

Calcoli preliminari strutture inseguitori solari

Progetto definitivo

Impianto agrivoltaico "F-SASSA"
Comune di Sassari (SS)
Località Predda Bianca



N. REV.	DESCRIZIONE	ELABORATO	CONTROLLATO	APPROVATO	IT/FTV/F-SASSA/PDF/E/RT/022-a
a	Emissione	IAT	Asja Sassari S.r.l.	GF – IAT S.r.l.	19/02/2024 Corso Vittorio Emanuele II, 6 10123 Torino - Italia asja.sassari@pec.it

PROGETTAZIONE:

I.A.T. Consulenza e Progetti S.r.l.
Ing. Giuseppe Frongia (Direttore Tecnico)

GRUPPO DI PROGETTAZIONE:

Ing. Giuseppe Frongia (Coordinatore e responsabile)
Ing. Marianna Barbarino
Ing. Enrica Batzella
Dott. Pian. Andrea Cappai
Ing. Paolo Desogus
Pian. Terr. Veronica Fais
Dott. Fabio Mancosu
Ing. Gianluca Melis
Dott. Fabrizio Murru
Ing. Andrea Onnis
Pian. Terr. Eleonora Re
Ing. Elisa Roych
Ing. Marco Utzeri

COLLABORAZIONI SPECIALISTICHE:

Aspetti geologici e geotecnici: Dott.ssa Geol. Maria Francesca Lobina
Aspetti faunistici: Dott. Nat. Alessio Musu
Caratterizzazione agro-pedologica: Dott. Agronomo Federico Corona
Acustica: Ing. Antonio Dedoni
Aspetti floristico-vegetazionali: Dott. Nat. Fabio Schirru
Aspetti archeologici: Dott.ssa Anna Luisa Sanna

INDICE

1	PREMESSA	4
2	NORME TECNICHE DI RIFERIMENTO.....	5
3	ILLUSTRAZIONE GENERALE DEGLI INTERVENTI.....	6
4	METODO DI CALCOLO E VERIFICA	8
5	CARATTERIZZAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA.....	10
6	CARICHI DI PROGETTO.....	11
7	VERIFICA ELEMENTI STRUTTURALI	17
8	VERIFICA DI RESISTENZA DELLA FONDAZIONE.....	23
9	CONCLUSIONI	24

1 PREMESSA

La Società Asja Sassari s.r.l., con sede legale a Torino (TO) in Corso Vittorio Emanuele II n. 6, intende realizzare un impianto agrivoltaico, denominato "F-Sassa", con moduli fotovoltaici installati su inseguitori solari monoassiali ubicato in Comune di Sassari (Città Metropolitana di Sassari), in località *Predda Bianca*.

Il presente elaborato contiene i calcoli preliminari delle strutture metalliche e delle opere di fondazione degli inseguitori solari (*tracker*) componenti un impianto agrivoltaico, da realizzarsi con moduli in silicio monocristallino.

La centrale solare in progetto avrà una potenza complessiva in immissione di 24,975 MW_{AC}, valore ottenuto dalla somma delle potenze nominali dei singoli inverter (potenza nominale lato DC pari a 30,157 MW_P), e comprenderà n. 895 inseguitori solari monoassiali di cui n. 133 da 2x13 moduli FV e n. 762 da 2x26 moduli FV.

Il presente elaborato, redatto in osservanza di quanto stabilito dal D.M. 10/09/2010 e dalla Deliberazione della Giunta Regione Sardegna n. 3/25 del 23/01/2018, contiene i calcoli preliminari delle strutture metalliche e delle opere di fondazione degli inseguitori solari monoassiali (*tracker*), componenti l'impianto agrovoltaico.

Per tali finalità si è fatto riferimento agli schemi costruttivi dei *tracker* monoassiali resi disponibili dai costruttori (*tracker* ComalSpA o di caratteristiche similari) ed ai dati di caratterizzazione dei terreni riportati nella relazione geologica e geotecnica a firma della Dott.ssa Maria Francesca Lobina.

Si riportano nel seguito i calcoli di verifica delle strutture metalliche di sostegno dei pannelli e delle colonne infisse di fondazione per il modulo più grande, il modulo 2 x 26, di lunghezza pari a circa 34,5 metri (26 moduli doppi da 1,303 m di larghezza).

