



CITTA' DI BRINDISI

REGIONE PUGLIA

IMPIANTO FOTOVOLTAICO "CONTESSA"

della potenza di 68,00 MW in DC
PROGETTO DEFINITIVO

COMMITTENTE:



3P Più Energia S.r.l.
Via Aldo Moro 28
25043 Breno (BS)
P.IVA 04230070981

PROGETTAZIONE:



TEKNE srl
Via Vincenzo Gioberti, 11 - 76123 ANDRIA
Tel +39 0883 553714 - 552841 - Fax +39 0883 552915
www.gruppotekne.it e-mail: contatti@gruppotekne.it



PROGETTISTA:

Ing. Renato Pertuso
(Direttore Tecnico)

LEGALE RAPPRESENTANTE:

dott. Renato Mansi



TEKNE srl
SOCIETÀ DI INGEGNERIA
IL PRESIDENTE
Dott. RENATO MANSI

PD

PROGETTO DEFINITIVO

CALCOLI PRELIMINARI DELLE STRUTTURE

Tavola: **RE04.2**

Filename:

TKA690-PD-RE4.2-Calcoli preliminari delle strutture.doc

Data 1°emissione: Luglio 2021	Redatto: E.PASTORE	Verificato: G.PERTOSO	Approvato: R.PERTOSO	Scala:	Protocollo Tekne:
n° revisione	1 Maggio 2023 N. LOMUSCIO	G.PERTOSO	R.PERTOSO		TKA690
2					
3					
4					

1. INTRODUZIONE

Nella presente relazione saranno analizzate e calcolate le principali opere edili e le rispettive opere di fondazione che dovranno realizzarsi nell'ambito della costruzione dell'impianto fotovoltaico denominato "Contessa" presso il Comune di Brindisi (BR), in particolare le opere riguardanti le recinzioni, le cabine prefabbricate e le strutture di sostegno dei moduli fotovoltaici.

Il futuro impianto fotovoltaico sarà ubicato in un contesto pianeggiante a sud-est del Comune di Brindisi (BR) in un terreno ricadente nella zona industriale ASI, nei pressi dell'area denominata "Parco delle Saline di Punta della Contessa". Inoltre, l'area di progetto ricade nel perimetro SIN (Siti di Interesse Nazionale). L'area di progetto è catastalmente individuata:

- Foglio 87 p.lle 181, 88, 109, 3, 87, 111, 156, 117, 118, 162, 176, 6, 8, 28, 45, 47, 54, 55, 56, 60, 61, 66, 67, 77, 89, 90, 91, 98, 108, 116, 124, 143, 145, 154, 155, 170, 184, 185, 252, 253, 107, 112, 130, 131, 141, 26, 59, 63, 64, 83, 92, 160, 336, 338, 340, 342, 344, 43, 94, 113, 148, 233, 174, 182, 325, 166, 167, 168, 169, 68, 69, 95, 175;
- Foglio 117 p.lle 9, 52, 77, 78, 127, 129.

L'area di progetto è facilmente raggiungibile dal Comune di Brindisi, attraverso la Strada Provinciale 88. La superficie lorda dell'area di intervento è di ha 70,72. L'area oggetto di realizzazione del parco fotovoltaico si trova ad un'altitudine media di m 10 s.l.m. e le coordinate geografiche, nel sistema WGS84 sono nell'intorno delle seguenti coordinate:

- latitudine: 40°36'53.02"N
- longitudine: 17°59'18.19"E

Dal punto di vista urbanistico, l'area di progetto del parco fotovoltaico ricade in zona "produttiva industriale ASI" e in zona servizi "F" così come definita dal piano regolatore vigente, caratterizzata da terreni attualmente incolti.

L'elaborato in oggetto è parte integrante del progetto di realizzazione dell'impianto fotovoltaico ed è stato redatto ai sensi:

- dell'Art. 27 bis del D. lgs. 152/2006 riguardante il PUA (Procedimento Unico Ambientale);
- delle Linee guida del Ministero dello sviluppo economico - D.M. 10-9-2010 - Linee guida per l'autorizzazione degli impianti alimentati da fonti rinnovabili;
- della Deliberazione Della Giunta Regionale 30 dicembre 2010, n. 3029: Approvazione della Disciplina del procedimento unico di autorizzazione alla realizzazione ed all'esercizio di impianti di produzione di energia elettrica;

- del Regolamento Edilizio del Comune di Brindisi e delle relative Norme Igienico Sanitarie.

Le soluzioni tecniche adottate per le fondazioni del parco fotovoltaico e delle relative recinzioni non prevedono in alcun modo opere in conglomerato cementizio gettato in opera. Tutte le fondazioni saranno costituite da pali in acciaio battuti e/o trivellati, mentre le cabine prefabbricate disporranno di opportune basi di appoggio prefabbricate semplicemente poggiate su terreno protetto da geotessuto. Ulteriori informazioni relative a strutture e fondazioni sono consultabili negli elaborati *RE04.1-Relazione descrittiva delle strutture, IE04-Cabine di campo e di raccolta, AR06-Strutture di supporto dei pannelli fotovoltaici e recinzione.*

2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

- D.G.R. n°35 del 23/01/2007;
- Decreto Legislativo 29 dicembre 2003, n. 387;
- Deliberazione Della Giunta Regionale 30 dicembre 2010, n. 3029;
- Regolamento Edilizio e Norme Igienico Sanitarie in vigore;
- D.M. Infrastrutture 17/1/2018 – “Norme Tecniche per le costruzioni” – pubblicato su S.O. n°8 alla G.U. 20/2/2018, n°42;
- Circolare 21/1/2019 n°7 C.S.LL.PP. – Istruzioni per l’applicazione dell’”Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni” di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018 – pubblicato su S.O. n°5 della G.U. 11/2/2019 n°35.

3. CARATTERIZZAZIONE DELL’AREA D’INTERVENTO

Prima di procedere al predimensionamento dei pali di fondazione per le strutture di supporto delle strutture fotovoltaiche, dei pesi propri, dei carichi agenti (vento, neve, azioni sismiche) è necessario caratterizzare l’area di intervento, al fine di utilizzare correttamente tutti i parametri e i coefficienti previsti dalla normativa.

3.1. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DELL’AREA

L’area oggetto di studio ricade nel Foglio 204 della Carta Geologica Ufficiale in scala 1:100.000 “LECCE” ed è situata nel settore settentrionale della Penisola Salentina: in particolare l’area interessata

dall'impianto fotovoltaico sorge su un'area pressoché pianeggiante con altitudine media di 10 metri sul livello del mare.

È stato effettuato un rilevamento geologico speditivo del sito di progetto e di un suo intorno, in agro del comune di Brindisi (BR), nell'immediata periferia Sud-Est. I risultati sono stati cartografati nella Carta geologica allegata al presente studio, in cui si è ritenuto opportuno evidenziare le caratteristiche litologiche delle Formazioni rocciose, le strutture tettoniche ed una breve descrizione biostratigrafica e paleontologica. Alcuni lavori bibliografici e la cartografia in scala 1:100.000 dell'Istituto Superiore per la Protezione e le Ricerca Ambientale (I.S.P.R.A.), hanno consentito di approfondire la conoscenza delle caratteristiche geologiche del territorio.

Da un punto di vista generale le aree in esame ricadono nell'ambito dell'Avanpaese apulo, individuatosi durante l'orogenesi appenninica, ed è costituito da una potente successione di rocce carbonatiche di piattaforma. La piana di Brindisi coincide con una vasta depressione strutturale aperta verso la costa adriatica, che interessa le rocce carbonatiche dell'Avanpaese, nella quale si sono depositi sedimenti del ciclo di riempimento della Fossa Bradanica e depositi marini terrazzati. Morfologicamente il territorio risulta generalmente pianeggiante rispecchiando, dunque, l'assetto tabulare dei depositi plio-pleistocenici e, subordinatamente, mesozoici affioranti.

