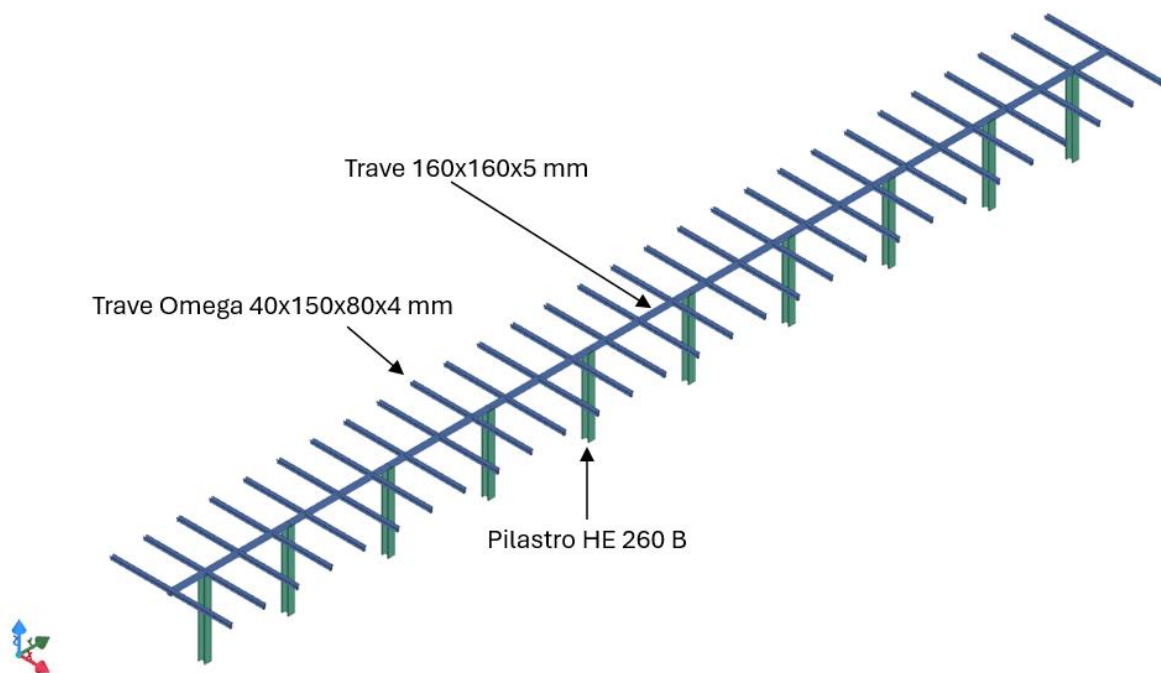


Figura 28 Modello 3D con indicazione dei componenti metallici

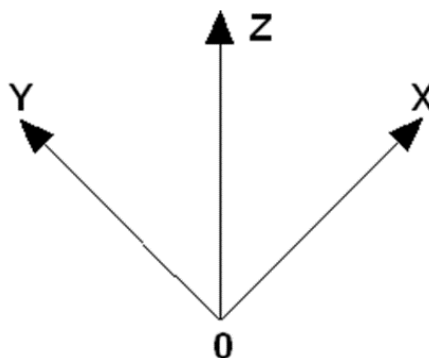
Il sistema di riferimento globale, rispetto al quale va riferita l'intera struttura è costituito da una terna di assi cartesiani sinistrorsa O, X, Y, Z (X, Y, e Z sono disposti e orientati rispettivamente secondo il pollice, l'indice ed il medio della mano destra, una volta posizionati questi ultimi a 90° tra loro).

Campiano Solar S.R.L.

Sede legale: Via Brigata Ebraica 50 – 48123 Mezzano (RA)

P.IVA: 02754580393– **MAIL:** campianosolar@legalmail.it

RELAZIONE TECNICA OPERE CIVILI

*Figura 29 Riferimento globale del modello*

L'elemento Trave è un classico elemento strutturale in grado di ricevere Carichi distribuiti e Carichi Nodali applicati ai due nodi di estremità; per effetto di tali carichi nascono, negli estremi, sollecitazioni di taglio, sforzo normale, momenti flettenti e torcenti. Definiti i e j (nodi iniziale e finale della Trave) viene individuato un sistema di assi cartesiani 1-2-3 locale all'elemento, con origine nel Nodo i così composto:

- Asse 1 orientato dal nodo i al nodo j;
- Assi 2 e 3 appartenenti alla sezione dell'elemento e coincidenti con gli assi principali d'inerzia della sezione stessa.

Le sollecitazioni verranno fornite in riferimento a tale sistema di riferimento:

- Sollecitazione di Trazione o Compressione T1 (agente nella direzione i-j);
- Sollecitazioni taglienti T2 e T3, agenti nei due piani 1-2 e 1-3, rispettivamente secondo l'asse 2 e l'asse 3;

Campiano Solar S.R.L.

Sede legale: Via Brigata Ebraica 50 – 48123 Mezzano (RA)

P.IVA: 02754580393– **MAIL:** campianosolar@legalmail.it

RELAZIONE TECNICA OPERE CIVILI

- Sollecitazioni che inducono flessione nei piani 1-3 e 1-2 (M_2 e M_3);
- Sollecitazione torcente M_1 .

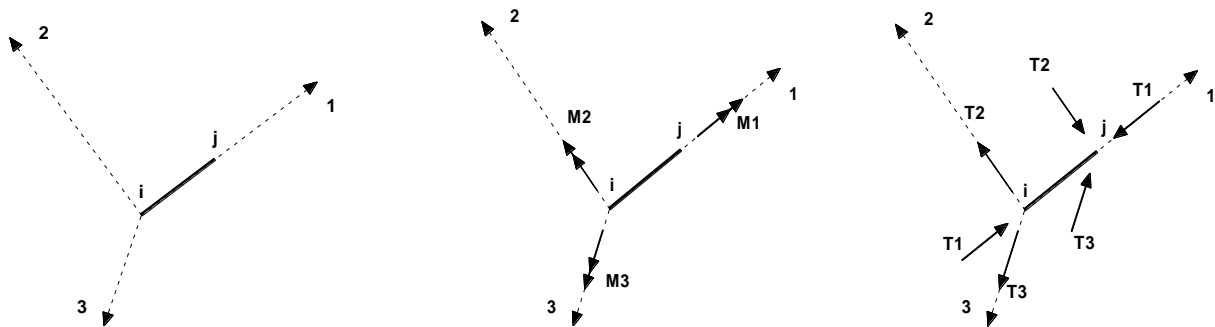


Figura 30-Sistema di riferimento locale travi

Per il sistema dei pilastri sussiste il seguente sistema di riferimento:

Definiti i e j come i due nodi iniziale e finale del pilastro, viene individuato un sistema di assi cartesiani 1-2-3 locale all'elemento, con origine nel Nodo i così composto:

- Asse 1 orientato dal nodo i al nodo j;
- Asse 2 perpendicolare all'asse 1, parallelo e discorde all'asse globale Y;
- Asse 3 che completa la terna destrorsa, parallelo e concorde all'asse globale X.

Tale sistema di riferimento è valido per Pilastri con angolo di rotazione pari a '0' gradi; una rotazione del pilastro nel piano XY ha l'effetto di ruotare anche tale sistema (ad es. una rotazione di '90' gradi porterebbe l'asse 2 a essere parallelo e concorde all'asse X, mentre l'asse 3 sarebbe parallelo e

Campiano Solar S.R.L.

Sede legale: Via Brigata Ebraica 50 – 48123 Mezzano (RA)

P.IVA: 02754580393– **MAIL:** campianosolar@legalmail.it

RELAZIONE TECNICA OPERE CIVILI

concorde all'asse globale Y). La rotazione non ha alcun effetto sull'asse 1 che coinciderà sempre e comunque con l'asse globale Z.

Per quanto riguarda le sollecitazioni si ha:

- Una forza di trazione o compressione T_1 , agente lungo l'asse locale 1;
- Due forze taglienti T_2 e T_3 agenti lungo i due assi locali 2 e 3;
- Due vettori momento (flettente) M_2 e M_3 agenti lungo i due assi locali 2 e 3;

Un vettore momento (torcente) M_1 agente lungo l'asse locale nel piano 1.