Le strutture di questo modulo saranno formate da cinque campate e sei sostegni, campate di lunghezza ciascuna pari a 6,50 m, oltre due sbalzi laterali di lunghezza pari a 100 cm.

Le azioni di progetto sono state ricavate per lo specifico sito di installazione, con riferimento alle indicazioni fornite dalla normativa vigente di settore (Norme Tecniche per le Costruzioni, il D.M. 17/01/2018).

2 NORME TECNICHE DI RIFERIMENTO

- D.M. 17 gennaio 2018 “Approvazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni”;
- “Istruzioni per l'applicazione delle 'Norme Tecniche delle Costruzioni' di cui al D.M. 17 gennaio 2018”;
- Decreto del Presidente della Repubblica 21 aprile 1993, n. 246 “Regolamento di attuazione della direttiva 89/106/CEE relativa ai prodotti da costruzione”;
- D.M. 11 marzo 1988 “Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii e delle opere di fondazione”;
- Legge 2 febbraio 1974, n. 64, “Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche”;
- Legge 5 novembre 1971, n. 1086 “Norme per la disciplina delle opere di conglomerato cementizio armato, normale e precompresso, ed a struttura metallica”;
- UNI EN 1090 – Esecuzione di Strutture in Acciaio e Alluminio. Parte 1 - Requisiti per la valutazione di conformità dei componenti strutturali;
- AGI - ASSOCIAZIONE GEOTECNICA ITALIANA. Raccomandazioni sui pali di fondazione.

L'elenco normativo è riportato soltanto a titolo di promemoria informativo; esso non è esaustivo, per cui eventuali leggi o norme applicabili, anche se non citate, andranno comunque applicate.

Infine, qualora le sopra elencate norme tecniche siano modificate o aggiornate, si dovranno applicare le norme più recenti.

3 ILLUSTRAZIONE GENERALE DEGLI INTERVENTI

Il progetto prevede l'installazione di un impianto fotovoltaico composto da n. 895 inseguitori solari monoassiali (di seguito anche trackers), in configurazione monofila da n. 2 x 13 e n. 2 x 26 moduli, ubicato in Comune di Sassari (Città Metropolitana di Sassari) nella località "Predda Bianca".

L'inseguitore di dimensioni maggiori ha uno di sviluppo pari a circa 34.50 metri, su cinque campate e sei colonne; i pannelli hanno lunghezza pari a circa 2384 mm e larghezza pari a 1303 mm.

Ogni *tracker* sarà mosso da un motore elettrico comandato da un sistema di controllo che regolerà la posizione più corretta al variare dell'orario e del periodo dell'anno.

La rotazione assiale dei pannelli consente il posizionamento dei pannelli con angolo sull'orizzontale pari a + 55°, 0° e - 55°, configurazioni per le quali si verificano distinte condizioni di carico di progetto.

La caratteristica di questa tipologia di impianto è quella di avere un sensore anemometrico che trasmette apposito segnale di posizionamento dei pannelli ad angolazione nulla sull'orizzontale quando la velocità del vento raggiunge il valore di 50 km/h (13.89 m/sec).

Questo dato è fondamentale per le condizioni di esercizio dell'impianto che sarà soggetto alle condizioni di carico più severe previste dalla normativa vigente solo nella configurazione a riposo, ovvero quella in cui i pannelli sono meno esposti all'azione del vento.

Gli elementi orizzontali principali sono costituiti da tubolari 140x140x6 mm e sono collegati ai montanti mediante degli elementi pressopiegati speciali di fornitura del costruttore.

Il tubolare 140x140x6 mm rappresenta l'asse di rotazione della struttura, l'altezza misurata al mozzo di rotazione sarà di circa 2,40 m dal suolo.

Gli elementi verticali o di sostegno, costituiscono al contempo sia i montanti verticali fuori terra che le fondazioni profonde; per le presenti finalità di calcolo il profilato in acciaio ad omega, o scatolato equivalente, è stato assimilato per caratteristiche di resistenza a un tubolare a sezione chiusa 140x140x6 mm, di altezza pari a circa 240 cm fuori terra e infissi mediante battitura direttamente nel terreno per una profondità pari a circa 150 cm.