La morfologia piuttosto dolce dell'intero territorio brindisino trova corrispondenza nel fatto che i piegamenti che hanno colpito le formazioni affioranti sono piuttosto blandi. In superficie non sono rilevabili faglie, a parte una faglia presunta al margine occidentale del foglio Brindisi. Quindi le dislocazioni per faglia o sono quasi del tutto assenti oppure sono anteriori ai terreni pliocenici e pleistocenici che occupano le zone strutturalmente depresse, ed in tal caso risultano sepolte dalle stesse. Si può quindi parlare di fenomeni plicativi precedenti il Pliocene senza poter escludere tuttavia che questi possano essere in parte continuati fino al Pleistocene con manifestazioni assai più blande. Il complesso sedimentario più importante della zona in oggetto è rappresentato dai depositi di terrazzo (Pleistocene medio-sup.). La successione stratigrafica, iniziando dal termine più antico, comprende:

- Calcarea di Altamura (Cretaceo superiore);
- Calcarenite di Gravina (Pleistocene inferiore);
- Argille subappenniniche (Pleistocene inferiore.);
- Depositi marini terrazzati (Pleistocene superiore);
- Depositi palustri (Olocene);

Le falde idriche superficiali, benché presenti quasi per intero in tutto il territorio brindisino, sono localizzate a profondità tali da non interferire con le opere in progetto.

Per quanto riguarda la classificazione sismica del sottosuolo, Secondo il D.M. del 17 gennaio 2018, per la definizione delle azioni sismiche di progetto secondo l'approccio semplificato riconducibile alle cinque categorie di sottosuolo, si fa riferimento alla cosiddetta $V_{s,eq}$ valutato dalla seguente espressione:

$$V_{s,eq} = H / (\sum_{i=1}^N (h_i / V_{s,i}))$$

dove:

- h_i = spessore dell'i-esimo strato
- $V_{s,i}$ = velocità delle onde di taglio nell'i-esimo strato
- N = numero di strati
- H = profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia e terreno molto rigido, caratterizzato da V_S non inferiore a 800 m/s.

Il valore della $V_{s,eq}$ è stato determinato in base alle indagini indirette prese in riferimento. Tali indagini hanno fornito un valore sperimentale medio tale da poter attribuire il suolo su cui ricadrà l'opera in progetto alla CATEGORIA "B", che, in base alla nuova definizione fornita dal D.M. del 17 gennaio 2018, rientra nella classificazione di "Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s".

Di seguito (Tabella 1) sono riportate le caratteristiche geotecniche del materiale del substrato.

γ	$[kN/m^3]$	16,50
ϕ	$[^\circ]$	23
δ	$[^\circ]$	15
C	$[kN/m^2]$	3,9
K_p	$[/]$	2,28

Tabella 1: parametri geotecnici dell'area in esame.

I parametri geotecnici riportati in precedenza rappresentano un'assunzione fatta a favore di sicurezza, dal momento che tali parametri sono destinati a crescere con la profondità.

3.2. CARATTERIZZAZIONE EOLICA DELL'AREA

Dall'analisi del posizionamento geografico e sulla base della Normativa Tecnica a disposizione (NTC 2018) sono state definite:

- *Macrozonazione eolica*: il sito è posizionato in zona 3, a cui corrispondono i parametri di velocità ed altezza di riferimento riportati di seguito (Tabella 2).

Zona	[/]	3
V_{b,0}	[m/s]	27,00
a₀	[m]	500
k_s	[1/s]	0,37

Tabella 2: parametri di macrozonazione eolica.

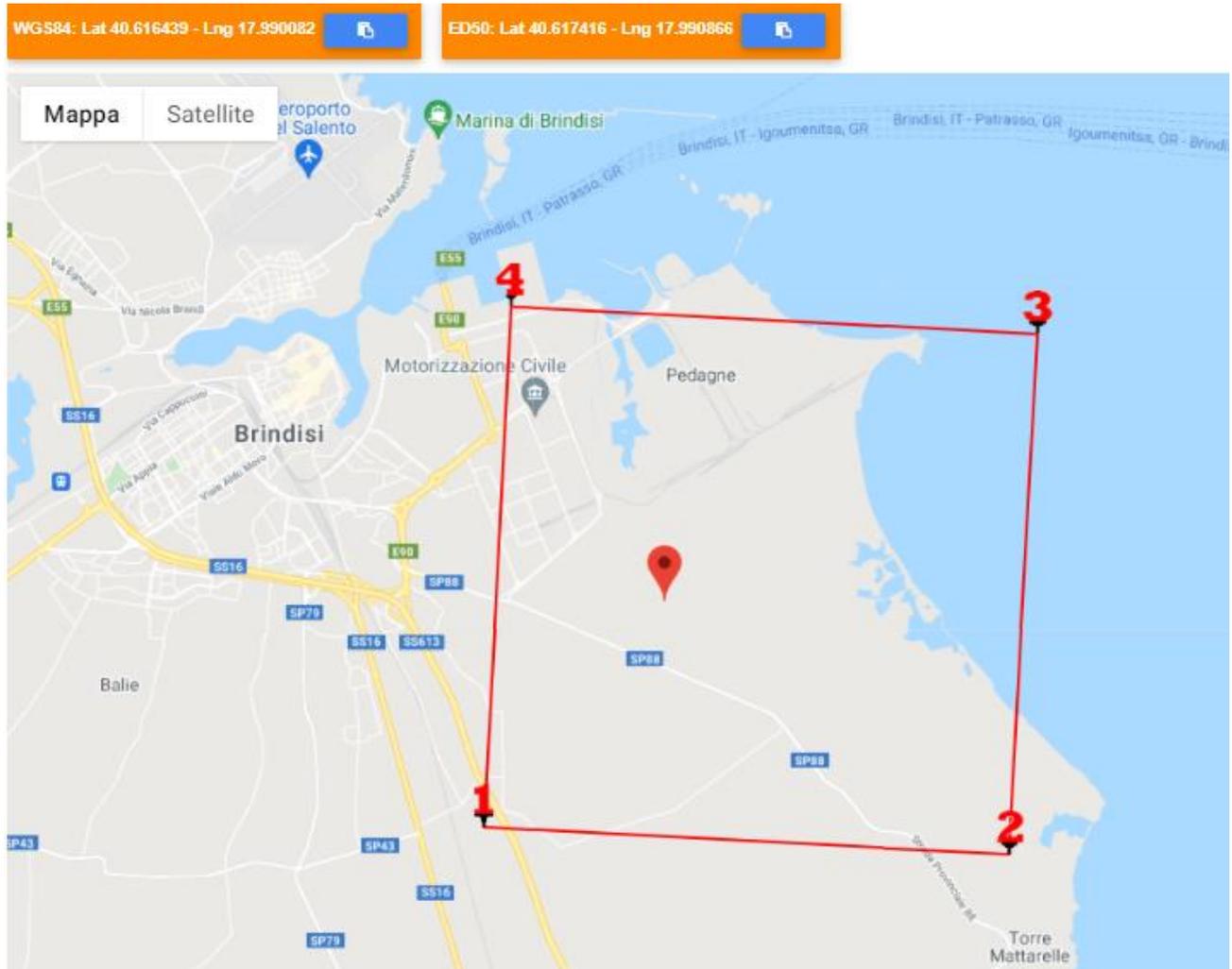
- *Microzonazione*: è stato possibile determinare il collocamento dell'area d'interesse in classe di rugosità "D" con categoria di esposizione "II". Da ciò scaturiscono i parametri (Tabella 3) utili al calcolo della pressione cinetica e dell'azione statica equivalente.

altezza s.l.m.	[m]	10
Classe di rugosità	[/]	D
Categoria di esposizione	[/]	II
k_r	[/]	0,19
z₀	[m]	0,05
z_{min}	[m]	4
c_t	[/]	1
c_e	[/]	1,8
c_p(α)	[/]	± 1,50
c_d	[/]	1

Tabella 3: parametri di microzonazione eolica.

3.3. CARATTERIZZAZIONE SISMICA DELL'AREA

La classificazione sismica della zona di intervento ricade in zona sismica 4. La pericolosità sismica è stata definita in termini di ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente $S_e(T)$, con riferimento alla probabilità di eccedenza P_{VR} dello Stato Limite di prevenzione del Collasso (SLC) pari al 5%, e considerando un periodo di riferimento V_R pari a 35 anni.



