



IMPIANTO FOTOVOLTAICO CHILIVANI

COMUNE DI OZIERI (SS)

PROPONENTE

Sarda Energy s.r.l.
Zona Industriale Chilivani SNC
07014 OZIERI (SS)

**IMPIANTO FOTOVOLTAICO PER LA PRODUZIONE DI ENERGIA DA FONTE SOLARE
NEL COMUNE DI OZIERI (SS)**

AUTORIZZAZIONE UNICA REGIONALE - PROGETTO DEFINITIVO

OGGETTO:

Relazione di calcolo preliminare fondazioni tracker

CODICE ELABORATO

PD
R06

COORDINAMENTO

bm!

Studio Tecnico Dott. Ing Bruno Manca

GRUPPO DI LAVORO AU

Dott. Geol. Giorgio Schintu
Dott.ssa Ing. Silvia Exana
Dott.ssa Ing. Ilaria Giovagnorio
Dott. Ing Bruno Manca
Dott. Ing. Giuseppe Pili
Dott. Ing. Michele Pigliaru
Dott.ssa Ing. Alessandra Scalas

REDATTORE

Dott. Ing. Giuseppe Pili
Dott. Ing. Michele Pigliaru

REV.	DATA	DESCRIZIONE REVISIONE
00	Aprile 2023	Prima emissione

FORMATO
ISO A4 - 297 x 210

Sommario

1. PREMESSA.....	3
2. TIPOLOGIA STRUTTURE DI SOSTEGNO.....	3
3. OPERE DI FONDAZIONE DEI TRACKERS.....	7
4. GEOMETRIA DELLE OPERE	9
5. ANALISI DEL TERRENO DI FONDAZIONE.....	10
6. NORMATIVA DI RIFERIMENTO	11
7. ANALISI AZIONI DI CALCOLO	11
8. CALCOLO DELLE FONDAZIONI.....	19
9. CONCLUSIONI	20

RELAZIONE DI CALCOLO PREDIMENSIONAMENTO FONDAZIONI

1. PREMESSA

La relazione tecnica espone il predimensionamento delle strutture di sostegno e di fondazione dell'impianto agrivoltaico "CHILIVANI 1", ubicato nell'agro del Comune di OZIERI nella frazione di Chilivani, con una potenza di picco di **19'929,0 kW** ed una potenza in immissione di **19'800 kW**. L'impianto sarà del tipo grid-connected e l'energia elettrica prodotta sarà riversata completamente in rete, salvo gli autoconsumi di centrale, con connessione in antenna sulla sezione a 36 kV di una nuova Stazione a 150/36 kV da inserire in entra – esce alla linea RTN 150 kV "Chilivani-Ozieri", previa realizzazione dei seguenti interventi:

- 1) potenziamento/rifacimento della linea RTN a 150 kV "Chilivani – Siniscola 2";
- 2) realizzazione di un nuovo elettrodotto di collegamento della RTN a 150 kV tra la nuova SE RTN Santa Teresa e la nuova SE RTN Buddusò (di cui al Piano di Sviluppo di Terna).

L'impianto è suddiviso in 4 campi fotovoltaici corrispondenti a **4 linee MT a 36 kV ARE4H5EX in cavo tripolare elicordato interrato** che collegano le 4 cabine di campo alla cabina di raccolta 36 kV posizionata a bordo impianto.

In fase di progetto esecutivo, lo schema strutturale potrebbe essere oggetto di modifiche, in funzione della scelta definitiva della tipologia strutturale e alla luce dei risultati delle prove di estrazione degli elementi di fondazione.

2. TIPOLOGIA STRUTTURE DI SOSTEGNO

Per struttura di sostegno di un generatore fotovoltaico, si intende un sistema costituito dall'assemblaggio di profili metallici, in grado di sostenere e ancorare al suolo una struttura raggruppante un insieme di moduli fotovoltaici, nonché di ottimizzare l'esposizione di quest'ultimi nei confronti della radiazione solare.