L'installazione dei sostegni prevedrà l'esecuzione di un preforo di profondità indicativa 1450 mm e diametro variabile, l'infissione del profilo tramite macchina battipalo, il riempimento del foro con il terreno di risulta della trivellazione costipato e l'eventuale esecuzione di collare in boiaccia come rifinitura.

Si conducono nel seguito le verifiche strutturali degli elementi metallici previsti nel progetto, riportando precedentemente le modalità di calcolo seguite, i sovraccarichi considerati, nonché le normative tecniche di riferimento utilizzate.

4 METODO DI CALCOLO E VERIFICA

È stato utilizzato il metodo degli Stati Limite applicandolo così come previsto dalle NTC 2018 (D.M. 17/01/2018).

Considerando i valori modesti delle masse strutturali e non strutturali presenti, considerato il modesto rischio sismico per il territorio della regione Sardegna, nel seguito non è stato considerato l'effetto delle azioni sismiche, si rimanda alle fasi progettuali più avanzate per la definizione delle azioni sismiche di progetto.

VITA NOMINALE, CLASSE D'USO E PERIODO DI RIFERIMENTO:

Tipo di costruzione: 2 (opere ordinarie)

Vita nominale: $V_{N \leq 50}$ anni

Classe d'uso: II

Periodo di riferimento: $V_R = 50$ anni

CLASSE DI ESECUZIONE

(ai sensi della UNI EN 1090)

Classe di conseguenze: CC2

Categoria di Servizio: SC1

Categoria di Produzione: PC1

CLASSE DI ESECUZIONE: EXC2

CARATTERISTICHE DEI MATERIALI:

PROFILI LAMINATI SECONDO UNI EN 10025:

S 275 JR $f_y = 27.50 \text{ kN/cm}^2$

UNIONI BULLONATE:

Bulloni ad alta resistenza:

(vite cl. 8.8 - dado cl. 8 - secondo UNI EN 15048)

$f_{tb} = 80 \text{ kN/cm}^2$

$\gamma_{M2} = 1.25$

UNIONI SALDATE:

livello di qualità: C (secondo UNI EN ISO 5817)

6 CARICHI DI PROGETTO

Per la definizione delle azioni di progetto si è fatto riferimento ai dati contenuti nelle specifiche tecniche del costruttore dei *tracker*, proprietaria del brevetto degli inseguitori solari di riferimento per la progettazione.

1 - PESI PROPRI E CARICHI PERMANENTI

CARICHI PERMANENTI:

PESI PROPRI STRUTTURALI

Palo Tubolare 140x140x6 mm	250 N/m
----------------------------	---------

Traverso Tubolare 140x140x6 mm	250 N/m
--------------------------------	---------

CARICHI PERMANENTI NON STRUTTURALI

Pannelli fotovoltaici compreso fissaggi (dim. 2384 x1303 mm)	150 N/m ²
--	----------------------

2 - AZIONE DEL VENTO

La pressione del vento in condizioni di esercizio massimo dell'impianto ($V < 50$ km/h) si applica alla configurazione geometrica di pannello inclinato di 55° (Configurazione A).

La pressione del vento massima di normativa sul sito in esame si applica alla configurazione geometrica di pannello orizzontale (Configurazione B).