Stati limite



Classe Edificio

I. Presenza occasionale di persone, edifici agricoli...



Vita Nominale

50



Interpolazione

Media ponderata

CU = 0.7

Stato Limite	Tr [anni]	a_g [g]	Fo	Tc* [s]
Operatività (SLO)	30	0.012	2.360	0.148
Danno (SLD)	35	0.013	2.339	0.155
Salvaguardia vita (SLV)	332	0.038	2.476	0.411
Prevenzione collasso (SLC)	682	0.048	2.544	0.480

Periodo di riferimento per l'azione sismica: 35

Coefficienti sismici



Tipo

Stabilità dei pendii e fondazioni

Muri di sostegno che non sono in grado di subire spostamenti.



H (m)

1



us (m)

0.1



Cat. Sottosuolo

B



Cat. Topografica

T1

	SLO	SLD	SLV	SLC
SS Amplificazione stratigrafica	1,20	1,20	1,20	1,20
CC Coeff. funz categoria	1,61	1,60	1,31	1,27
ST Amplificazione topografica	1,00	1,00	1,00	1,00

Acc.ne massima attesa al sito [m/s²]



0.6

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0.012	0.012	0.012	0.012
kv	0.006	0.006	0.006	0.006
Amax [m/s ²]	0.600	0.600	0.600	0.600
Beta	0.200	0.200	0.200	0.200

Il comportamento della struttura è stato ipotizzato non dissipativo, pertanto è stato assunto un fattore di comportamento $q = 1,00$. Mentre per quanto riguarda la componente verticale del moto, visti i carichi in gioco trascurabili e la leggerezza della struttura, essa è stata trascurata.

Di seguito (Tabella 4) sono riportati i parametri per la determinazione dello spettro di risposta elastico in accelerazione $S_e(T)$ per lo Stato Limite di Collasso.

P_{VR}	[%]	5
V_N	[anni]	50
C_u	[/]	0,7
V_R	[anni]	35
A_g/g	[m/s ²]	0,048
F₀	[/]	2,544
T*_C	[/]	0,480
Cat. Sottosuolo	[/]	B
S_s	[/]	1,20
S_T	[/]	1,00
C_c	[/]	1,27
η	[/]	1,00
q	[/]	1,00

Tabella 4: parametri sismici per lo Stato Limite di Collasso.

I periodi di riferimento utili per il tracciamento degli spettri di accelerazione in componente orizzontale sono riportati di seguito (Tabella 5). Noti i parametri sismici e conoscendo il periodo proprio della struttura in esame, è possibile calcolare la sollecitazione sismica.

T_b	[s]	0,217
T_c	[s]	0,65
T_d	[s]	1,82

Tabella 5: periodi di riferimento per il tracciamento dello spettro di risposta in termini di accelerazione espresso per la componente orizzontale allo Stato Limite di Collasso (SLC).

4. CARICHI AGENTI

Sulla base della caratterizzazione dell'area di interesse è possibile procedere all'individuazione dei carichi agenti sulla struttura e delle relative combinazioni utili per l'analisi strutturale. Anzitutto è importante analizzare le singole componenti che compongono la struttura in modo da calcolare il peso complessivo della stessa.

4.1. PESO PROPRIO DELLA STRUTTURA

La struttura considerata ai fini della generazione del modello strutturale è costituita da un sistema a strutture fisse, di dimensioni in pianta pari a 9,26 x 7,35 metri, composto da 24 moduli fotovoltaici ancorati ad un unico telaio in acciaio a sezione scatolare 50x50mm mediante correntini in alluminio. Il telaio a sua volta è collegato con pilastri a sezione circolare e tirafondi di collegamento ai pilastri a sezione HEB di fondazione. In generale tutti i calcoli effettuati sono riportati con l'effettiva incidenza a metro quadro e a metro lineare, riferiti quindi al singolo telaio e al singolo pilastro di scarico. In tal modo la successiva modifica in riduzione o ampliamento del filare dei tracker non influenzerà i risultati di calcolo. I pali di fondazione battuti, in acciaio, costituiranno l'ancoraggio e la fondazione al suolo delle vele. Le dimensioni standard del modello realizzato risultano essere pari a 9,26 x 7,35 metri, pari a 65,75 mq. Il peso proprio del modello, espresso in termini di incidenza a metro quadro, risulta essere pari a **45,26 Kg/mq (0,44 KN/mq)**, e si articola nel seguente modo:

- ✓ 24 moduli fotovoltaici da 615W bifacciali, dimensioni 2440x1140x40 mm, peso singolo modulo 34,50 Kg. Peso complessivo pari a 828,00 Kg. *Incidenza a metro quadro pari a 12,59 Kg/mq;*
- ✓ *Accessori di montaggio, di peso complessivo pari a 26,30 kg e incidenza pari a 0,40 Kg/mq;*
- ✓ 6 traversi in alluminio sezione 40x40x2mm con funzione di supporto per ancoraggio moduli fotovoltaici alla sottostruttura. Sviluppo complessivo pari a 60 metri. Peso al metro lineare pari a 0,75 Kg/m. Peso complessivo pari a 45 kg. *Incidenza a metro quadro pari a 0,68 Kg/mq;*
- ✓ 1 telaio (Cfr. Tav. **AR06-Strutture di supporto**) realizzati con profili scatolari in acciaio 50x50 mm, peso specifico 4,45 kg/m, aventi sviluppo lineare pari a 70,00 m. Peso complessivo pari a 311,50 Kg. *Incidenza a metro quadro pari a 4,74 Kg/mq;*
- ✓ 6 pilastri in profili HEB-140 (Cfr. Tav. **AR06-Strutture di supporto**) predimensionati in 3000x140x140mm, spessore 7,00 mm. Peso complessivo pari a 450,50 Kg. *Incidenza a metro quadro pari a 6,84 Kg/mq;*

- ✓ 6 pali di fondazione battuti in profili HEB-140 (Cfr. Tav. **AR06-Strutture di supporto**) predimensionati in 3000x140x140mm, spessore 7,00 mm. Peso complessivo pari a 900 Kg.
Incidenza a metro quadro pari a 13,69 Kg/mq;

4.2. AZIONE DEL VENTO

In ossequio alla Normativa vigente, per il calcolo del carico impresso dal vento si è proceduto alla determinazione della pressione del vento in relazione ai parametri derivanti dalla zonazione eolica precedentemente riportati.

La pressione del vento p è determinata come segue:

$$p = q_r * c_e * c_p * c_d. [N/m^2]$$

Nella formula precedente con q_r si indica la pressione cinetica di riferimento del vento determinata come:

$$q(z) = 1/2 * 1,25 * v_r^2 [N/m^2]$$

Per un tempo di ritorno pari a $T_R = 50$ anni e per un'altitudine sul livello del mare del sito $a_s \leq a_0$ ($50 \leq 500$), la velocità di riferimento del vento v_r è pari a $v_{b,0}$, ovvero pari a **27 m/s**; pertanto, la pressione cinetica di riferimento è pari a **$q_r = 455,62 N/m^2$** .

Il coefficiente di esposizione c_e dipende dall'altezza z sul suolo del punto considerato, dalla topografia del terreno e dalla categoria di esposizione del sito ove sorge la struttura.

Nello specifico, ad altezza z pari a 2,54 m ($z < z_{min}$) e classe di esposizione del sito pari a II, il coefficiente di esposizione è pari a **$c_e = 1,8$** .

Il coefficiente di forma c_p dipende dalla tipologia e dalla geometria della struttura e dal suo orientamento rispetto alla direzione del vento. Nello specifico, considerando l'inclinazione del pannello pari ad $\alpha = 15^\circ$, è stato assunto **$c_p = 1,50$** .

Infine, il coefficiente dinamico c_d è stato assunto cautelativamente, secondo la norma, pari a **1**.

Pertanto, la pressione del vento risulta pari a **$p = 1,350 KN/m^2$** .

Di seguito si riporta il calcolo in tabella (Tabella 6).

q_r	[N/m²]	455,63
c_e	[/]	1,8
c_p	[/]	1,50
c_d	[/]	1
p	[kN/m²]	1,353

Tabella 6: pressione del vento

4.3. CARICO NEVE

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

$$q_s = q_{sk} * \mu_i * C_E * C_T$$

Il valore di riferimento del carico neve al suolo q_{sk} è calcolato in riferimento alla zonazione imposta dalla normativa vigente (NTC 2018); a tal proposito il sito ricade nella Zona III con $a_s < 200$ m, pertanto il valore di riferimento del carico neve al suolo è pari a:

$$q_{sk} = 0,60 \text{ KN/m}^2 \quad \text{se } a_s < 200 \text{ m}$$

Il coefficiente di esposizione C_E e il coefficiente termico C_T sono stati assunti pari a 1, mentre, per $\alpha = 0^\circ$, il coefficiente di forma μ_i è pari a 1,60.