In particolare, i moduli fotovoltaici verranno montati su strutture di sostegno ad inseguimento automatico su un singolo asse (tracker monoassiali) che verranno ancorate al terreno mediante paletti di fondazione infissi nel terreno naturale sino ad una determinata profondità, in funzione della tipologia dei terreni e dell'azione del vento. La profondità di infissione è funzione sia delle caratteristiche del terreno che della sezione e forma del profilo metallico utilizzato come montante verticale infisso.

Le strutture di sostegno saranno distanziate con un interasse, le une dalle altre, in direzione est-ovest, in modo da evitare fenomeni di ombreggiamento reciproco, che si manifestano nelle primissime ore e nelle ultime ore della giornata.

Il Tracker è un inseguitore orizzontale ad asse singolo (nord-sud); può contenere 1 modulo fotovoltaico in verticale (fig.1) o 2 moduli in configurazione orizzontale o verticale (fig.2).



Fig. 1- Tracker - Inseguitore mono-assiale single portrait



Fig. 2- Tracker - Inseguitore mono-assiale double portrait

Nel caso in esame trattasi di tracker con singolo pannello bifacciale in posizione verticale (single portrait), posizionato secondo la direzione Nord-Sud, che ruota intorno al proprio asse indipendentemente dagli altri, guidati dal proprio sistema di guida. La figura 3, unitamente alle dimensioni principali del tracker, mostra le posizioni estreme: la posizione assunta all'alba, al mezzogiorno solare e al tramonto e gli intervalli di rotazione.

L'intervallo di rotazione esteso del Tracker è 110° (-55° ; $+55^\circ$) e consente rendimenti energetici più elevati rispetto all'indice di riferimento del settore (-45° ; $+45^\circ$).

Tali strutture verranno fissate su pali di fondazione denominati "*pali battuti*"; il loro dimensionamento verrà calcolato, dal punto di vista statico, in fase di progetto esecutivo e sarà stabilito definitivamente a seconda delle condizioni del suolo e dell'ubicazione dell'impianto.

La profondità d'infissione di tali strutture verrà accuratamente valutata mediante prove dirette condotte in situ mediante dinamometro; tali prove consisteranno nella valutazione delle condizioni di rottura per taglio del terreno di sedime, raggiunte applicando una forza orizzontale in testa all'elemento e nella verifica allo sfilamento. I pannelli fotovoltaici utilizzati, della potenza di **700 W**, hanno dimensioni in pianta di **2384 x 1303 mm**. La scelta effettuata, relativamente all'altezza dei moduli da terra, è stata quella di optare per l'altezza minima da terra di **1,30 m**, come riportato nello schema che segue.