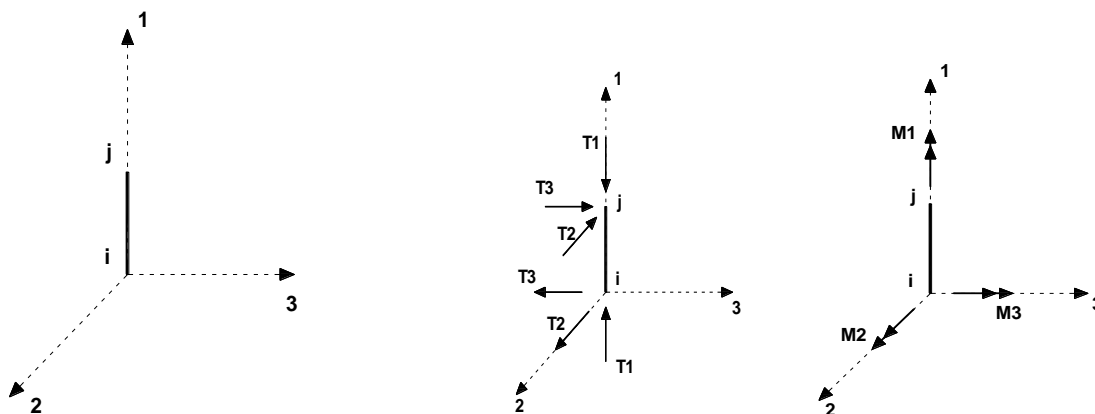


Figura 31 Sistema di riferimento locale pilastri

Per semplicità si riportano i carichi e le sollecitazioni alla quale sono soggetti i profilati in acciaio, nel modello sopra descritto, in **“TGR-02-REL-004 - Tabulati di calcolo opere civili”**.

Di seguito si passa in rassegna le trattazioni teoriche non esaustive delle verifiche effettuate.

Campiano Solar S.R.L.

Sede legale: Via Brigata Ebraica 50 – 48123 Mezzano (RA)

P.IVA: 02754580393– **MAIL:** campianosolar@legalmail.it



RELAZIONE TECNICA OPERE CIVILI

7.3 Verifica a trazione

L'azione assiale di progetto N_{Ed} deve rispettare la seguente condizione:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1$$

dove la resistenza di progetto a trazione $N_{t,Rd}$ di membrature con sezioni indebolite da fori per collegamenti bullonati o chiodati

deve essere assunta pari al minore dei valori seguenti:

- a) la resistenza plastica di progetto della sezione lorda, A ,

$$N_{pl,Rd} = \frac{A f_{yk}}{\gamma_{M0}}$$

- b) la resistenza di progetto a rottura della sezione netta, A_{net} , in corrispondenza dei fori per i collegamenti

$$N_{u,Rd} = \frac{0,9 \cdot A_{net} \cdot f_{tk}}{\gamma_{M2}}$$

7.4 Verifica a Compressione

La forza di compressione di progetto N_{Ed} deve rispettare la seguente condizione:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1$$

Campiano Solar S.R.L.

Sede legale: Via Brigata Ebraica 50 – 48123 Mezzano (RA)

P.IVA: 02754580393 – **MAIL:** campianosolar@legalmail.it



RELAZIONE TECNICA OPERE CIVILI

dove la resistenza di progetto a compressione della sezione $N_{c,Rd}$ vale:

$$N_{c,Rd} = A f_{yk} / \gamma_{M0} \quad \text{per le sezioni di classe 1, 2 e 3,}$$

$$N_{c,Rd} = A_{eff} f_{yk} / \gamma_{M0} \quad \text{per le sezioni di classe 4.}$$

7.5 Verifica a taglio

Il valore di progetto dell'azione tagliante V_{Ed} deve rispettare la condizione

$$\frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

dove la resistenza di progetto a taglio $V_{c,Rd}$, in assenza di torsione, vale:

$$V_{c,Rd} = \frac{A_v \cdot f_{yk}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}}$$

dove A_v è l'area resistente a taglio calcolata a rispetto alla tipologia di profilato preso in considerazione nella verifica.

In presenza di torsione, la resistenza a taglio del profilo deve essere opportunamente ridotta. Per le sezioni ad I o H la resistenza di progetto a taglio ridotta è data dalla formula:

$$V_{c,Rd,red} = V_{c,Rd} \sqrt{1 - \frac{\tau_{t,Ed}}{1,25 \cdot f_{yk} / (\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0})}}$$

dove $T_{t,Ed}$ è la tensione tangenziale massima dovuta alla torsione uniforme. Per sezioni cave, invece, la formula è

Campiano Solar S.R.L.

Sede legale: Via Brigata Ebraica 50 – 48123 Mezzano (RA)

P.IVA: 02754580393 – **MAIL:** campianosolar@legalmail.it



RELAZIONE TECNICA OPERE CIVILI

$$V_{c,Rd,red} = \left[1 - \frac{\tau_{t,Ed}}{f_{yk} / (\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0})} \right] V_{c,Rd}$$

7.6 Verifica a Pressoflessione deviata (biassiale)

La presso o tenso-flessione biassiale può essere trattata con riferimento a metodi di comprovata validità. Per le sezioni ad I o ad H di classe 1 e 2 doppiamente simmetriche, soggette a presso o tenso-flessione biassiale, la condizione di resistenza può essere valutata come:

$$\left(\frac{M_{y,Ed}}{M_{N,y,Rd}} \right)^2 + \left(\frac{M_{z,Ed}}{M_{N,z,Rd}} \right)^{5n} \leq 1$$

con $n \geq 0,2$ essendo $n = N_{Ed} / N_{pl,Rd}$. Nel caso in cui $n < 0,2$, e comunque per sezioni generiche di classe 1 e 2, la verifica può essere condotta cautelativamente controllando che:

$$\left(\frac{M_{y,Ed}}{M_{N,y,Rd}} \right) + \left(\frac{M_{z,Ed}}{M_{N,z,Rd}} \right) \leq 1$$

Per le sezioni di classe 3, in assenza di azioni di taglio, la verifica a presso o tenso-flessione retta o biassiale è condotta in termini tensionali utilizzando le verifiche elastiche; la tensione agente è calcolata considerando la eventuale presenza dei fori.

Per le sezioni di classe 4, le verifiche devono essere condotte con riferimento alla resistenza elastica (verifica tensionale); si possono utilizzare le proprietà geometriche efficaci della sezione trasversale considerando la eventuale presenza dei fori.

7.7 Verifica di instabilità per pressoflessione

La verifica di stabilità di un'asta si effettua nell'ipotesi che la sezione trasversale sia uniformemente

Campiano Solar S.R.L.

Sede legale: Via Brigata Ebraica 50 – 48123 Mezzano (RA)

P.IVA: 02754580393 – **MAIL:** campianosolar@legalmail.it



RELAZIONE TECNICA OPERE CIVILI

compressa. Deve essere:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1$$

Dove:

N_{Ed} è l'azione di compressione di progetto,

$N_{b,Rd}$ è la resistenza di progetto all'instabilità nell'asta compressa, data da

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi A f_{yk}}{\gamma_{M1}} \text{ per le sezioni di classe 1, 2 e 3,}$$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi A_{eff} f_{yk}}{\gamma_{M1}} \text{ per le sezioni di classe 4}$$

I coefficienti χ dipendono dal tipo di sezione e dal tipo di acciaio impiegato; essi si desumono, in funzione di appropriati valori della snellezza normalizzata.

7.8 Verifica di deformabilità allo SLE

Il valore totale dello spostamento ortogonale all'asse dell'elemento è definito come:

$$\delta_{tot} = \delta_1 + \delta_2$$

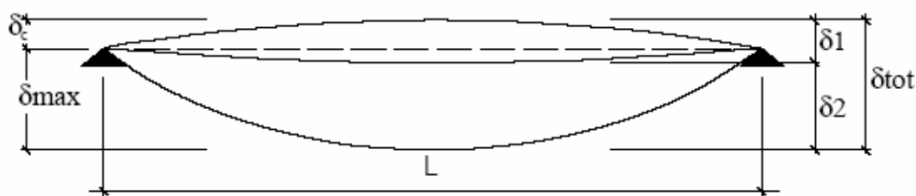
Campiano Solar S.R.L.

Sede legale: Via Brigata Ebraica 50 – 48123 Mezzano (RA)

P.IVA: 02754580393 – **MAIL:** campianosolar@legalmail.it



RELAZIONE TECNICA OPERE CIVILI



Essendo δ_c la monta iniziale della trave se presente;

δ_1 lo spostamento elastico dovuto a carichi permanenti;

δ_2 lo spostamento elastico dovuto a carichi variabili;

δ_{max} lo spostamento nello stato finale, depurato dalla monta iniziale $\delta_{tot} - \delta_c$;

In carenza di più precise indicazioni si possono adottare i limiti indicati nella Tab. 4.2.XII, dove L è la luce dell'elemento o, nel caso di mensole, il doppio dello sbalzo.

Campiano Solar S.R.L.

Sede legale: Via Brigata Ebraica 50 – 48123 Mezzano (RA)

P.IVA: 02754580393 – **MAIL:** campianosolar@legalmail.it



RELAZIONE TECNICA OPERE CIVILI

Elementi strutturali	Limiti superiori per gli spostamenti verticali	
	$\frac{\delta_{max}}{L}$	$\frac{\delta_2}{L}$
Coperture in generale	$\frac{1}{200}$	$\frac{1}{250}$
Coperture praticabili	$\frac{1}{250}$	$\frac{1}{300}$
Solai in generale	$\frac{1}{250}$	$\frac{1}{300}$
Solai o coperture che reggono intonaco o altro materiale di finitura fragile o tramezzi non flessibili	$\frac{1}{250}$	$\frac{1}{350}$
Solai che supportano colonne	$\frac{1}{400}$	$\frac{1}{500}$
Nei casi in cui lo spostamento può compromettere l'aspetto dell'edificio	$\frac{1}{250}$	

In caso di specifiche esigenze tecniche e/o funzionali tali limiti devono essere opportunamente ridotti.