Pertanto, il carico neve risulta pari a **$q_s = 0,96 \text{ KN/m}^2$** .

Di seguito si riporta il calcolo in maniera tabellare (Tabella 7).

q_{sk}	[kN/m²]	0,600
μ	[/]	1,60
C_E	[kN]	1
C_T	[/]	1
q_s	[kN/m²]	0,96

Tabella 7: carico neve

4.4. AZIONE SISMICA

Sulla base dei dati a disposizione e considerando la tipologia strutturale, assimilabile a quella di un oscillatore ad un grado di libertà, secondo quanto previsto dalle norme vigenti è possibile schematizzare la sollecitazione sismica mediante una sollecitazione statica equivalente F_h .

L'entità della forza F_h è pari a:

$$F_h = S_d(T_1) * W * \lambda / g \text{ [kN]}$$

Dove W è il peso complessivo della struttura associato ai seguenti carichi gravitazionali:

$$G_1 + \Psi_{21} Q_{k1}$$

$S_d(T_1)$ è l'ordinata dello spettro di risposta allo Stato Limite di Collasso (SLC) per la componente orizzontale corrispondente al periodo T_1 della struttura, quest'ultimo è stimato secondo quanto previsto dalla normativa vigente, nel seguente modo:

$$T_1 = 2 * d^{1/2}$$

Con d spostamento laterale elastico del punto più alto della struttura espresso in metri, dovuto ai carichi gravitazionali W applicati in direzione orizzontale. Il coefficiente λ , secondo quanto previsto dalla normativa, è stato assunto pari ad 1, mentre g è l'accelerazione di gravità.

Dal calcolo risulta un'azione statica equivalente che compete al singolo telaio (23,00 m²), pari a $F_h = 0,55 \text{ kN}$. Di seguito si riporta il calcolo in maniera tabellare (Tabella 8).

W	[kN/m ²]	0,22
d	[m]	8,10 * 10 ⁻⁴
T₁	[s]	0,057
S_d(T₁)	[m/s ²]	0,95
λ	[/]	1
g	[m/s ²]	9,81
F_h	[kN]	0,55

Tabella 8: azione sismica

4.5. COMBINAZIONI DI CARICO

In ossequio alla Normativa Vigente, l'analisi strutturale dell'opera è stata eseguita in riferimento al metodo degli Stati Limite. Pertanto, noti i singoli carichi di progetto nel loro valore "caratteristico", si è proceduto alla determinazione di opportune combinazioni.

La combinazione fondamentale generalmente impiegata per gli stati limite ultimi (SLU) è la seguente:

$$\gamma_{G1} G_1 + \gamma_{Q1} Q_{k1} + \gamma_{Q2} \psi_{02} Q_{k2}$$

La combinazione sismica, invece, valida sia per gli Stati Limite Ultimi che per gli Stati Limite di Esercizio, è la seguente:

$$E + G_1 + \psi_{21} Q_{k1} + \psi_{22} Q_{k2}$$

Dove gli effetti dell'azione sismica E sono valutati tenendo conto delle masse associate ai seguenti carichi gravitazionali:

$$G_1 + \psi_{21} Q_{k1}$$

Dove per G_1 e Q_k si intendono rispettivamente i carichi permanenti e i carichi variabili, mentre i coefficienti parziali per le azioni γ_F , in riferimento all'approccio 2 della norma, sono quelli riportati nella colonna A1 della Tab. 2.6.I delle NTC 2018, mentre i coefficienti di combinazione ψ_{0j} e ψ_{2j} sono riportati nella Tab. 2.5.I delle stesse norme.

Si considerano le seguenti combinazioni di carico per gli Stati Limite Ultimi:

1. $1,3 G_P + 1,5 Q_N + 0,9 Q_V$
2. $1,3 G_P + 1,5 Q_V + 0,75 Q_N$
3. $1 G_P + 1,5 Q_V$
4. $1,3 G_P + 1,5 Q_N$
5. $E + G_P$

5. ANALISI DELLA STRUTTURA

5.1. RISULTATI ANALISI

La verifica geotecnica più gravosa per questa tipologia di fondazione è quella relativa al **collasso per carico limite di sfilamento nei riguardi dei carichi assiali di trazione**.

Pertanto, si è proceduto al calcolo delle massime sollecitazioni di sfilamento, le quali sono state confrontate con la portanza limite laterale del palo, trascurando il peso proprio dello stesso.

Alla luce di tale considerazione, la combinazione di carico critica risulta essere la n. 3, ovvero quella in cui si considerano:

- vento sfavorevole in direzione ortogonale ai pannelli fotovoltaici ($\gamma_Q = 1,5$);
- carico neve favorevole e quindi nullo ($\gamma_Q = 0$);
- peso proprio della struttura favorevole ($\gamma_G = 1$);

Per il calcolo delle massime sollecitazioni di trazione agenti alla base della struttura, quest'ultima è stata ipotizzata essere costituita da profili cavi a sezione rettangolare di dimensioni 50x50 mm con spessore pari a $t = 3$ mm.

Considerando la superficie dei moduli che compete ad un singolo telaio (23 m^2) e l'inclinazione dello stesso di 15° , la massima sollecitazione di sfilamento calcolata è pari a circa $T_{sd} = 3,31 \text{ kN}$.

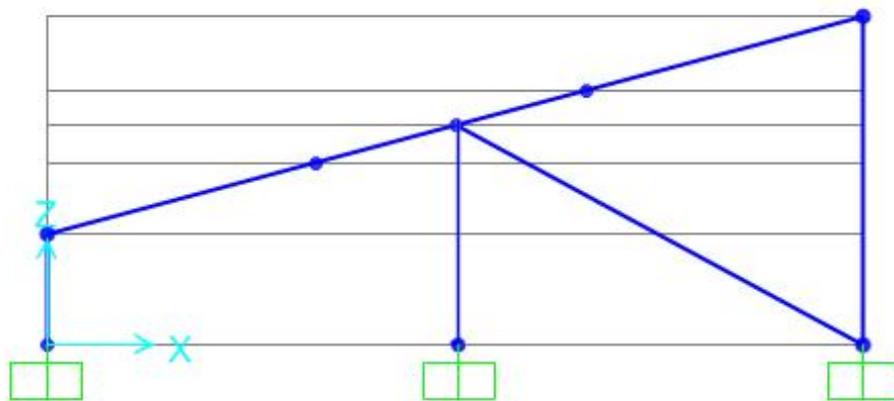


Figura 1: schema di calcolo per l'interazione pali telaio.

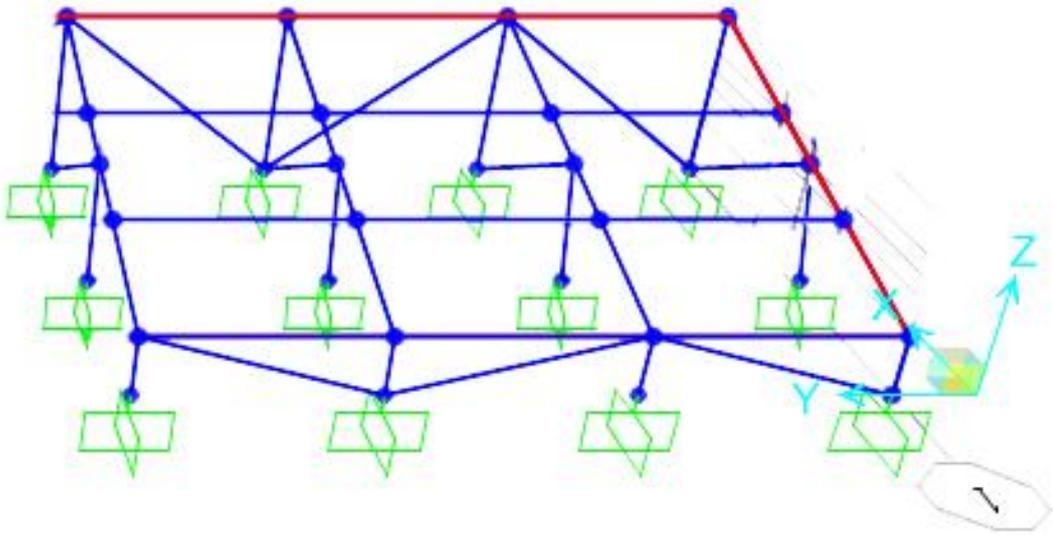


Figura 2: schema di calcolo per l'interazione pali telaio.