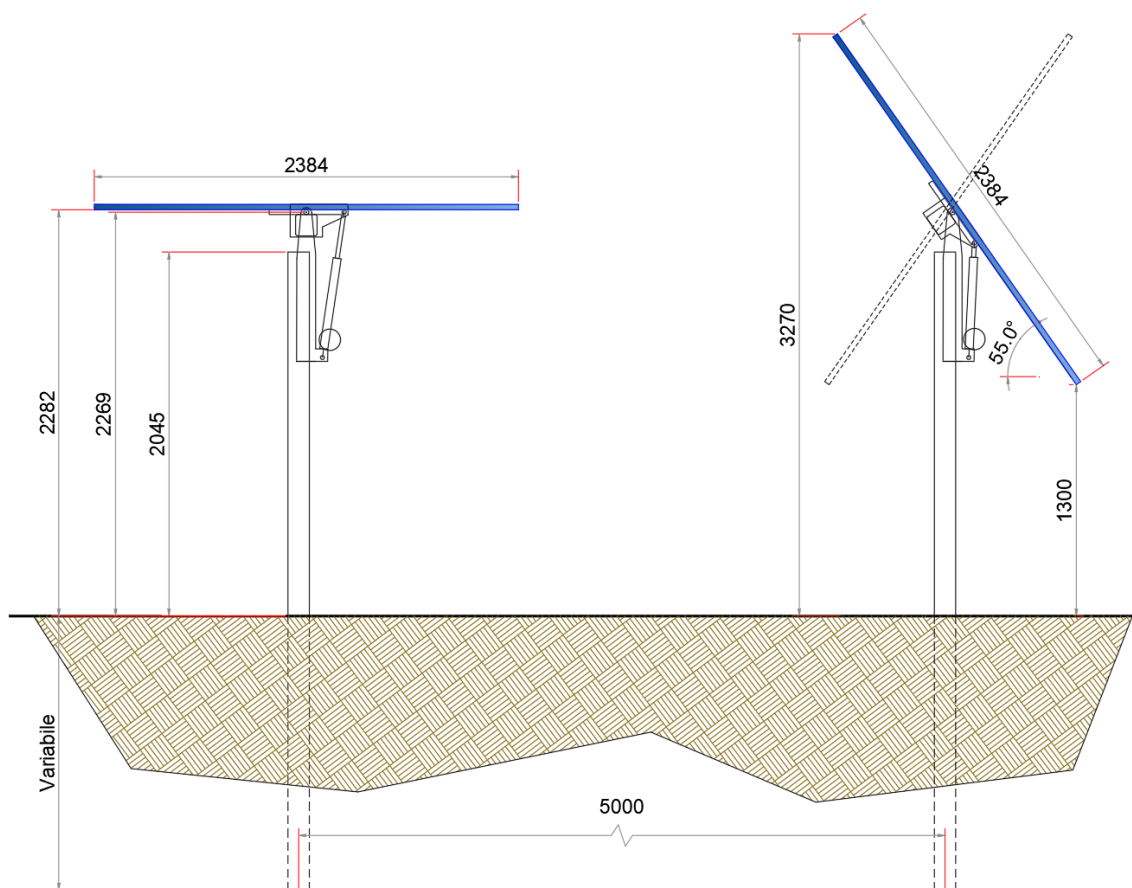


Fig. 3- Tracker - Inseguitore mono-assiale - intervalli di rotazione

L'utilizzo dei "pali battuti" consente l'ancoraggio nel terreno delle strutture di sostegno dei moduli, determinando un impatto trascurabile sul terreno rispetto alle strutture di fondazione convenzionali (plinti o fondazioni continue in c.a.).

Questa tecnica presenta numerosi vantaggi, quali:

- l'immediata utilizzazione dell'opera, che potrà essere direttamente sottoposta al carico;
- la stabilità e durezza dell'intervento, grazie alle operazioni di ancoraggio;
- l'economicità e compatibilità ambientale dell'intervento, riducendo al minimo il disturbo e l'occupazione del suolo, rispetto alle strutture di fondazione convenzionali (plinti e platee di fondazione);

3. OPERE DI FONDAZIONE DEI TRACKERS

La progettazione delle opere di fondazione dei trackers è strettamente legata alla conoscenza delle caratteristiche litostratigrafiche dell'area oggetto di intervento.

L'analisi geologica condotta, basata in parte su dati di letteratura e in parte su dati provenienti da studi geologici realizzati sulle aree limitrofe, lascia spazio a differenti scenari stratigrafici. Di seguito si riporta uno stralcio della Relazione Geologica allegata al presente progetto.

“La geologia dell'area di studio è caratterizzata da litologie vulcaniche associate alle fasi compressive della rotazione della micro zolla Sardo-Corsa responsabili della formazione del bacino di Chilivani-Berchidda.