Sito installazione: Regione Sardegna - Provincia SS – Località Predda Bianca

$a_{s, \max} = 50$ m

Tempo di ritorno 50 anni

Zona Climatica di riferimento = 6

$a_0 = 500$ m

$v_{b,0} = 28$ m/s

$k_s = 0.36$

per $a_s > a_0$

$v_b = v_{b,0} \times c_a$

$c_a = 1 + k_s (a_{s, \max} / a_0 - 1)$

per $a_s < a_0$

$v_b = v_{b,0}$

$q_b = v_b^2 \times 0.625$

$p = q_b \times C_e \times C_p \times C_d$

Classe di rugosità = D

Categoria di esposizione = II

$z_{\min} = 4$ m

$k_r = 0.19$

$z_0 = 0.05$ m

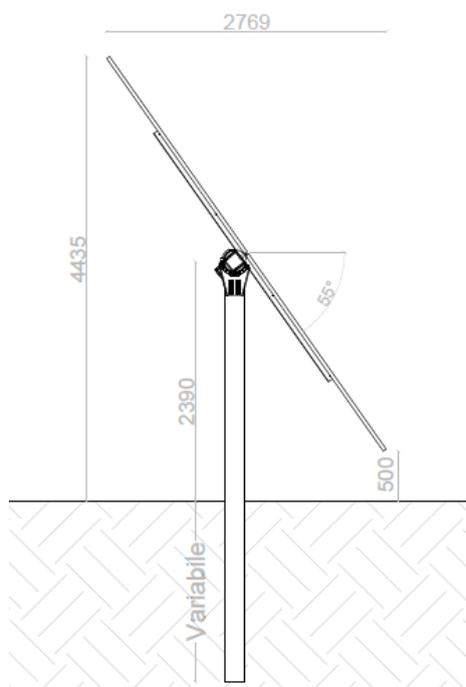
$z = 4$ m

$c_e(z) = k_r^2 \times \ln(z/z_0) \times ((7 + \ln(z/z_0))) = 1.80$

$c_e = 1.80$

CONFIGURAZIONE A

$$\alpha = 55^\circ$$



$$V_b = V_{\max} = 13.89 \text{ m/s}$$

$$q_b = 0.12 \text{ kN/m}^2$$

$$C_e = 1.80$$

$$C_d = 1$$

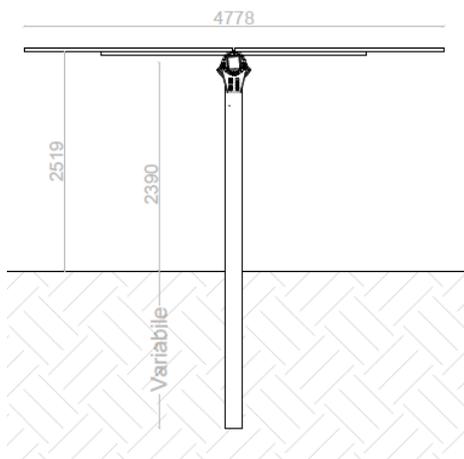
$$C_t = 1$$

$$C_p = 1.115 \text{ (valore fornito dal costruttore su base di indagini specifiche)}$$

$$p_{VA} = 0.25 \text{ kN/m}^2$$

CONFIGURAZIONE B

$$\alpha = 0^\circ$$



$$v_b = v_{b,0} = 28 \text{ m/s}$$

$$q_b = 0.49 \text{ kN/m}^2$$

$$C_e = 1.80$$

$$C_d = 1$$

$$C_t = 1$$

$$C_p = 0.785 \text{ (valore fornito dal costruttore su base di indagini specifiche)}$$

$$p_{VB} = 0.70 \text{ kN/m}^2$$

3 - AZIONE DELLA NEVE AL SUOLO

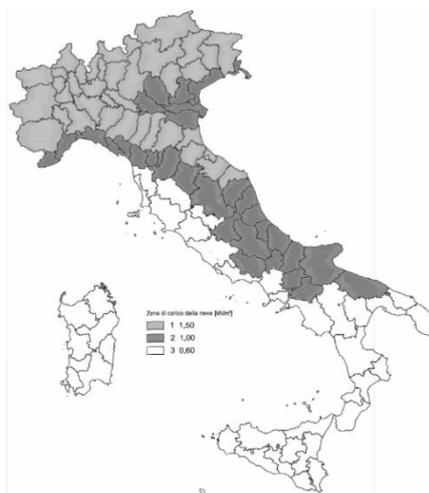


Figura 6.1 - Mappa delle zone in cui è suddiviso il territorio italiano

SITO COSTRUZIONE: SASSARI

Altitudine del sito a_s :

$a_s = 50$ m.s.l.m.

REGIONE SARDEGNA - ZONA III

per $a_s < 200$

Periodo di ritorno: 50 anni

$q_{sk} = 0.60$ kN/m²

$q_s = \mu_1 \times q_{sk} \times C_e \times C_t$

$C_e = 1$

$C_t = 1$

CONFIGURAZIONE A

$$\alpha = 55^\circ$$

$$\mu_1 = 0.8 \times (60 - \alpha) / 30$$

$$\mu_1 = 0.1333$$

$$q_{NA} = 0.08 \text{ kN/m}^2$$

CONFIGURAZIONE B

$$\alpha = 0^\circ$$

$$\mu_1 = 0.8$$

$$q_{NB} = 0.48 \text{ kN/m}^2$$

7 VERIFICA ELEMENTI STRUTTURALI

A - TRAVE PRINCIPALE - TUBO QUADRO 140 x 140 x 6 S275

Si schematizza una trave continua su tre appoggi, di complessive due campate di lunghezza ciascuna pari a 6.50 metri, oltre due sbalzi laterali di luce pari a 1.95 metri.