5.2. CALCOLO PORTANZA LATERALE DEL PALO

Per il calcolo della portanza limite laterale del palo si procede attraverso l'approccio 2 delle NTC 2018 con la combinazione A1+M1+R3, tenendo conto dei valori dei coefficienti parziali (γ_M e γ_R) e dei fattori di correlazione (ξ) riportati nelle tabelle 6.2.II, 6.4.II e 6.4.IV delle stesse norme.

La portanza limite laterale di progetto del palo R_{sd} è ottenuta applicando il coefficiente parziale γ_{st} al valore caratteristico R_{sk} , quest'ultimo determinato attraverso la seguente espressione:

$$R_{s,k} = \min \{ (R_{s,cal})_{media} / \xi_3; (R_{s,cal})_{minima} / \xi_4 \}$$

La resistenza di calcolo $R_{s,cal}$ è stata calcolata attraverso metodi analitici, dove ogni valore caratteristico dei parametri geotecnici del terreno è stato diviso per il coefficiente parziale γ_M riportato nella colonna M1 della tabella 6.2.II delle norme tecniche vigenti.

Il fattore di correlazione ξ , invece, dipende dal numero di verticali indagate; nel caso specifico è stata effettuata una sola indagine, pertanto secondo la tabella 6.4.IV della normativa vigente, il valore di ξ_4 sarà pari a 1,70.

Di seguito si riportano i valori dei coefficienti parziali utilizzati nel calcolo in riferimento all'approccio 2 della normativa tecnica (Tabella 9).

Grandezza alla quale applicare il coefficiente parziale	Coefficiente parziale γ_M / γ_R	
$\tan\phi'_k$	$\gamma_{\phi'}$	1
c'_k	$\gamma_{c'}$	1
c'_{uk}	γ_{cu}	1
γ_γ	γ_γ	1
R_{sd}	γ_{st}	1,25

Tabella 9: coefficienti parziali adottati

La resistenza laterale a trazione $R_{s,cal}$ sarà pari alla seguente espressione:

$$R_{s,cal} = A_L * s$$

Con s , sforzi di taglio che si generano in corrispondenza dell'interfaccia palo-terreno in condizioni di lungo termine, pari a:

$$s = K_o * \sigma'_{v0} * \mu$$

Con K coefficiente di spinta, assunto per pali battuti pari al coefficiente di spinta passiva $K_p = 1,60$. Il coefficiente d'attrito palo-terreno μ è stato assunto pari a $\tan \delta$, mentre σ'_{v0} è la tensione verticale efficace nella mezzeria.

Le verifiche agli Stati Limite risultano soddisfatte se:

$$R_{sd} > T_{sd}$$

Pertanto, la lunghezza minima di inserimento del palo è la seguente:

$$h_{min} = (2 * T_{sd} * \xi_4 * \gamma_{st} / \pi * d * \gamma * K_p * \mu)^{1/2} = \mathbf{2,25 \text{ m}}$$

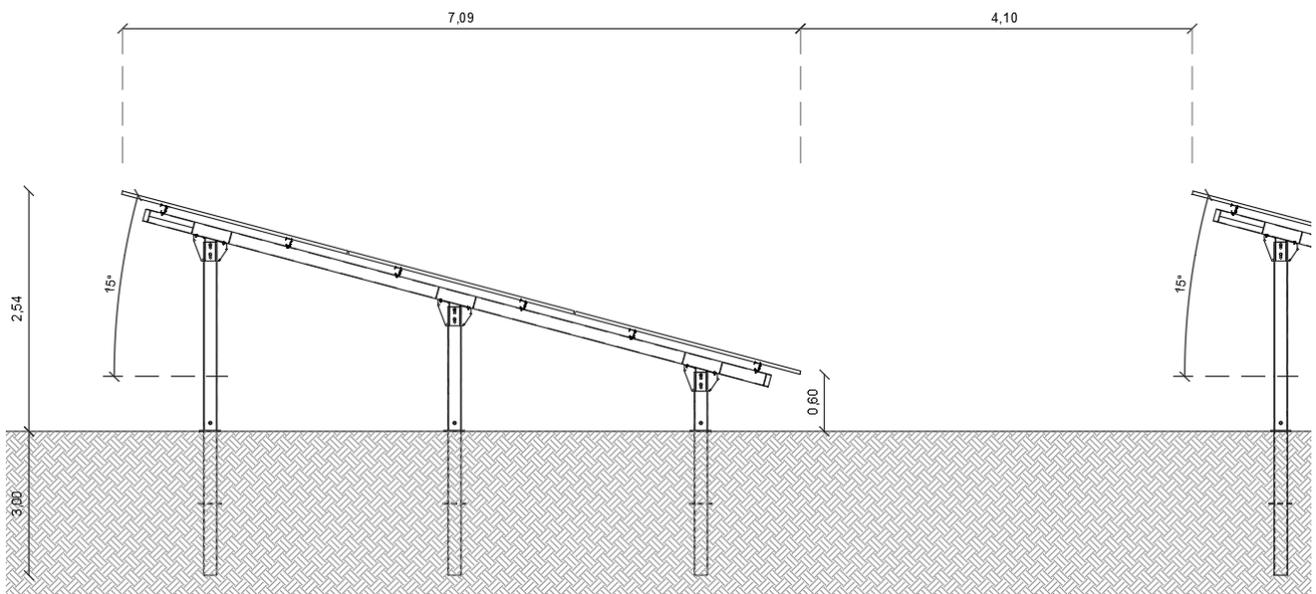
Di seguito si riporta il calcolo in maniera tabellare (Tabella 8).

T_{sd}	[kN]	3,31
ξ_4	[/]	1,7
γ_{st}	[/]	1,25
d	[m]	0,14
γ	[kN/m ³]	16,50
K_p	[/]	2,28
μ	[/]	$\tan\delta$
h_{min}	[m]	2,25

Tabella 11: altezza palo

Cautelativamente si è moltiplicata la lunghezza minima di inserimento h_{min} per un coefficiente pari a 1,30 pertanto la lunghezza di infissione del palo sarà assunta pari a $h_p = 2,92 \text{ m}$ circa.

Si riporta di seguito il particolare costruttivo quotato relativo al sistema a strutture fisse che sarà utilizzato all'interno dell'impianto "CONTESSA", con particolare risalto delle dimensioni riguardanti la profondità di infissione e le strutture fuori terra.



5.1. VERIFICA AL RIBALTAMENTO

La verifica al ribaltamento dovuta all'azione del vento è stata condotta secondo le prescrizioni dettate dalle NTC2018 e s.m.i., impiegando i coefficienti F dello stato limite di corpo rigido (EQU). Sono stati considerati come carichi stabilizzanti, generatori di altrettanti momenti stabilizzanti:

- il peso proprio delle strutture fotovoltaiche omnicomprensive di moduli, elementi strutturali e pali di fondazione;
- l'azione del terreno sui pali di fondazione, nelle sue componenti tangenziali e orizzontali in opposizione al movimento rotazionale della struttura nella sua condizione più sfavorevole inclinata a 15°;

È stato invece considerato come carico sfavorevole l'azione del vento, calcolato secondo le prescrizioni NTC2018 e s.m.i. Sono inoltre stati applicati i coefficienti di riduzione e di amplificazione dei carichi così come riportati nelle tabelle:

VERIFICA AL RIBALTAMENTO STRUTTURE FISSE				
Carichi favorevoli				
Peso complessivo struttura				
Descrizione	u.m.	q.tà	Peso unitario (Kg)	Peso complessivo (Kg)
Moduli FTV 615W	cad.	24,00	34,50	828,00
Accessori vari	mq	65,75	0,40	26,30
Correntini	m	60,00	0,75	45,00
Strutture di supporto	m	70,00	4,45	311,50
Pilastrini	m	18,00	25,00	450,00
Pali di fondazione 3 metri	m	36,00	25,00	900,00
			PESO TOTALE STRUTTURA (Kg)	2560,80
			PESO TOTALE STRUTTURA (KN)	25,11
			Superficie complessiva della struttura (mq)	65,75
			Superficie di competenza singolo telaio (mq)	23,00
			Incidenza a mq peso struttura (KN/mq)	0,382
			Incidenza peso su singolo telaio di competenza (KN/mq)	8,785
			braccio della forza (m)	3,200
			momento favorevole (KNm)	28,11
			coefficiente di riduzione	0,9
			Momento Ptot*a/2	25,30