In particolare la successione vulcanica calco-alkalina oligo-miocenica è rappresentata in quest'area dai flussi piroclastici dell'Unità di Chilivani, che formano i rilievi nel settore sudorientale con spessori che variano da 10 metri a Nord del bacino fino a 100 metri nel settore Ovest dello stesso. Si tratta di un'ignimbrite pomiceo-cineritica di colore solitamente biancastro, grado di saldatura medio-basso, composta per circa il 20% da pomici, con dimensioni comprese tra 1 mm e 25 cm, a distribuzione caotica; mentre la componente litica è costituita principalmente da frammenti di ignimbrite, andesite e clasti del basamento paleozoico, ben saldati. I litici mostrano una distribuzione caotica con dimensioni variabili tra 2 cm e 15 cm. Nelle zone di maggiore spessore, le ignimbrite si presentano ben saldate a differenza delle zone a minor spessore, dove si osservano livelli poco saldati, costituiti essenzialmente da cenere.

I depositi presenti all'interno della fossa Chilivani-Berchidda hanno carattere essenzialmente continentale, di cui si possono distinguere depositi contemporanei allo sviluppo del bacino e depositi successivi a quest'ultimo. All'interno del bacino si distinguono depositi sintetonici legati ad un primo evento estensionale, seguiti da depositi legati ad un complesso sistema alluvionale. Le faglie responsabili della strutturazione del bacino Chilivani-Berchidda non sono spesso visibili in quanto ricoperte dai depositi precedentemente citati, ma comunque osservabili dalle foto aeree.

Verso Sud il bacino è delimitato da una faglia con direzione N60, che parte da Olbia (faglia di Olbia) fino a Monti per poi dirigersi verso Sud e terminare nei pressi di Ozieri, distinguendo una geometria tipo “curva sinistra” (Left bend, Twiss e Moores). A Nord il bacino è delimitato da una faglia trascorrente (faglia di Berchidda) con direzione Est-Ovest. Altri sistemi di faglie interessano l'interno del bacino, responsabili dello sprofondamento del settore. Questo sistema di faglie è

riconducibile alla tettonica distensiva che ha interessato la Sardegna in un periodo che va dal Burdigaliano al Pliocene.

Successivamente all'attività vulcanica, l'area è soggetta a varie ingressioni marine che hanno portato alla formazione di importanti coltri sedimentarie e vulcano-sedimentarie.

In particolare, a partire dal Burdigaliano superiore, si è verificata una trasgressione marina che ha portato al riempimento del bacino con la successione silicoclastica e carbonatica miocenica, comprendente termini depositati sia in ambiente continentale (fluviale e lacustre) che in ambiente marino, i primi rappresentati prevalentemente da arenarie, sabbie, conglomerati, siltiti e marne, ma anche tufiti e tufi (Formazione di Rio Minore), i secondi rappresentati prevalentemente da depositi calcareo-calcarenitici (Formazione di Oppia Nuova). Nell'area di studio sono presenti entrambe le formazioni. La prima è costituita da depositi epiclastici, conglomerati, e calcari silicizzati di ambiente lacustre, affiorante tra la formazione di Oppia Nuova e le ignimbriti dell'unità di Chilivani, la seconda successione in facies sabbioso-conglomeratica della Formazione di Oppia Nuova, costituita dai prodotti granulari di origine continentale riconducibili al bacino fluvio-deltizio impostatosi nel half-graben di Chilivani, affiorante ad Ovest. Le sabbie sono costituite in prevalenza da quarzo e feldspato, i conglomerati eterometrici sono composti da elementi del basamento paleozoico, vulcaniti e calcari del mesozoico e sono costituiti da clasti arrotondati di dimensioni variabili da millimetriche a centimetriche, costituiti principalmente da quarzo. L'ambiente di sedimentazione è riconducibile ad una vasta conoide alluvionale che sovrasta i depositi piroclastici in facies ignimbratica collocabili al burdigaliano inferiore-medio."

In virtù di quanto evidenziato, viste le incertezze legate al sistema di elevazione (i reali scarichi in fondazione provenienti dalla sovrastruttura saranno forniti in fase esecutiva dalla casa produttrice) e le incertezze legate al modello litostratigrafico del terreno (non sono presenti in questa fase indagini geognostiche di dettaglio relative alle aree di progetto), si è deciso di validare un modello geologico, in questa fase progettuale, ritenuto idoneo a simulare le caratteristiche fisico-meccaniche dei litotipi presenti nelle aree di progetto.