Nella Configurazione A l'angolo di inclinazione sull'orizzontale è pari a 55°, nella Configurazione B l'angolo di inclinazione sull'orizzontale è pari a 0°.

CONFIGURAZIONE A

$$\alpha = 55^\circ$$

$$g_1 = p.p. = 0.25 \text{ kN/m}$$

$$g_2 = 0.15 \text{ kN/m}^2$$

$$p_{vA} = 0.25 \text{ kN/m}^2$$

$$q_{nA} = 0.08 \text{ kN/m}^2$$

$$l_1 = 100 \text{ cm}$$

$$l_2 = 650 \text{ cm}$$

$$b = 480 \text{ cm (larghezza 2 pannelli)}$$

$$W_x = 135 \text{ cm}^3$$

$$W_y = 135 \text{ cm}^3$$

Verifiche SLU:

$$Q = 1.5 \times (0.15 + 0.25 + 0.5 \times 0.08 \times \cos 55^\circ) = 0.67 \text{ kN/m}^2$$

$$q = 1.3 \times 0.25 + Q \times b = 3.55 \text{ kN/m}$$

$$M_1 = q \times l_1^2 / 2 = 1.78 \text{ kNm}$$

$$M_2 = q \times l_2^2 / 10 = 15 \text{ kNm}$$

$$M_{\max} = 15 \text{ kNm}$$

$$M_R = W \times f_d$$

Acciaio da carpenteria: S 275

$$\gamma_m = 1.05$$

$$f_y = 27.50 \text{ kN/cm}^2$$

$$f_d = 26.19 \text{ kN/cm}^2$$

$$M_R = 35 \text{ kNm}$$

SLU - Flessione

$$M_{\max} / M_R = 0.43$$

verifica soddisfatta

SLU – Taglio sugli appoggi

$$T_A = 0.5 \times q \times l = 11.54 \text{ kN}$$

$$\tau_{\max} = T_A / 2 \times h \times s = 0.69 \text{ kN/cm}^2 < f_v$$

verifica soddisfatta

CONFIGURAZIONE B

$$\alpha = 0^\circ$$

$$g_1 = p.p. = 0.25 \text{ kN/m}$$

$$g_2 = 0.15 \text{ kN/m}^2$$

$$p_{vB} = 0.70 \text{ kN/m}^2$$

$$q_{nB} = 0.48 \text{ kN/m}^2$$

$$l_1 = 100 \text{ cm}$$

$$l_2 = 650 \text{ cm}$$

$$b = 480 \text{ cm (larghezza 2 pannelli)}$$

$$W_x = 135 \text{ cm}^3$$

$$W_y = 135 \text{ cm}^3$$

Verifiche SLU:

$$Q = 1.5 \times (0.15 + 0.48) = 0.95 \text{ kN/m}^2$$

$$q = 1.3 \times 0.25 + Q \times b = 4.89 \text{ kN/m}$$

$$M_1 = q \times l_1^2 / 2 = 2.45 \text{ kNm}$$

$$M_2 = q \times l_2^2 / 10 = 20.66 \text{ kNm}$$

$$M_{\max} = 20.66 \text{ kNm}$$

$$M_R = W \times f_d$$

Acciaio da carpenteria: S 275

$$\gamma_m = 1.05$$

$$f_y = 27.50 \text{ kN/cm}^2$$

$$f_d = 26.19 \text{ kN/cm}^2$$

$$M_{R_x} = 35 \text{ kNm}$$

SLU - Flessione

$$M_{\max} / M_R = 0.59$$

verifica soddisfatta

SLU – Taglio sugli appoggi

$$T_A = 0.5 \times q \times l = 15.89 \text{ kN}$$

$$\tau_{\max} = T_A / 2 \times h \times s = 0.95 \text{ kN/cm}^2 < f_v$$

verifica soddisfatta

B - COLONNA MONTANTE - TUBO QUADRO 140 x 140 x 6 S275

Si schematizza una trave incastrata al piede, mediante infissione sul terreno per battitura alla profondità di 150 cm, caricata in testa dalle azioni trasmesse dalla trave continua di sostegno dei pannelli.