Tabella 36 Limiti di deformabilità per gli elementi di impalcato delle costruzioni ordinarie

Per semplicità si riportano le verifiche di predimensionamento dei profilati in acciaio in “**TGR-02-REL-004 - Tabulati di calcolo opere civili**”

Si riportano le reazioni vincolari combinate per condizioni non sismiche allo SLU necessarie per determinare le forze sollecitanti dei pali di fondazione.

Reazioni vincolari NODO 10 Modello 1 (Tracker 0°)

Campiano Solar S.R.L.

Sede legale: Via Brigata Ebraica 50 – 48123 Mezzano (RA)

P.IVA: 02754580393 – **MAIL:** campianosolar@legalmail.it



RELAZIONE TECNICA OPERE CIVILI

Fx	Fy	Fz	Mx	My	Mz	Combinazione
0	-13	8524	13	0	0	G1 * 1
0	4	2254	-8	-2	0	G1* 1 + Pressione del Vento (-X) * 0,9
0	-20	11035	21	0	0	G1 * 1 + Pressione del Vento (+X) * 0,9
1	-101	39632	127	11	0	G1 * 1 + Carico da Neve <= 1000 m s.l.m. * 1,5
1	-84	33362	106	9	0	G1 * 1 + Carico da Neve <= 1000 m s.l.m. * 1,5 + Pressione del Vento (-X) * 0,9
1	-108	42143	135	11	0	G1 * 1 + Carico da Neve <= 1000 m s.l.m. * 1,5 + Pressione del Vento (+X) * 0,9
0	-24	12710	27	0	0	G1 * 1 + Pressione del Vento (+X) * 1,5
0	-57	24078	70	5	0	G1 * 1 + Carico da Neve <= 1000 m s.l.m. * 0,75
0	-68	28264	84	5	0	G1 * 1 + Carico da Neve <= 1000 m s.l.m. * 0,75 + Pressione del Vento (+X) * 1,5
0	15	-1925	-21	-3	0	G1 * 1 + Pressione del Vento (-X) * 1,5
0	-29	13629	36	2	0	G1 * 1 + Carico da Neve <= 1000 m s.l.m. * 0,75 + Pressione del Vento (-X) * 1,5
0	-16	11081	17	0	0	G1 * 1,3
0	1	4811	-4	-2	0	G1 * 1,3 + Pressione del Vento (-X) * 0,9
0	-23	13592	25	0	0	G1 * 1,3 + Pressione del Vento (+X) * 0,9
1	-104	42189	131	11	0	G1* 1,3 + Carico da Neve <= 1000 m s.l.m. * 1,5

Campiano Solar S.R.L.

Sede legale: Via Brigata Ebraica 50 – 48123 Mezzano (RA)

P.IVA: 02754580393– **MAIL:** campianosolar@legalmail.it



RELAZIONE TECNICA OPERE CIVILI

1	-87	35919	110	9	0	G1 * 1,3 + Carico da Neve <= 1000 m s.l.m. * 1,5 + Pressione del Vento (-X) * 0,9
1	-111	44700	139	11	0	G1 * 1,3 + Carico da Neve <= 1000 m s.l.m. * 1,5 + Pressione del Vento (+X) * 0,9
0	-27	15267	31	0	0	G1 * 1,3 + Pressione del Vento (+X) * 1,5
0	-60	26635	74	5	0	G1 * 1,3 + Carico da Neve <= 1000 m s.l.m. * 0,75
0	-71	30821	88	5	0	G1 * 1,3 + Carico da Neve <= 1000 m s.l.m. * 0,75 + Pressione del Vento (+X) * 1,5
0	12	632	-17	-3	0	G1 * 1,3 + Pressione del Vento (-X) * 1,5
0	-32	16186	40	2	0	G1 * 1,3 + Carico da Neve <= 1000 m s.l.m. * 0,75 + Pressione del Vento (-X) * 1,5

Tabella 37 Reazioni vincolari combinate al piede – Nodo 10

Reazioni vincolari NODO 10 Modello 2 (Tracker 55°)						
Fx	Fy	Fz	Mx	My	Mz	Combinazione
17	13	8338	-12	100	0	G1 * 1
17990	42	20774	-42	56998	-2	G1 * 1 + Pressione del Vento (-X) * 0,9
-25483	-28	-9310	29	-80611	3	G1 * 1 + Pressione del Vento (+X) * 0,9
31	29	13609	-32	183	0	G1 * 1 + Carico da Neve <= 1000 m s.l.m. * 1,5

Campiano Solar S.R.L.

Sede legale: Via Brigata Ebraica 50 – 48123 Mezzano (RA)

P.IVA: 02754580393– **MAIL:** campianosolar@legalmail.it



RELAZIONE TECNICA OPERE CIVILI

18004	58	26045	-62	57081	-2	G1 * 1 + Carico da Neve <= 1000 m s.l.m. * 1,5 + Pressione del Vento (-X) * 0,9
-25469	-12	-4039	9	-80528	3	G1* 1 + Carico da Neve <= 1000 m s.l.m. * 1,5 + Pressione del Vento (+X) * 0,9
-42484	-56	-21076	57	-134418	5	G1 * 1 + Pressione del Vento (+X) * 1,5
24	21	10973	-22	142	0	G1 * 1 + Carico da Neve <= 1000 m s.l.m. * 0,75
-42477	-48	-18441	47	-134376	5	G1* 1 + Carico da Neve <= 1000 m s.l.m. * 0,75 + Pressione del Vento (+X) * 1,5
29971	62	29064	-62	94930	-4	G1* 1 + Pressione del Vento (-X) * 1,5
29978	70	31699	-72	94972	-4	G1* 1 + Carico da Neve <= 1000 m s.l.m. * 0,75 + Pressione del Vento (-X) * 1,5
22	17	10839	-16	130	0	G1* 1,3
17995	46	23275	-46	57028	-2	G1* 1,3 + Pressione del Vento (-X) * 0,9
-25478	-24	-6809	25	-80581	3	G1* 1,3 + Pressione del Vento (+X) * 0,9
36	33	16110	-36	213	0	G1* 1,3 + Carico da Neve <= 1000 m s.l.m. * 1,5
18009	62	28546	-66	57111	-2	G1* 1,3 + Carico da Neve <= 1000 m s.l.m. * 1,5 + Pressione del Vento (-X) * 0,9
-25464	-8	-1538	5	-80498	3	G1* 1,3 + Carico da Neve <= 1000 m s.l.m. * 1,5 + Pressione del Vento (+X) * 0,9
-42479	-52	-18575	53	-134388	5	G1* 1,3 + Pressione del Vento (+X) * 1,5

Campiano Solar S.R.L.

Sede legale: Via Brigata Ebraica 50 – 48123 Mezzano (RA)

P.IVA: 02754580393– **MAIL:** campianosolar@legalmail.it



RELAZIONE TECNICA OPERE CIVILI

29	25	13474	-26	172	0	G1* 1,3 + Carico da Neve <= 1000 m s.l.m. * 0,75
-42472	-44	-15940	43	-134346	5	G1* 1,3 + Carico da Neve <= 1000 m s.l.m. * 0,75 + Pressione del Vento (+X) * 1,5
29976	66	31565	-66	94960	-4	G1* 1,3 + Pressione del Vento (-X) * 1,5
29983	74	34200	-76	95002	-4	G1* 1,3 + Carico da Neve <= 1000 m s.l.m. * 0,75 + Pressione del Vento (-X) * 1,5

Tabella 38 Reazioni vincolari combinate al piede – Nodo 10

Campiano Solar S.R.L.

Sede legale: Via Brigata Ebraica 50 – 48123 Mezzano (RA)

P.IVA: 02754580393– **MAIL:** campianosolar@legalmail.it



RELAZIONE TECNICA OPERE CIVILI

8. VERIFICHE FONDAZIONE TRACKER

8.1 Premesse

Nel presente paragrafo vengono riportate le teorie di calcolo e i parametri di calcolo per le verifiche geotecniche della fondazione tipo dei tracker. Si riporta pertanto quanto prescritto in merito dalla nuova NTC 2018.

Nelle verifiche di sicurezza devono essere presi in considerazione tutti i meccanismi di stato limite ultimo, sia a breve sia a lungo termine. Gli stati limite ultimi delle fondazioni su pali si riferiscono allo sviluppo di meccanismi di collasso determinati dalla mobilitazione della resistenza del terreno e al raggiungimento della resistenza degli elementi strutturali che compongono la fondazione stessa.

- Le verifiche delle **fondazioni indirette** devono essere effettuate con riferimento almeno ai seguenti stati limite, accertando che la condizione $[6.2.1 - E_D < R_D]$ sia soddisfatta per ogni stato limite considerato:
- collasso per carico limite della palificata nei riguardi dei carichi assiali (GEO);
- collasso per carico limite della palifica nei riguardi dei carichi trasversali (GEO);
- collasso per carico limite di sfilamento nei riguardi dei carichi assiali di trazione (GEO);
- stabilità globale (GEO);

Nel caso specifico la NTC 17/01/2018 prescrive che:

Campiano Solar S.R.L.