In tal senso è stato condotto il dimensionamento di un palo infisso con la sezione metallica standard del tracker e si è studiato il comportamento geotecnico e strutturale nei confronti delle sollecitazioni agenti scaricate in fondazione.

4. GEOMETRIA DELLE OPERE

L'intervento prevede la realizzazione di una serie di supporti in profili commerciali di carpenteria metallica (tracker), sui quali sono montati i pannelli fotovoltaici per la produzione di energia elettrica.

I pannelli sono montati su una struttura, come già specificato in precedenza, del tipo "inseguitore monoassiale" e pertanto la loro inclinazione zenitale varia durante la giornata.

L'inclinazione massima prevista sull'asse orizzontale è di +/- 55° rispetto all'orizzonte.

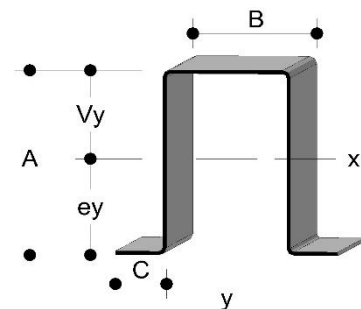
L'interasse tra i montanti interni è di circa 8,10 m mentre per quelli esterni ne abbiamo una di circa 8,20 m.

L'interdistanza tra le singole file di moduli, in direzione Est-Ovest, calcolata per evitare problemi di ombreggiamento tra file contigue, è di **5,00 metri**.

I moduli utilizzati, affiancati secondo il lato maggiore, hanno dimensioni di **2285 x 1134 mm** ed un peso di **38,0 kg** cadauno.

L'impalcato così costituito è impostato sui correnti di supporto aventi l'asse di rotazione ad un'altezza di circa **2,27** metri da terra, con un'altezza massima di **3,27** m ed un'altezza minima di **1,30** metri quando raggiungono l'inclinazione massima di 55°.

Tali supporti sono costituiti da profili metallici verticali in acciaio presso-piegato a "Ω", come da immagine allegata a lato:



Nel caso in oggetto il profilo verticale derivante dal predimensionamento ha dimensioni **40x120x80** con caratteristiche meccaniche riportate nella tabella che segue:

CxAxB	Sp.	Sv.	Peso	Area	ey	Vy	Jx	Wx	Ix	Jy	Wy	Iy
	mm	mm	Kg/ml	cm ²	cm	cm	cm ⁴	cm ³	cm	cm ⁴	cm ³	cm
40x120x80	2	390	6,12	7,8	6	6	158,92	26,49	4,51	133,12	17,07	4,13
	2,5	385	7,56	9,6	6	6	195,68	32,61	4,51	163,35	21,08	4,12
	3	380	8,95	11,4	6	6	229,7	38,28	4,49	191,7	24,9	4,1
	3,5	375	10,3	13,1	6	6	263,87	43,98	4,48	219,46	28,69	4,09

Il vincolo strutturale con il terreno sarà realizzato direttamente tramite infissione dei montanti nel terreno, per la profondità valutata in fase di analisi successiva al paragrafo 8.

5. ANALISI DEL TERRENO DI FONDAZIONE

La conoscenza della caratterizzazione geologica del terreno per le analisi strutturali da eseguirsi è relativa principalmente alla verifica di stabilità del supporto.

Da un punto di vista sismico il territorio dell'intera Regione è ricompreso in zona 4 dalle NTC vigenti.

Inoltre, per la particolare conformazione strutturale e i carichi permanenti applicati, la condizione più gravosa risulta quella relativa all'azione del vento.

Pertanto, in una fase di valutazione preliminare delle caratteristiche meccaniche del terreno di fondazione, si fa riferimento alle informazioni reperibili in letteratura e alla conoscenza diretta del sedime.

Inoltre in fase di analisi preliminare si adotteranno delle caratteristiche cautelative, a vantaggio di sicurezza. Come da letteratura, si fa riferimento in particolare alla stima della capacità portante del singolo montante infisso.