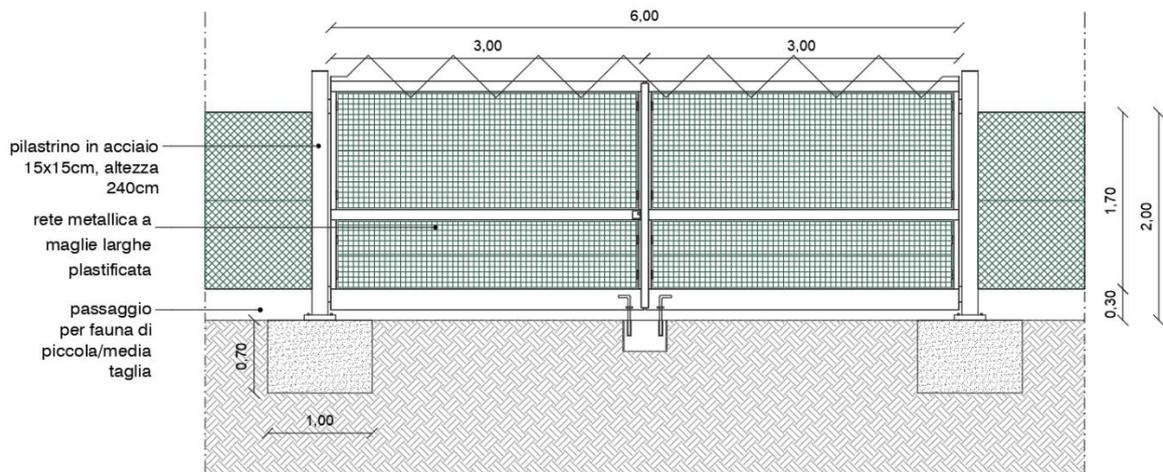
Azione del vento

Pressione a mq (KN/mq)	Superficie (mq)	Pressione complessiva (KN)	Superf. Competenza telaio (mq)	Pressione competenza telaio (KN/mq)
1,353	65,75	88,97	8,00	10,83
			braccio della forza sfavorevole	1,30
			momento sfavorevole (KNm)	14,07
			coefficiente	1,50
			Momento Ribalt. (KNm)	21,11

Come si evince dalle tabelle di sintesi dei calcoli effettuati, la struttura risulta verificata al ribaltamento grazie alla relazione “**Mstab(Tot) > MRib(Tot)**” già comprensiva dei coefficienti previsti dalla normativa, in particolare **Mstab(25,30 KNm) > MRib(21,11 KNm)**

6. STRUTTURE PREFABBRICATE DI SUPPORTO PER CANCELLI DI INGRESSO

A differenza delle recinzioni perimetrali, i cui pali saranno infissi a regola d’arte nel terreno ad una profondità di 100 cm circa, i cancelli di ingresso all’impianto fotovoltaico saranno invece posati mediante tirafondi imbullonati ad appositi plinti di fondazione in calcestruzzo armato prefabbricato in ottemperanza alle prescrizioni in materia di salvaguardia dell’ambiente.



Al fine di garantire la massima sicurezza e staticità della realizzazione, è stata approntata una apposita verifica al ribaltamento, in modo da pre-dimensionare il plinto di fondazione per i cancelli di ingresso al parco fotovoltaico.

È evidente che l'azione dominante che porterebbe al collasso per ribaltamento del sistema recinzione-cancello è legata all'azione del vento, per cui sono stati considerati favorevoli i pesi dei componenti della struttura metallica ivi compreso il pilastro di fondazione, mentre è stata considerata sfavorevole l'azione del vento applicata alla superficie di competenza del pilastro in acciaio

Come si evince dalle tabelle di sintesi dei calcoli effettuati, la struttura risulta verificata al ribaltamento grazie alla relazione "**Mstab(Tot)> Mrib(Tot)**" già comprensiva dei coefficienti previsti dalla normativa, in particolare **Mstab(10,06 KNm)> Mrib(6,64 KNm)**

VERIFICA AL RIBALTAMENTO CANCELLI DI INGRESSO

Carichi favorevoli

Peso complessivo struttura

Descrizione	u.m.	q.tà	Peso unitario (Kg)	Peso complessivo (Kg)
Cancello	m	8,00	60,00	480,00
Accessori vari	mq	8,00	0,20	1,60
Pilastro in acciaio	cad.	1,00	47,50	47,50
Fondazione	cad.	1,00	1750,00	1750,00
PESO TOTALE STRUTTURA (Kg)				2279,10
PESO TOTALE STRUTTURA (KN)				22,35
braccio della forza (m)				0,500
momento favorevole (KNm)				11,18
coefficiente di riduzione				0,9
Momento Ptot*a/2				10,06
Momento favorevole (KNm)				10,06

Carico sfavorevole

qr	ce	cp	cd	Pv in N
455,625	1,8	1,5	1	1230,1875

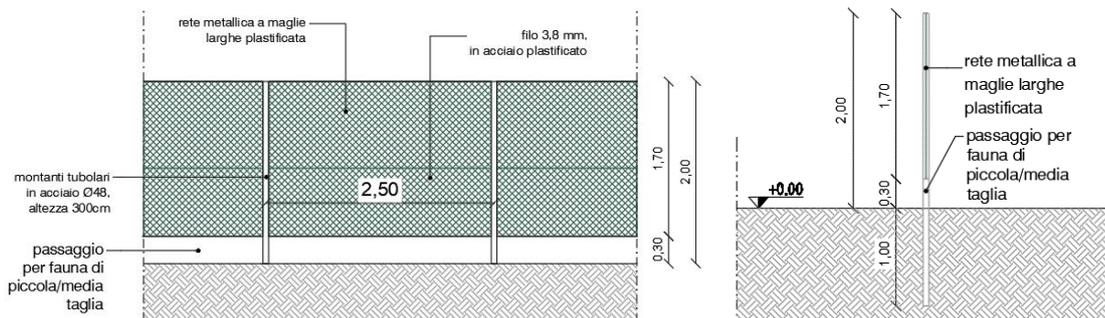
qr	r	vr	vr
455,625	0,5	1,25	27

Azione del vento

Pressione a mq (KN/mq)	Superficie (mq)	Pressione complessiva (KN)	Superf. Competenza telaio (mq)	Pressione competenza telaio (KN/mq)
1,230	2,00	2,46	2,00	2,46
braccio della forza sfavorevole				1,80
momento sfavorevole (KNm)				4,43
coefficiente				1,50
Momento Ribalt. (KNm)				6,64

7. STRUTTURE PREFABBRICATE DI SUPPORTO PER LE RECINZIONI PERIMETRALI

Le recinzioni perimetrali saranno realizzate in rete metallica plastificata a maglia regolare 5x5cm, i cui pali saranno infissi a regola d'arte nel terreno ad una profondità di 100 cm circa, ammortata con trefoli in acciaio alla palificata perimetrale costituita da tubolari in acciaio zincato del diametro di 8,00 cm, il tutto senza alcun getto di calcestruzzo, in piena ottemperanza alle prescrizioni in materia di salvaguardia dell'ambiente.