Sede legale: Via Brigata Ebraica 50 – 48123 Mezzano (RA)

P.IVA: 02754580393 – **MAIL:** campianosolar@legalmail.it



RELAZIONE TECNICA OPERE CIVILI

- La verifica di stabilità globale deve essere effettuata secondo la **Combinazione 2 (A2+M2+R2)** dell'**Approccio 1** tenendo conto dei coefficienti parziali riportati nelle tabelle 6.2.I e 6.2.II per le azioni e parametri geotecnici, e nella tabella 6.8.I per le resistenze globali.
- Le rimanenti verifiche devono essere effettuate secondo l'**Approccio 2**, con la combinazione **(A1+M1+R3)**, tenendo conto dei valori dei coefficienti parziali riportati nelle tabelle 6.2.I, 6.2.II, 6.4.II e 6.4.VI.

8.2 Carico limite verticale

La capacità portante di un palo viene valutata come somma di due contributi: portata di base (o di punta) e portata per attrito laterale lungo il fusto. Cioè si assume valida l'espressione:

- $Q_t = Q_p + Q_l - W_p$
- Q_t =portanza totale del palo;
- Q_p =portanza di base del palo;
- Q_l =portanza per attrito laterale del palo;
- W_p = peso proprio del palo,

Le due componenti Q_p e Q_l sono calcolate in modo indipendente fra loro. La portanza limite per ciascun palo è calcolata in base alle caratteristiche geotecniche dei vari strati attraversati. Secondo quanto previsto al punto 6.4.3.1.1 del D.M. 17/01/2018, a partire dal valore così calcolato della portanza Q_t si ricava il valore caratteristico, dividendo Q_t per i coefficienti ξ_3 e ξ_4 , per la determinazione della resistenza caratteristica in funzione del numero di verticali indagate, riportati in tabella 6.4.IV:

Campiano Solar S.R.L.

Sede legale: Via Brigata Ebraica 50 – 48123 Mezzano (RA)

P.IVA: 02754580393– **MAIL:** campianosolar@legalmail.it



RELAZIONE TECNICA OPERE CIVILI

Numero di verticali indagate							
	1	2	3	4	5	7	>10
ξ	1,70	1,65	1,60	1,55	1,50	1,45	1,40
ξ	1,70	1,55	1,48	1,42	1,34	1,28	1,21

Tabella 39 Numero di verticali indagate

Nel caso in esame, essendo presenti due verticali indagate tramite prove penetrometriche statiche CPT si utilizzeranno la coppia di coefficienti ξ della seconda colonna. A partire dal valore caratteristico così ottenuto, si calcola il valore di progetto applicando i coefficienti γ_R riportati nella tabella 6.4.II del D.M.:

Coefficiente di sicurezza nominativo R3		
	R3 (pali infissi)	R3 (Pali trivellati)
Base	1,15	1,35
Laterale in compressione	1,15	1,15
Totale	1,15	1,30
Laterale in Trazione	1,25	1,25

Tabella 40 Coefficiente di sicurezza nominativo R3

Il carico limite verticale è stato calcolato con le formule statiche, che esprimono il medesimo in funzione della geometria del palo, delle caratteristiche del terreno e dell'interfaccia palo-terreno. A riguardo, poiché la realizzazione di un palo, sia esso infisso o trivellato, modifica sempre le caratteristiche del terreno nell'intorno dello stesso, si propone di assumere un angolo di resistenza a taglio pari a:

Campiano Solar S.R.L.

Sede legale: Via Brigata Ebraica 50 – 48123 Mezzano (RA)

P.IVA: 02754580393 – **MAIL:** campianosolar@legalmail.it



RELAZIONE TECNICA OPERE CIVILI

$\phi' = \frac{3}{4} \phi + 10$	nei pali infissi
---------------------------------	------------------

Dove θ è l'angolo di resistenza a taglio prima dell'esecuzione del palo.

Relativamente al contributo del carico limite della resistenza alla punta si applica il metodo di Berezantzev. Fondamentalmente **Berezantzev** fa riferimento ad una superficie di scorrimento "alla Terzaghi" che si arresta sul piano di posa (punta del palo); tuttavia egli considera che il cilindro di terreno coassiale al palo ed avente diametro pari all'estensione in sezione della superficie di scorrimento, sia in parte "sostenuto" per azione tangenziale dal rimanente terreno lungo la superficie laterale. Ne consegue un valore della pressione alla base inferiore a γD , e tanto minore quanto più questo "effetto silo" è marcato, cioè quanto più grande è il rapporto L/D ; di ciò tiene conto il coefficiente N_q , che quindi è funzione decrescente di L/D .

Campiano Solar S.R.L.

Sede legale: Via Brigata Ebraica 50 – 48123 Mezzano (RA)

P.IVA: 02754580393 – **MAIL:** campianosolar@legalmail.it



RELAZIONE TECNICA OPERE CIVILI

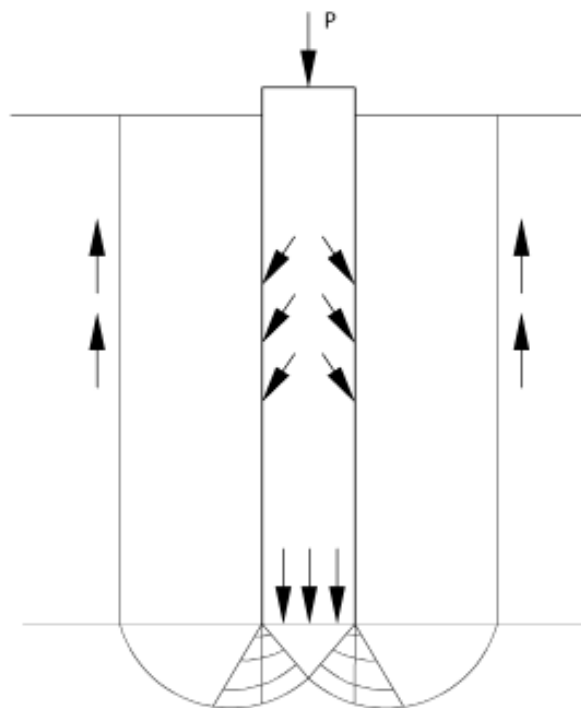


Figura 32 Meccanismo di rottura secondo Berezantzev

La resistenza unitaria Q_p alla punta, per il caso di terreno dotato di attrito (θ) e di coesione (c), è data dall'espressione:

$$Q_p = c \times N_c + \gamma \times L \times N_q$$

Avendo indicato con:

- γ = Peso unità di volume del terreno;

Campiano Solar S.R.L.

Sede legale: Via Brigata Ebraica 50 – 48123 Mezzano (RA)

P.IVA: 02754580393– **MAIL:** campianosolar@legalmail.it



RELAZIONE TECNICA OPERE CIVILI

- L = Lunghezza del palo;
- N_c e N_q Sono i fattori di capacità portante già comprensivi dell'effetto forma (circolare);

Data la tipologia di profilo scelto e considerata l'area di contatto alla punta del palo di piccole dimensioni, per le verifiche di carico limite verticale **non verrà presa in considerazione il contributo di resistenza alla punta.**

Il metodo utilizzato per il calcolo della capacità portante laterale è il metodo α , proposto da Tomlinson (1971); la resistenza laterale viene calcolata nel seguente modo:

$$Q_1 = (\alpha c + \sigma K \tan \delta) \cdot A_l \cdot f_w$$

- A_l = superficie laterale del palo;
- f_w = fattore di correzione legato alla tronco-conicità del palo, ossia la diminuzione percentuale del diametro del palo
- c = valore medio della coesione (o della resistenza a taglio in condizioni non drenate);
- σ = pressione verticale efficace del terreno;
- K = coefficiente di spinta orizzontale, dipendente dalla tecnologia di esecuzione del palo e dal precedente stato di addensamento, viene calcolato come segue:
- α = coefficiente d'adesione;
- δ = attrito palo-terreno funzione della scabrezza della superficie del palo;

Per pali infissi:

Campiano Solar S.R.L.

Sede legale: Via Brigata Ebraica 50 – 48123 Mezzano (RA)

P.IVA: 02754580393 – **MAIL:** campianosolar@legalmail.it



RELAZIONE TECNICA OPERE CIVILI

Pali infissi in acciaio	
K	$1 - \tan^2\theta$
d	$3/4\tan\theta$
α	Coefficiente d'adesione

Tabella 41 Coefficienti calcolo resistenza laterale

Coefficiente α di adesione per palo infisso	
$2.5 \leq c < 5 \text{ t/m}^2$	$\alpha = 1.00$
$5 \leq c < 10$	$\alpha = 0.70$
$10 \leq c < 15$	$\alpha = 0.50$
$15 \leq c < 20$	$\alpha = 0.40$
$c > 20$	$\alpha = 0.30$

Tabella 42 Coefficiente α per palo infisso

Il coefficiente di adesione risulta dipendente dalla coesione drenata o non drenata in questa tabella espresso in t/m^2 .