Il metodo di valutazione è quello che consente di ricavare la tensione massima di aderenza terreno-montante in funzione delle caratteristiche meccaniche indirette del terreno.

Nel caso specifico ci si riferisce alle prove penetrometriche. La capacità portante viene valutata in funzione della superficie laterale di contatto con il terreno e la tensione tangenziale massima. La tensione per infissione in terreni incoerenti è approssimata verosimilmente (secondo Meyerhof) dalla seguente formula:

$$\tau_s = 2xN_{spt} < 100 \text{ kPa}$$

Cautelativamente si assume per il terreno in oggetto il seguente valore: $N_{spt} = 40$

Pertanto si avrà

$$\tau_s = 80 \text{ kPa} = 0,815 \text{ Kg/cm}^2$$

6. NORMATIVA 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, evidenziato nel prosieguo della presente relazione:

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". Indicazioni progettuali per le nuove costruzioni in zone sismiche a cura del Ministero per la Ricerca scientifica - Roma 1981.

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 21 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.

7. ANALISI AZIONI DI CALCOLO

La valutazione dei carichi e dei sovraccarichi è stata eseguita in accordo con le disposizioni del punto 3.1 del Norme Tecniche sulle Costruzioni del 2018 (NTC2018).

In particolare, è stato fatto riferimento alle Tabelle 3.1.I e 3.1.II del D.M. 2018, per i pesi propri dei materiali e per la quantificazione e classificazione dei sovraccarichi.

Relativamente ai carichi permanenti si evidenzia che il peso della struttura è a favore di sicurezza in quanto contrasta l'azione del vento su un possibile "sfilamento" dal terreno dei montanti della struttura. Nell'analisi dei carichi permanenti si è riportato il peso della struttura di sostegno di circa 750 kg totali per tracker da 26 moduli, alla sua incidenza a m² di superficie incidente.

Carichi permanenti:

Peso dei pannelli: $q = 12,23 \text{ kg/m}^2$;

Peso delle strutture di sostegno: $q = 9,03 \text{ kg/m}^2$;

AZIONE DEL VENTO PAR. 3.3 NTC18

DEFINIZIONE DEI DATI

Zona: 6) Sardegna (zona a OCCIDENTE della retta congiungente Capo Teulada con l'Isola di Maddalena)



Classe di rugosità del terreno: D) Aree prive di ostacoli (aperta campagna, aeroporti, aree agricole, pascoli, zone paludose o sabbiose, superfici innevate o ghiacciate, mare, laghi,...)

Nelle fasce entro i 40 km dalla costa delle zone 1,2,3,4,5 e 6 la categoria di esposizione è indipendente dall'altitudine del sito.