VERIFICA AL RIBALTAMENTO RECINZIONI

Carichi favorevoli

Peso complessivo struttura

Descrizione	u.m.	q.tà	Peso unitario (Kg)	Peso complessivo (Kg)
Recinzioni	m	2,00	8,00	16,00
Accessori vari	mq	2,00	0,20	0,40
Pilastro in acciaio infisso	cad.	2,00	5,00	10,00
PESO TOTALE STRUTTURA (Kg)				26,40
PESO TOTALE STRUTTURA (KN)				0,26
braccio della forza (m)				0,050
momento favorevole (KNm)				0,01
coefficiente di riduzione				0,9
Momento Ptot*a/2				0,01

Momento favorevole (KNm) 0,01

Azione terreno su palo

Altezza palo	Larghezza palo	Sup. Palo	Y terreno	Forza risultante (KN/mq)
1	0,08	0,08	16,00	1,28
coefficiente di riduzione				0,9
Momento Y*a*h3				1,15

Momento favorevole (KNm) 1,16

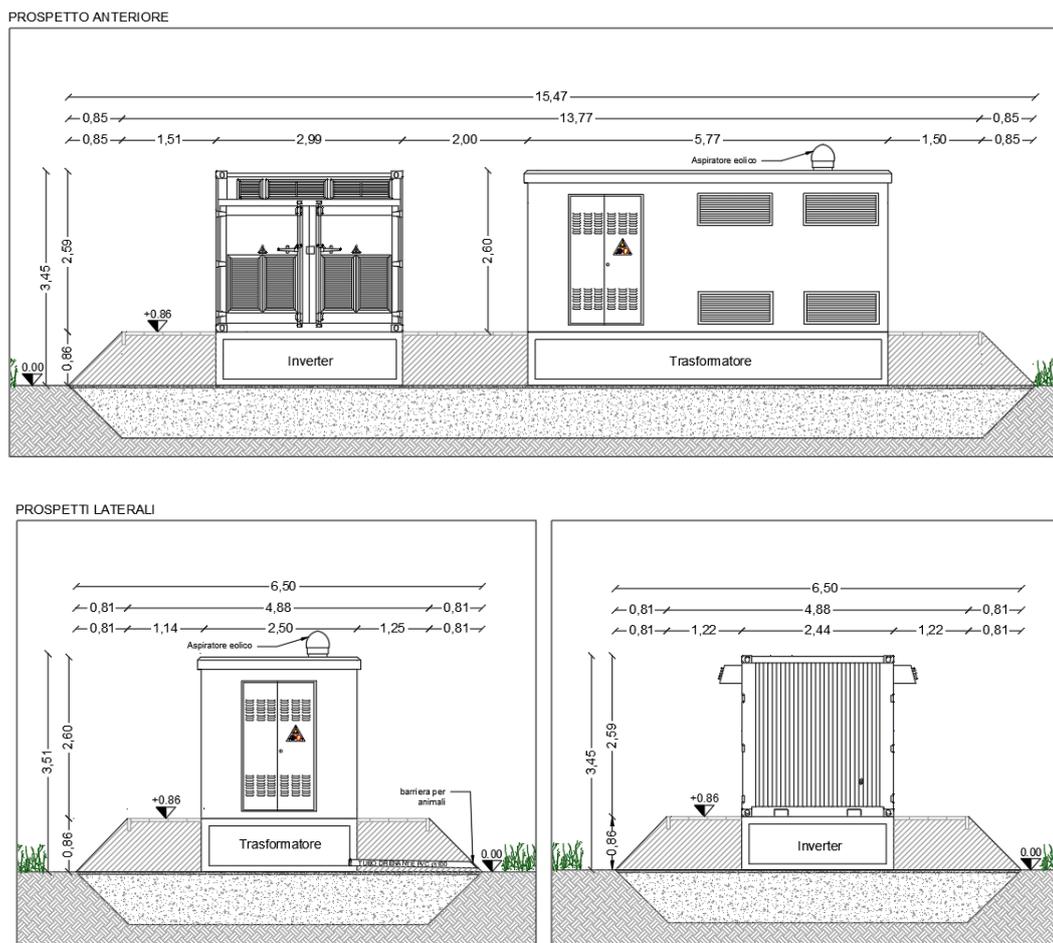
Azione del vento

Pressione a mq (KN/mq)	Superficie (mq)	Pressione complessiva (KN)	Superf. Competenza telaio (mq)	Pressione competenza telaio (KN/mq)
1,230	0,32	0,39	0,32	0,39
braccio della forza sfavorevole				1,80
momento sfavorevole (KNm)				0,71
coefficiente				1,50
Momento Ribalt. (KNm)				1,06

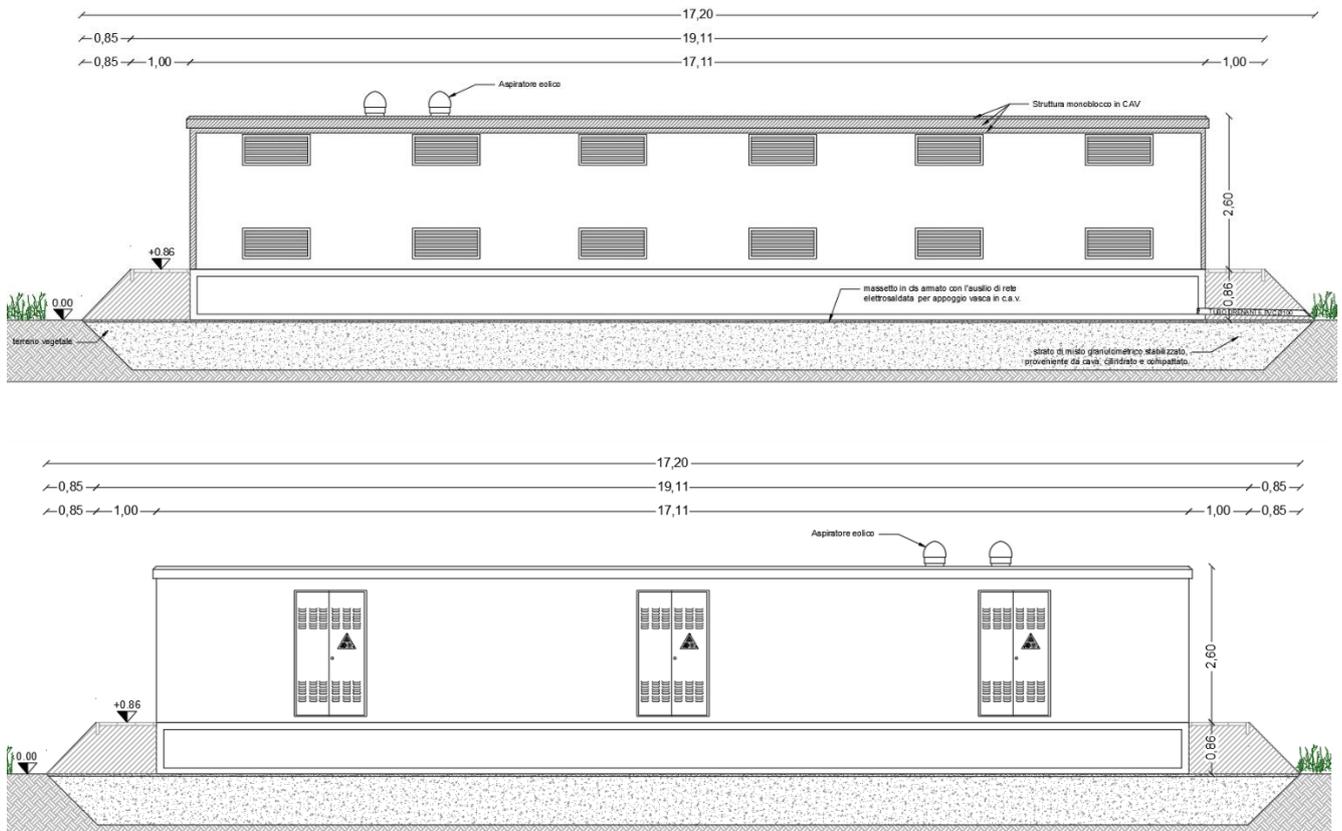
8. STRUTTURE PREFABBRICATE PER ALLOGGIAMENTO E ALLESTIMENTO CABINE ELETTRICHE E SERVIZI AUSILIARI

Per quanto riguarda le cabine elettriche che saranno fornite e posate all'interno dell'area di impianto, si sottolinea che le stesse saranno composte esclusivamente da strutture prefabbricate, trasportate e appoggiate su terreno, previa battitura e preparazione dello stesso. In particolare, le cabine saranno composte da una vasca di fondazione (Cfr. RE04.1) e dalla cabina vera e propria che ospiterà la quadristica e le connessioni elettriche. Tutti i prefabbricati introdotti in sito risponderanno a tutti i criteri e requisiti Normativi, sia urbanistiche che elettrici. (Cfr. IE04-Cabine di campo). Si riportano per completezza le certificazioni relative alle strutture e ai relativi calcoli strutturali, oltre alle certificazioni di rispondenza dei requisiti ENEL. Si rimanda alla apposita Relazione Geotecnica per l'analisi della interazione fondazioni-terreno.