8.3 Capacità portante per carichi orizzontali

Nel caso in cui un palo è soggetto a carico orizzontale, occorre verificare che il palo rimanga in condizioni di sicurezza anche rispetto a tali condizioni carico. Nelle verifiche a carico trasversale viene

Campiano Solar S.R.L.

Sede legale: Via Brigata Ebraica 50 – 48123 Mezzano (RA)

P.IVA: 02754580393 – **MAIL:** campianosolar@legalmail.it



RELAZIONE TECNICA OPERE CIVILI

applicata la teoria sviluppata da **Broms** per mezzo puramente coesivo e per mezzo incoerente nei casi di palo incastrato in testa o con possibilità di rotazione (libero).

Nel caso in esame nell'ottica del dimensionamento a favore di sicurezza verrà scelto la condizione di vincolo in testa più sfavorevole per la verifica di capacità portante ai carichi orizzontali. Si ricorda però che dato il sistema costruttivo studiato, composto da un palo battuto nel terreno in cui non sono presenti opere in conglomerato cementizio quali platee in testa, il vincolo più adatto ad approssimare il modello strutturale risulta essere quello di **cerniera**.

Campiano Solar S.R.L.

Sede legale: Via Brigata Ebraica 50 – 48123 Mezzano (RA)

P.IVA: 02754580393 – **MAIL:** campianosolar@legalmail.it

RELAZIONE TECNICA OPERE CIVILI

8.3.1 Palo libero di ruotare

In questa ipotesi rientrano due possibili meccanismi di rottura evidenziati in figura.

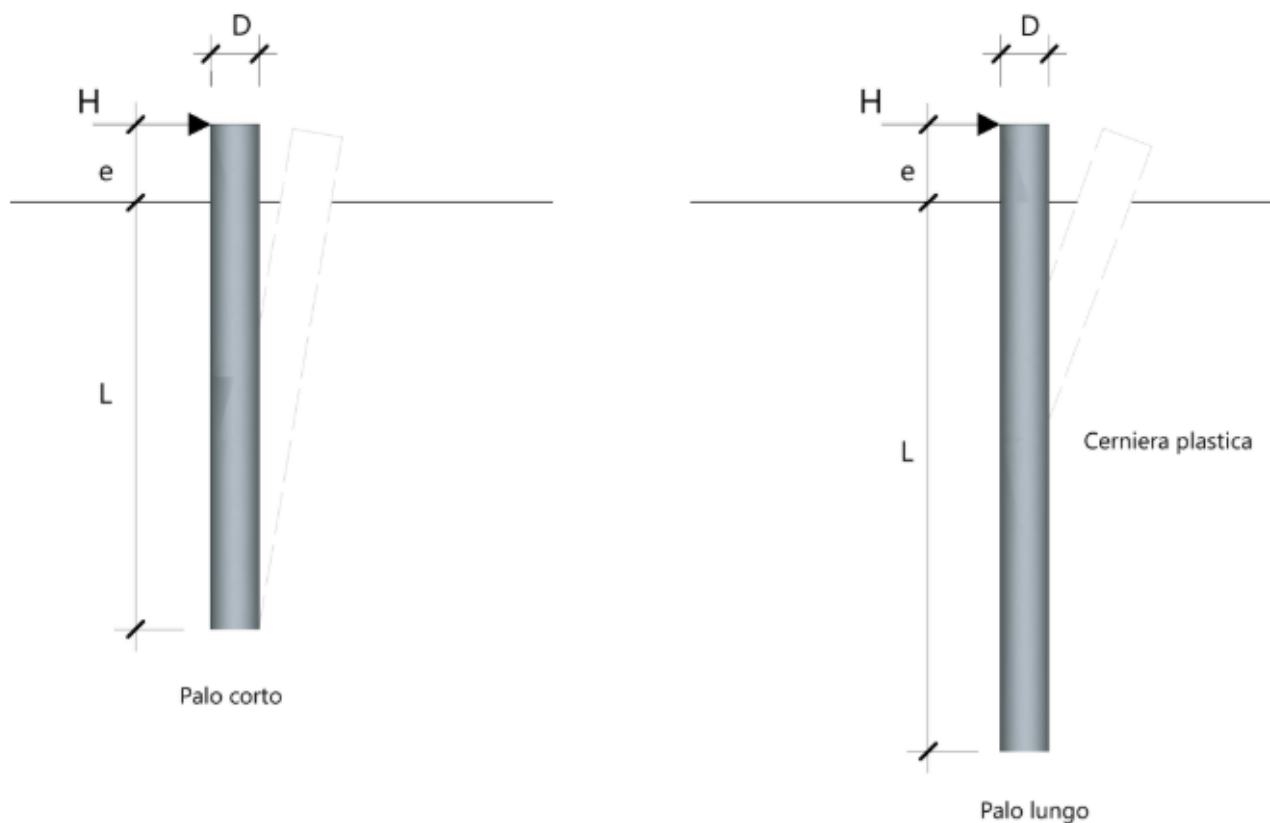


Figura 33 Meccanismo palo corto

I due meccanismi di collasso corrispondono, rispettivamente, ad un moto rigido di rotazione attorno ad un suo punto (*palo corto*) oppure ad un moto di rotazione relativa intorno ad una cerniera plastica.

Campiano Solar S.R.L.

Sede legale: Via Brigata Ebraica 50 – 48123 Mezzano (RA)

P.IVA: 02754580393– **MAIL:** campianosolar@legalmail.it

RELAZIONE TECNICA OPERE CIVILI

Per palo **rigido** (*palo corto*), l'equazione di equilibrio, in condizione ultima, dei momenti rispetto al piede del palo, è data dalla seguente espressione:

$$H_{ult} = \gamma \cdot K_p \cdot \frac{D}{2 \cdot (e + L)} \cdot L^3$$

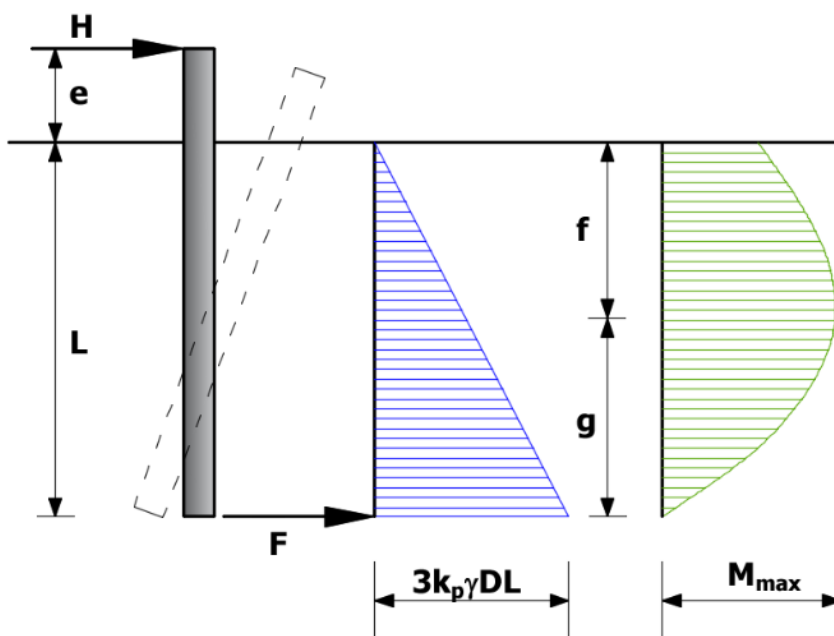


Figura 34 Palo libero di ruotare in testa, terreno incoerente, palo corto

Occorre però verificare che il momento massimo, legato al taglio, sia minore del momento di plasticizzazione $M_{max} \leq M_y$.

Campiano Solar S.R.L.

Sede legale: Via Brigata Ebraica 50 – 48123 Mezzano (RA)

P.IVA: 02754580393 – **MAIL:** campianosolar@legalmail.it



RELAZIONE TECNICA OPERE CIVILI

$$f = 0.816 \sqrt{\frac{H_{ult}}{\gamma \cdot K_p \cdot D}}$$

$$M_{max} = H_{ult} \left(e + \frac{2}{3} f \right)$$

Se il palo è **flessibile** (palo lungo) si verificherà che $M_{max} > M_y$. Uguagliando l'espressione di M_{max} con M_y si ottiene (nell'espressione seguente viene trascurata l'eccentricità):

$$H_{ult} = \left[\frac{M_y \cdot \sqrt{K_p \cdot \gamma \cdot D}}{0.544} \right]^{\frac{2}{3}}$$

Campiano Solar S.R.L.