as (altitudine sul livello del mare della costruzione): **213 m**

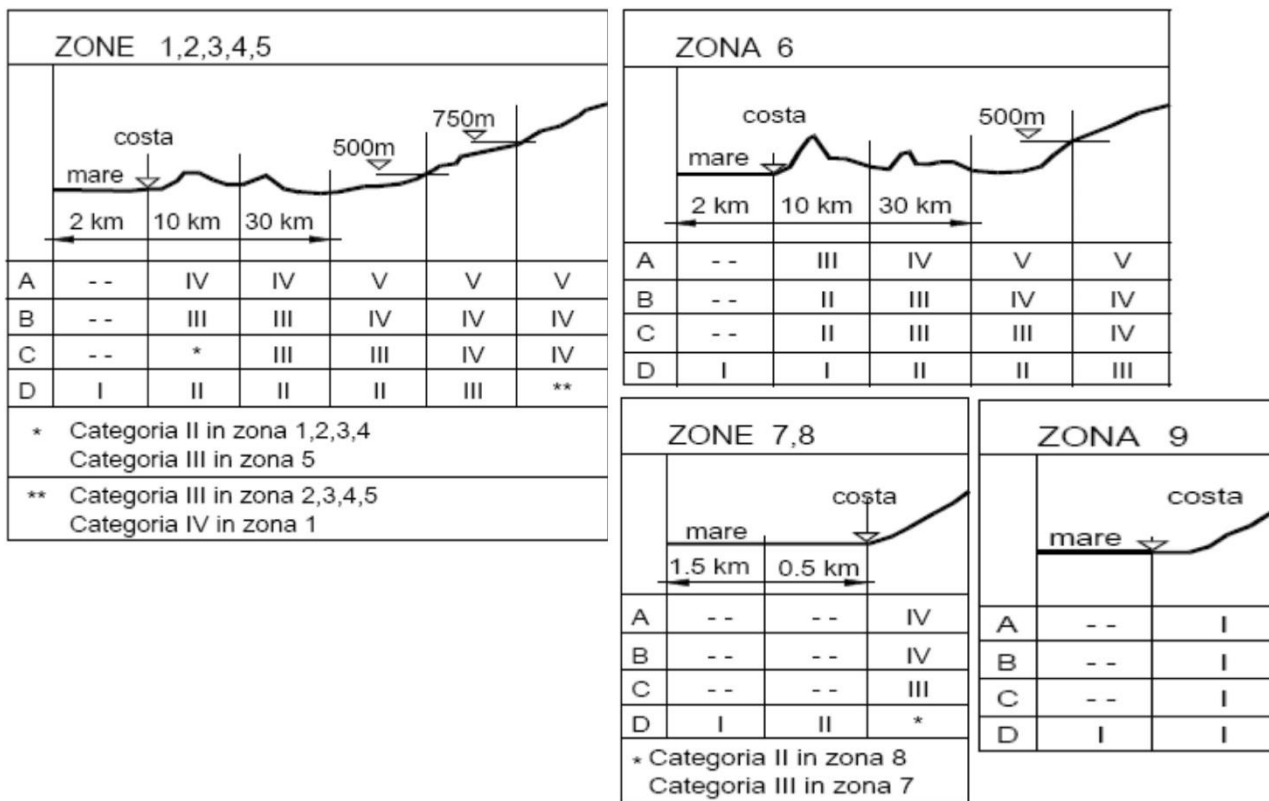
Distanza dalla costa **38,0 km**

TR (Tempo di ritorno):

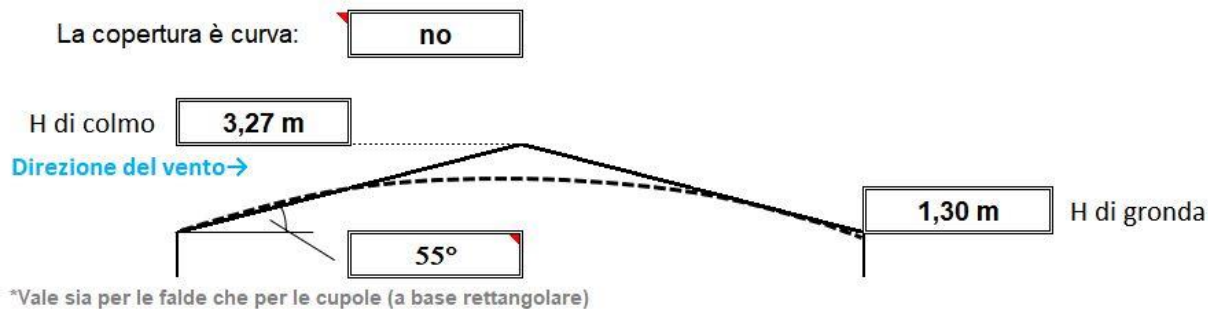
50 anni

Categoria di esposizione

II



Altezza del colmo della copertura, rispetto al suolo e inclinazione della falda sopravvento:



CALCOLO VELOCITA' DI RIFERIMENTO DEL VENTO §3.3.2.