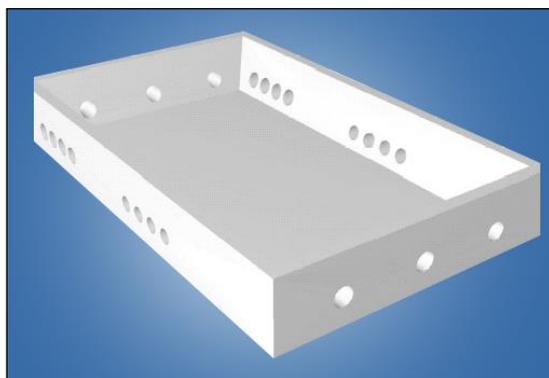
Cabine di campo



Cabine di raccolta



Si precisa che per il posizionamento delle cabine non sarà necessaria la realizzazione di fondazioni gettate in opera, in quanto le stesse saranno composte da prefabbricati alloggiati nel terreno, previo scavo di fondazione di circa 1 metro sul quale verrà steso uno strato di geo tessuto e un letto di misto granulare stabilizzato per uno spessore di circa cm 10 che assolverà ad una funzione livellante.



Vasca di fondazione



ATTESTATO DI QUALIFICAZIONE

PRODUZIONE di COMPONENTI PREFABBRICATI in c.a./ c.a.p.

SERIE DICHIARATA

n. 40/2018 -SD

In conformità al D.M. 17.01.2018 "Norme tecniche per le costruzioni" ed ai sensi dell'art.9 della legge n.1086/1971 si attesta che la ditta:

CEP srl

con sede legale e stabilimento: Zona IndustrialeFegotto - 80053 Calatafimi Segesta (TP)

ha depositato presso il Servizio Tecnico Centrale del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici la documentazione inerente il possesso dei requisiti richiesti dal p.to 11.8.4 delle Norme Tecniche di cui al D.M. 17.1.2018, in relazione al processo produttivo ed al controllo di produzione in stabilimento finalizzati alla produzione dei seguenti componenti prefabbricati in c.a. e/o c.a.p.:

Cabine prefabbricate in cav tipo:

- Tipo P67 DG 2092 (dimensioni: 2,50 x 6,76 x H da 2,55 a 3,00 m)
- Tipo B67 (dimensioni: 2,50 x 6,76 x H da 2,55 a 3,50 m)
- Tipo P57 DG 2061 (dimensioni: 2,50 x 5,77 x H da 2,55 a 3,00 m)
- Tipo B57 (dimensioni: 2,50 x 5,77 x H da 2,55 a 3,50 m)

e Relative VASCHE d'appoggio in ca:

- Tipo V67 (dimensioni: 2,40 x 6,61 x H 0,635 m)
- Tipo V57 (dimensioni: 2,40 x 5,71 x H 0,635 m)

Il presente Attestato ha decorrenza dal 22/03/2018 e validità fino al 22/03/2023, fatto salvo l'obbligo della diversa procedura di marcatura CE connessa all'attuazione del Regolamento dei Prodotti da Costruzione (CPR-Construction Products Regulation) n°305/2011, per le specifiche famiglie di prodotti coperti da norma EN armonizzata.

Il presente Attestato ha l'obiettivo di identificare lo stabilimento di produzione ed i componenti prodotti e non è finalizzato a certificare la concreta idoneità tecnica dei manufatti alle diverse utilizzazioni cui possono essere destinati.

L'Attestato non prevede, da parte del Servizio Tecnico Centrale, l'approvazione tecnica degli elaborati presentati, per i quali il Progettista ed il Produttore, ciascuno secondo le rispettive competenze, sono pienamente responsabili ai sensi di legge, restando altresì nella responsabilità delle figure suddette ogni impiego del prodotto.

L'Attestato si intende sempre riferito ai singoli elementi costruttivi, nei limiti d'impiego indicati nella documentazione tecnica presentata, e non all'opera o al sistema costruttivo che ingloba gli stessi.

Ogni impiego dei componenti strutturali di cui al presente Attestato deve avvenire sulla base di calcoli redatti in conformità alla normativa tecnica vigente al momento dell'utilizzo.

Roma, 23 novembre 2018

IL DIRIGENTE III DIVISIONE

Ing. Marco PANECALDO

PANECALDO MARCO

26 nov 2018 08:15

VIA Nomentana 2 - 00161 ROMA

TEL. 06.4412.2367

www.cslp.it

DICHIARAZIONE DI RISPONDEZZA DI LOCALI ED IMPIANTI ALLA NORMA CEI EN 62271-2020 (ex CEI EN 61330)

CABINE ELETTRICHE PREFABBRICATE

Il sottoscritto **Melodia Mario** nella qualità di **Amministratore Delegato della C.E.P. S.r.l** con sede in Calatafimi Segesta Zona Industriale Fegotto P. IVA 01486520818 , Tel 0924-514486 Fax 0924-040017, in nome e per conto dell'Azienda che rappresenta

DICHIARA

che le cabine elettriche prefabbricate in c.a.v. sono progettate e costruite in fabbrica e sottoposte a prove di tipo secondo la Norma Italiana **CEI EN 62271-202 / classificazione 17-103 (ex CEI EN 61330)**.

Sulla base della dichiarazione di cui sopra, specifica inoltre quanto segue:

- la presente dichiarazione è sempre accompagnata dal Certificato d'Origine e dall'Attestato di Qualificazione cioè a dire il Certificato di deposito in caso di box prefabbricato rilasciato dalla Presidenza del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici;
- l'impianto elettrico di cabina è citato al punto 5.2 della Norma CEI EN 62271-202, per cui questo assunto esula CEP dal rilascio della dichiarazione di conformità dell'impianto elettrico ai sensi del DM 37 del 22/01/08;
- la perdita di liquido isolante e la protezione dell'acqua del sottosuolo sono trattati come al punto 5.4.3 della Norma CEI EN 62271-202;
- la ventilazione dei locali viene elaborata secondo quanto previsto dal punto 5.5.5 della Norma CEI EN 62271-202;
- la CEI 11-1 non si applica alle cabine prefabbricate (punto 1.3 CEI 11-1);
- la CEI 11-35 non si applica alle cabine prefabbricate (vedi quanto specificato al punto 2.1 della CEI 11-35);
- il certificato di agibilità dei locali non viene rilasciato in caso di cabine prefabbricate.

Luogo del rilascio: **Calatafimi Segesta**
Data del rilascio: **25/01/2021**

Il Legale Rappresentante


C.E.P. S.R.L.
Componenti Elettrici e Prefabbricati
AMMINISTRATORE DELEGATO
Melodia Mario

9. CONSIDERAZIONI SULLA DISMISSIONE

È doveroso precisare che al termine della vita di servizio dell'impianto tutte le strutture saranno completamente smontate ed i pali infissi saranno semplicemente sfilati dal terreno sottostante, grazie all'ausilio di automezzo munito di braccio gru. Inoltre, al termine della vita utile dell'impianto i pali di fondazione saranno estratti dal terreno e potranno essere facilmente riutilizzati oppure riciclati quali materiali metallici nelle apposite discariche autorizzate. Anche la vasca di fondazione delle cabine elettriche sarà estratta dal terreno tramite l'utilizzo di un piccolo escavatore e trasportata in un sito idoneo allo smaltimento. Il terreno sarà ripristinato e costipato, rendendolo disponibile sin da subito alle nuove destinazioni d'uso.

10. CONCLUSIONI

Nella presente relazione di calcolo sono state riportati gli studi di pre-dimensionamento delle opere di ancoraggio al suolo per le strutture di supporto dei moduli fotovoltaici e per le strutture pertinenti al campo fotovoltaico. Lo studio è stato condotto in ossequio alla vigente Normativa Tecnica (NTC 2018 e s.m.i.) tenendo in conto dei parametri geotecnici, di zonazione eolica e sismici derivanti dalla suddetta Norma. Sulla base di quanto detto i risultati ottenuti sono tali da assicurare la capacità delle fondazioni di sopportare le sollecitazioni derivanti dalle azioni statiche e dinamiche agenti sulla struttura.

Il tecnico

Ing. Renato Pertuso