Sede legale: Via Brigata Ebraica 50 – 48123 Mezzano (RA)

P.IVA: 02754580393 – **MAIL:** campianosolar@legalmail.it

RELAZIONE TECNICA OPERE CIVILI

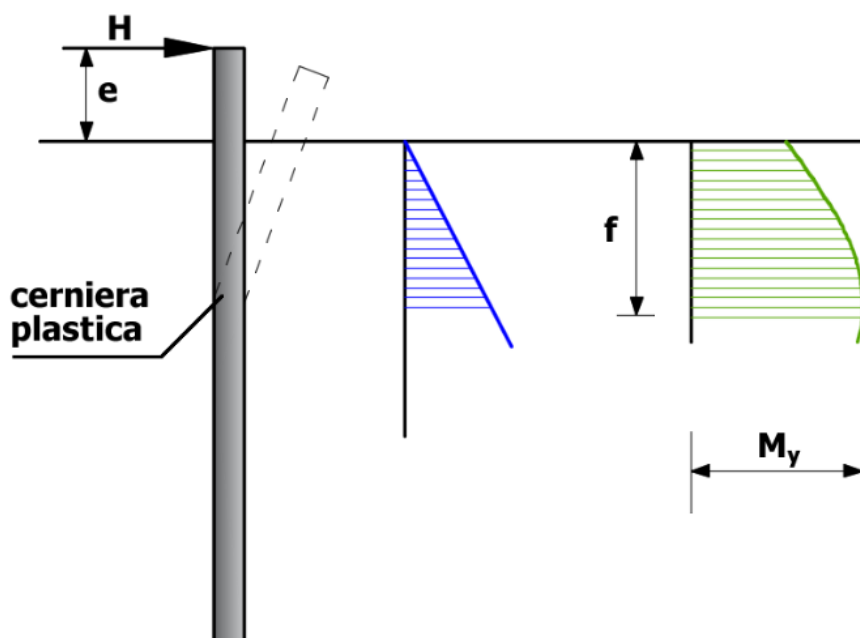


Figura 35 Palo libero di ruotare in testa, terreno incoerente, palo lungo.

Il coefficiente K_p , nell'ipotesi di terreno **incoerente**, si assume pari a quello di spinta passiva di Rankine:

$$K_p = \frac{1 + \sin\phi}{1 - \sin\phi}$$

Quando il palo è incastrato in testa i meccanismi di rottura possibili sono:

Campiano Solar S.R.L.

Sede legale: Via Brigata Ebraica 50 – 48123 Mezzano (RA)

P.IVA: 02754580393– **MAIL:** campianosolar@legalmail.it

RELAZIONE TECNICA OPERE CIVILI

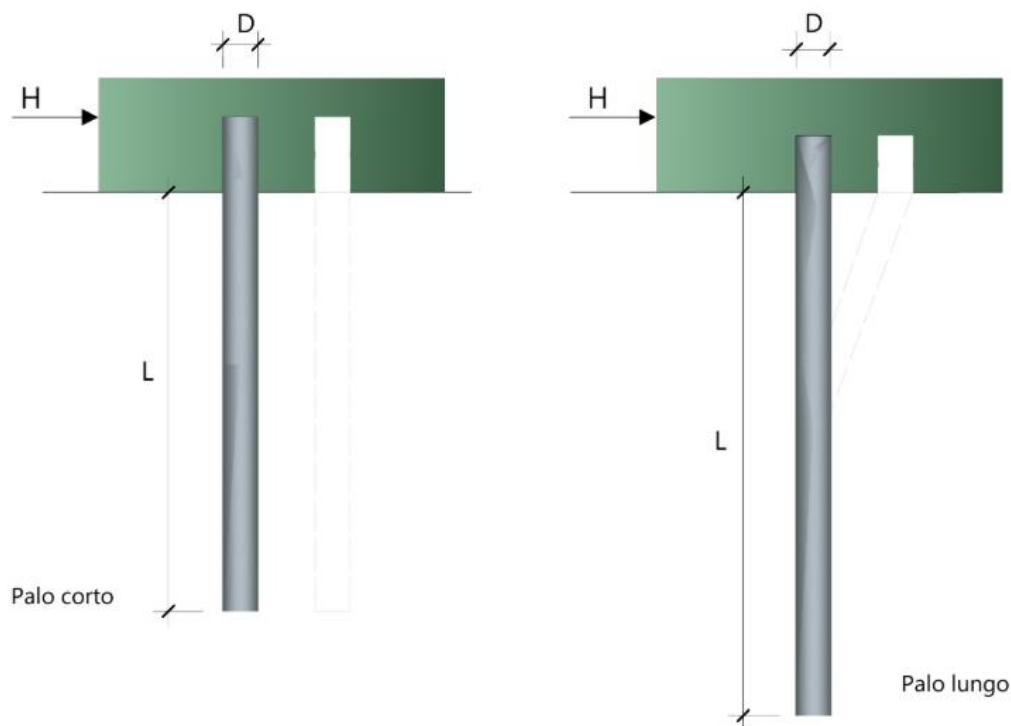


Figura 36 Palo libero di ruotare in testa, terreno incoerente, palo lungo.

Per palo **rigido** (*palo corto*), dall'equazione di equilibrio alla traslazione orizzontale risulta:

$$H_{ult} = 1.5 \cdot \gamma \cdot D \cdot L^2 \cdot K_p$$

Anche in questo caso occorre verificare che $M_{max} \leq M_y$, il momento massimo questa volta si verifica nell'incastro e vale:

$$M_{max} = \frac{2}{3} \cdot H_{ult} \cdot L$$

Campiano Solar S.R.L.

Sede legale: Via Brigata Ebraica 50 – 48123 Mezzano (RA)

P.IVA: 02754580393 – **MAIL:** campianosolar@legalmail.it

RELAZIONE TECNICA OPERE CIVILI

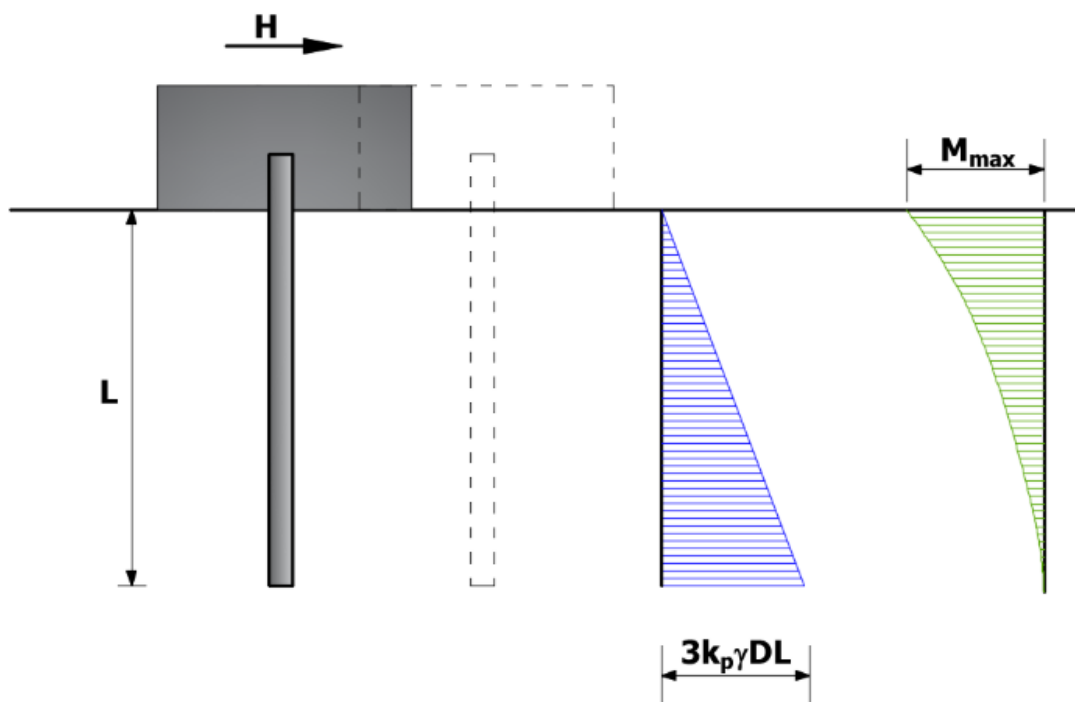


Figura 37 Palo impedito di ruotare in testa, terreni incoerenti, palo corto

8.4 Modello di calcolo Palo

Di seguito si riporta il modello di calcolo del palo infisso utilizzato per le verifiche sopra riportate. Si evidenzia il modello geotecnico con i parametri principali, le caratteristiche geometriche del palo in acciaio, ricordiamo essere un profilato HEB 260, la quota della falda e i carichi applicati, derivanti dalle azioni combinate dei pannelli fotovoltaici.

Campiano Solar S.R.L.