La configurazione geometrica più sfavorevole è la Configurazione A con inclinazione dei pannelli pari a 55° sull'orizzontale.

CONFIGURAZIONE A

$$\alpha = 55^\circ$$

$$g_1 = p.p. = 0.25 \text{ kN/m}$$

$$g_2 = 0.15 \text{ kN/m}^2$$

$$p_{vA} = 0.25 \text{ kN/m}^2$$

$$q_{nA} = 0.08 \text{ kN/m}^2$$

$$h = 240 \text{ cm}$$

$$W = 135 \text{ cm}^3$$

$$A = 30 \text{ cm}^2$$

$$q = 3.55 \text{ kN/m}$$

Reazione d'appoggio trave principale V_A

$$V_A = q \times l = 23.08 \text{ kN}$$

Azione orizzontale in testa H

$$H = V_A \cos 55 = 13.24 \text{ kN}$$

Azione verticale in testa N

$$N = V_A \sin 55 = 18.91 \text{ kN}$$

Momento di trasporto al piede della colonna M

$$M = H \times 2.40 = 31.78 \text{ kNm}$$

Verifiche SLU:

$$\sigma = N / A + M / W$$

$$\sigma = 0.63 + 23.54 = 24.17 \text{ kN/cm}^2$$

$$\tau = H / 2 \times h \times s = 0.79 \text{ kN/cm}^2$$

Acciaio da carpenteria: S 275

$$\gamma_m = 1.05$$

$$f_y = 27.50 \text{ kN/cm}^2$$

$$f_d = 26.19 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{id} = (\sigma^2 + 3\tau^2)^{1/2} = 24.21 \text{ kN/cm}^2 < f_v$$

verifica soddisfatta

8 VERIFICA DI RESISTENZA DELLA FONDAZIONE

La verifica di resistenza del palo infisso è stata svolta in via preliminare in analogia alla verifica degli elementi metallici infissi per la protezione dei fronti di scavo.

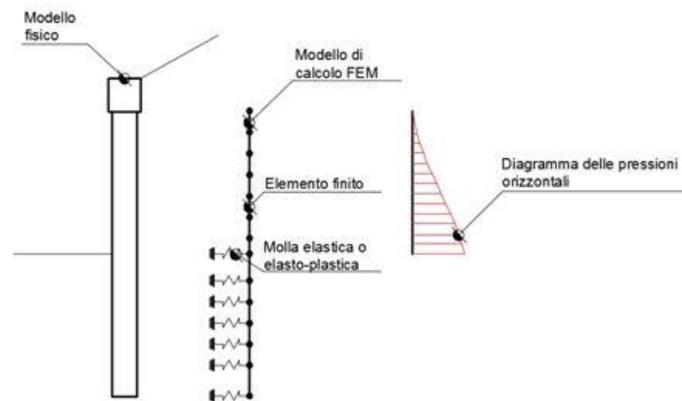


Figura 8.1 - Schema del modello di calcolo del palo infisso

Il profilo metallico in progetto è stato schematizzato come soggetto ad un fronte di scavo di altezza pari a 150 cm che produce una spinta orizzontale superiore a quella prodotta dai tracker.

È stato considerato agente in testa al palo il valore delle azioni prodotte dai tracker ed il momento di trasporto alla base.

Le verifiche sono state svolte con riferimento alla caratterizzazione dei depositi granulari e delle ghiaie, composizione che rappresenta maggiormente le aree di sedime.

I parametri geotecnici dei terreni di fondazione garantiscono alti valori di resistenza a compressione e buona rigidezza nei confronti delle azioni orizzontali.

Le verifiche hanno fornito esito positivo, le azioni resistenti del terreno sono sempre superiori alle azioni agenti, gli spostamenti trasversali sono trascurabili.

Sarà opportuno condurre una campagna di prove dirette di infissione di pali pilota per calibrare ulteriormente i parametri geotecnici ed eventualmente adattare o modificare i profili metallici da infiggere alle esigenze operative di posa in opera.

9 CONCLUSIONI

La verifica di resistenza delle strutture metalliche a sostegno dei pannelli FV ha fornito esito positivo, si rimanda alla fase esecutiva dei calcoli per adattare o modificare la geometria dei profili per eventuali esigenze costruttive di dettaglio.