Sede legale: Via Brigata Ebraica 50 – 48123 Mezzano (RA)

P.IVA: 02754580393 – **MAIL:** campianosolar@legalmail.it



RELAZIONE TECNICA OPERE CIVILI

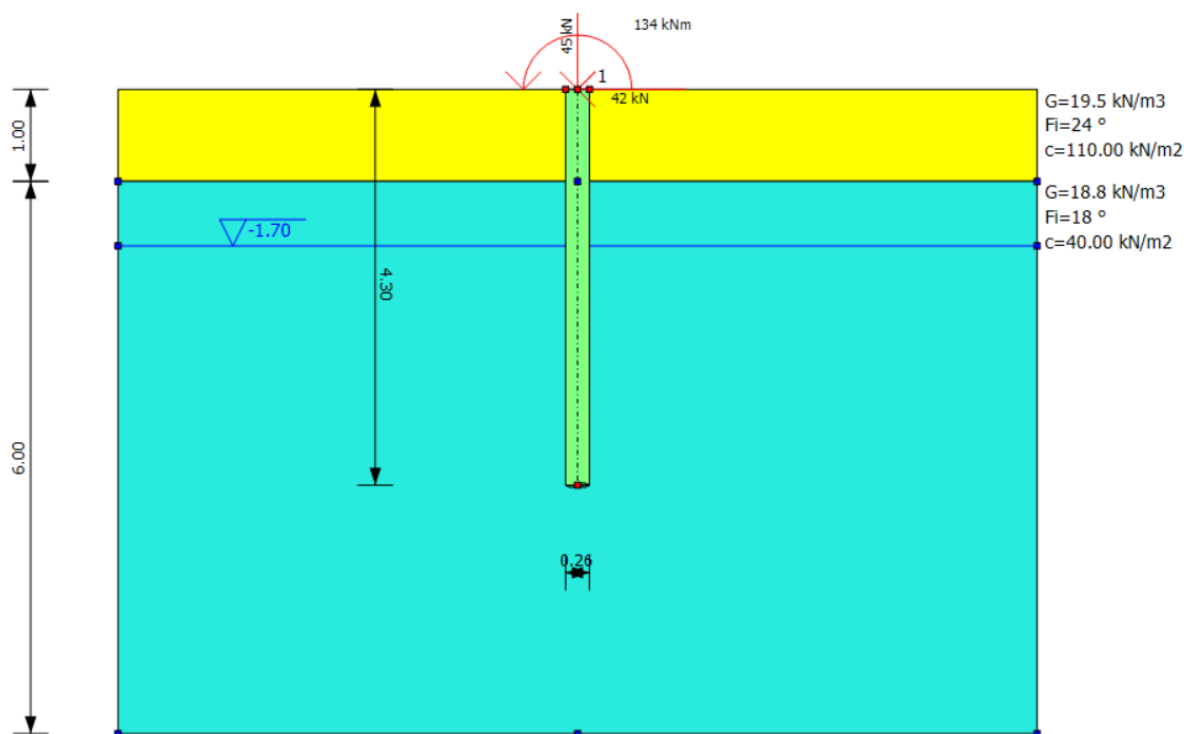


Figura 38 Modello di verifica palo

Il risultato riporta un valore necessario di 4,30 m di lunghezza di infissione, si ricorda che in questa fase, data l'assenza di prove geotecniche dirette, quali prove di carico sui pali, l'utilizzo di parametri geotecnici per le verifiche risultano a favore di sicurezza (Petrella, Di Francesco 2021). Si riserva dunque una maggior diminuzione della lunghezza di infissione nelle fasi successive in cui si espleteranno maggiori indagini in situ.

Campiano Solar S.R.L.

Sede legale: Via Brigata Ebraica 50 – 48123 Mezzano (RA)

P.IVA: 02754580393 – **MAIL:** campianosolar@legalmail.it

RELAZIONE TECNICA OPERE CIVILI

9. VERIFICHE FONDAZIONI LOCALI TECNICI

9.1 Premesse

Le verifiche per le **fondazioni dirette** si effettueranno le seguenti verifiche strutturali (GEO):

- Verifica del carico limite (SLU);

Tenendo conto di combinazioni di carico e formule differenti:

- Hansen (1970)
- Terzaghi (1955)
- Meyerhof (1963)
- Brinch – Hansen (1970)
- Meyerhof and Hanna (1978)

Nel caso specifico la NTC 17/01/2018 prescrive che:

Le seguenti verifiche devono essere effettuate secondo **l'Approccio 2**, con la combinazione **(A1+M1+R3)**, tenendo conto dei valori dei coefficienti parziali riportati nelle tabelle 6.2.I, 6.2.II, 6.4.II e 6.4.VI.

Il processo di verifica prevede la determinazione delle tensioni sulla superficie di rilevato tramite modellazione della cabina di controllo (carico sovrastante) per poi passare alla verifica dell'interfaccia terreno fondazione tramite il carico limite sopra descritto.

Si ricorda che, i cabinati sono opere prefabbricate realizzate in appositi stabilimenti e posate sulle opere di fondazione verificate per il peso complessivo sovrastante. **Le cabine sono scelte in base alle esigenze della componentistica elettrica necessaria ai fini del corretto funzionamento dell'architettura elettrica. Le prestazioni strutturali e impiantistiche offerte dai cabinati saranno garantite dal fornitore, si riserva dunque di non verificare le seguenti opere.**

Campiano Solar S.R.L.

Sede legale: Via Brigata Ebraica 50 – 48123 Mezzano (RA)

P.IVA: 02754580393– **MAIL:** campianosolar@legalmail.it

RELAZIONE TECNICA OPERE CIVILI

9.1.1 Cabina di controllo

Il modello della cabina di controllo è composto da pareti in calcestruzzo sp. 9 cm simulate tramite elementi shell bidimensionali, alle quali sono apposti i fori dovuti agli alloggiamenti delle aperture come riportato nelle tavole architettoniche. Il solaio di copertura sp.10 cm mentre di calpestio sp. 12 cm entrambi modellati come solette bidimensionali con giacitura principale nella direzione del lato lungo.

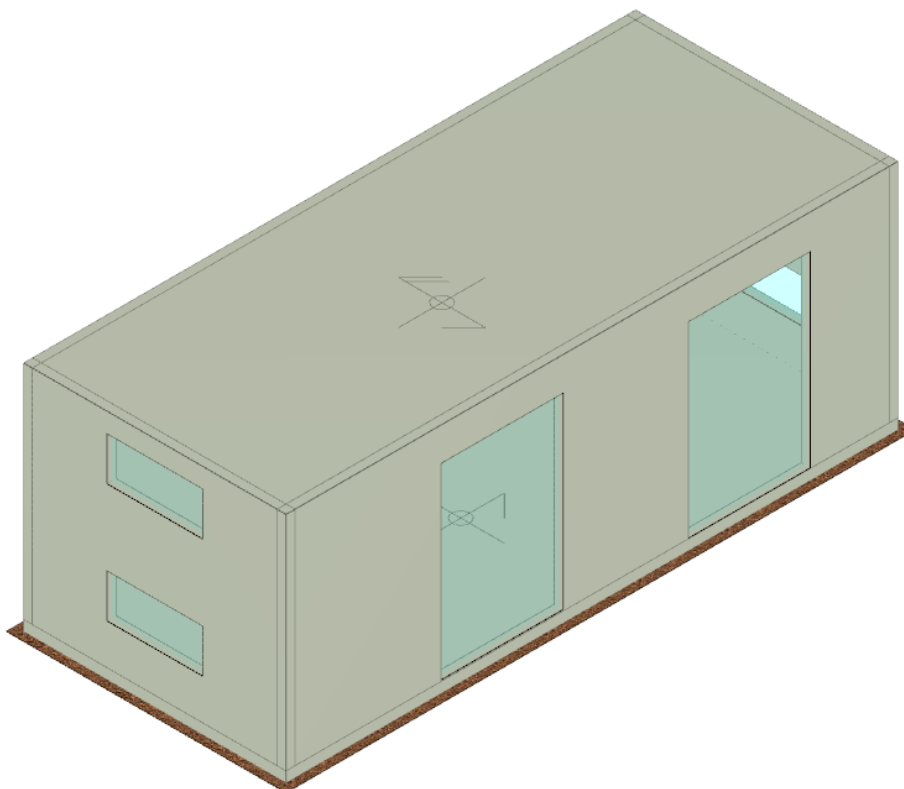


Figura 39 Modello 3D cabina di controllo

Campiano Solar S.R.L.

Sede legale: Via Brigata Ebraica 50 – 48123 Mezzano (RA)

P.IVA: 02754580393– **MAIL:** campianosolar@legalmail.it

RELAZIONE TECNICA OPERE CIVILI

Di seguito si riporta il modello strutturale con evidenze degli elementi finiti che costituiscono le superfici delle pareti e i nodi strutturali.

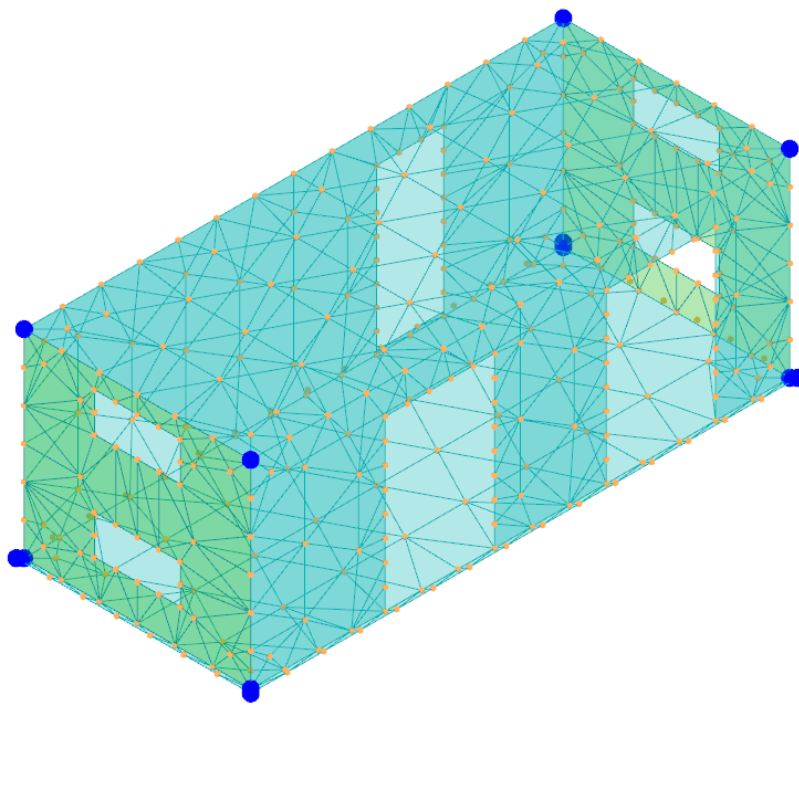


Figura 40 Modello strutturale cabina di controllo

Il risultato principale estratto dal modello risulta la pressione massima sul terreno allo SLU considerando tutti i carichi della cabina. In questo caso il valore verrà poi utilizzato come pressione agente sul rilevato per la verifica del carico limite allo SLU.

$$T_{ed} = 0,056 \text{ Mpa}$$

Campiano Solar S.R.L.

Sede legale: Via Brigata Ebraica 50 – 48123 Mezzano (RA)

P.IVA: 02754580393– **MAIL:** campianosolar@legalmail.it

RELAZIONE TECNICA OPERE CIVILI

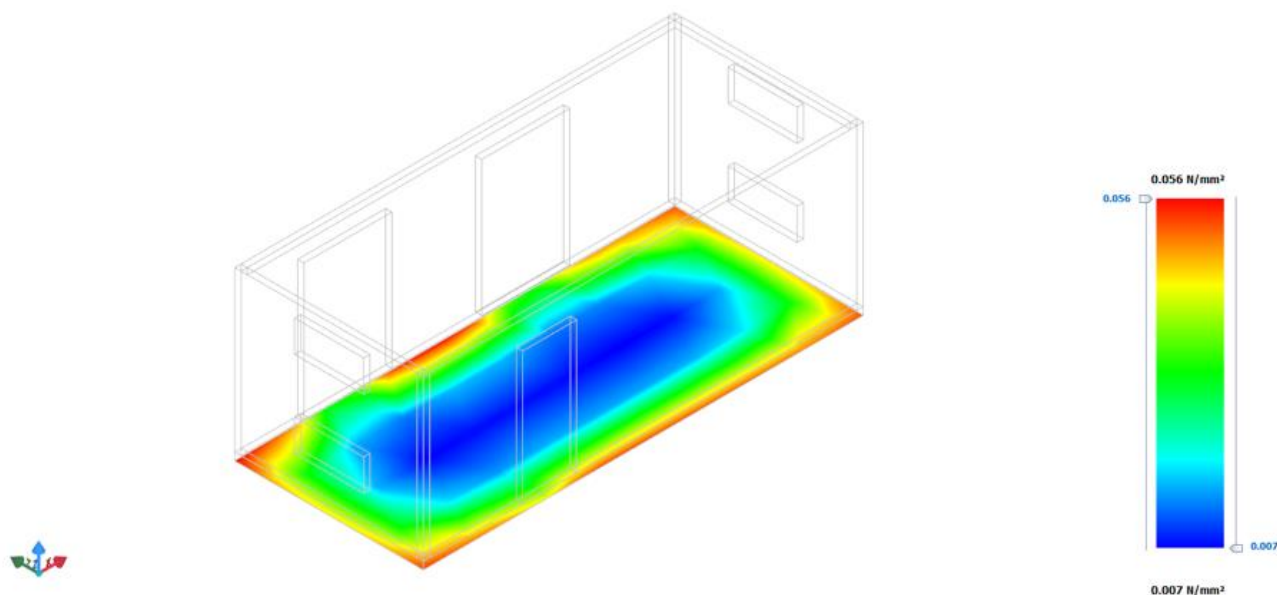


Figura 41 Tensioni SLU sul terreno cabina di controllo

Campiano Solar S.R.L.

Sede legale: Via Brigata Ebraica 50 – 48123 Mezzano (RA)

P.IVA: 02754580393– **MAIL:** campianosolar@legalmail.it

RELAZIONE TECNICA OPERE CIVILI

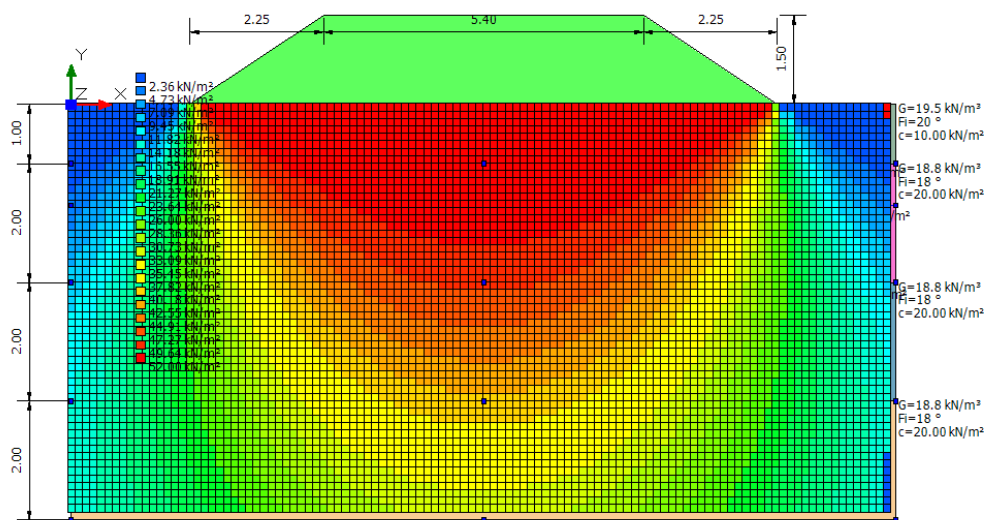


Figura 42 Andamento tensioni indotte in sezione con la profondità

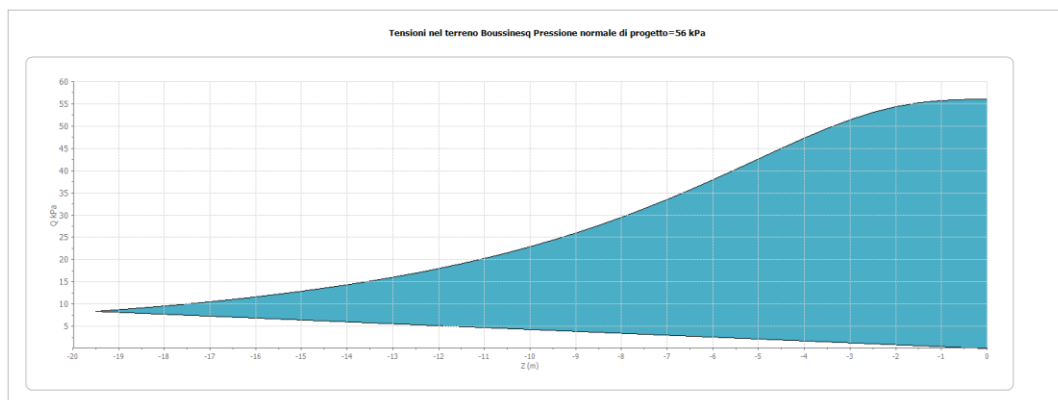


Figura 43 Andamento tensioni con la profondità cabina di trasformazione

9.2 Verifica carico limite (SLU)

La formula del carico limite esprime l'equilibrio fra il carico applicato alla fondazione e la resistenza limite del terreno. Si riporta di seguito per semplicità di trattazione l'espressione del carico limite dalla così come

Campiano Solar S.R.L.

Sede legale: Via Brigata Ebraica 50 – 48123 Mezzano (RA)

P.IVA: 02754580393– **MAIL:** campianosolar@legalmail.it

RELAZIONE TECNICA OPERE CIVILI

proposta da Terzaghi.

$$q = A \cdot \gamma_1 \cdot h + B \cdot c + C \cdot \gamma \cdot b$$

Per semplicità di trattazione si riportano le verifiche del carico limite dei rilevati delle cabine in “**TGR-02-REL-004 - Tabulati di calcolo opere civili**”.

Campiano Solar S.R.L.

Sede legale: Via Brigata Ebraica 50 – 48123 Mezzano (RA)

P.IVA: 02754580393– **MAIL:** campianosolar@legalmail.it