Zona	vb,0 [m/s]	a0 [m]	ks	Ca
6	28	500	0.36	1,000

$$vb = vb,0 * ca$$

ca = 1 per as ≤ a0
 ca = 1 + ks (as/a0 - 1) per a0 < as ≤ 1500 m

v_b (velocità base di riferimento) = 28,00 m/s

$$v_r = v_b \cdot c_r$$

c_r coefficiente di ritorno 1,00

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

PRESSIONE CINETICA DI RIFERIMENTO §3.3.6.

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

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

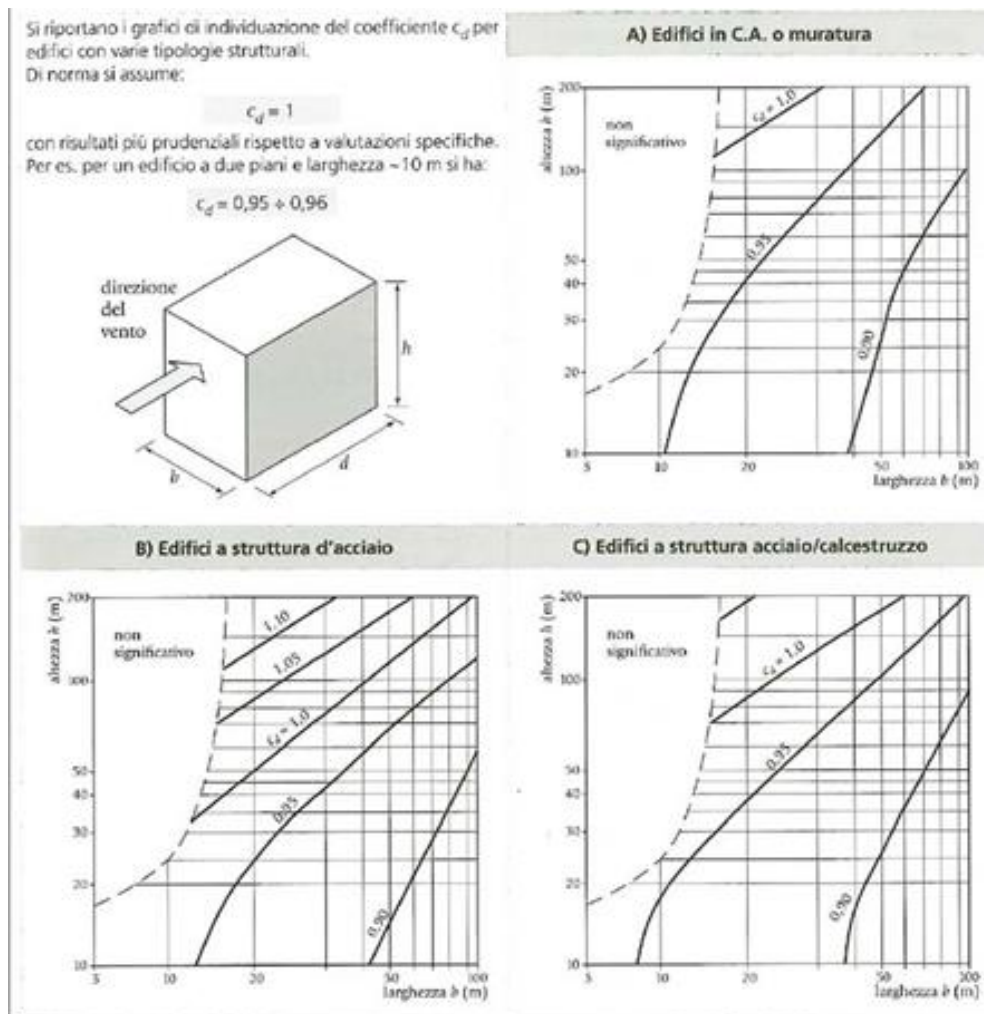
Pressione cinetica di riferimento $q_r = 490,72 \text{ [N/m}^2\text{]}$

CALCOLO DEI COEFFICIENTI

Coefficiente dinamico [§3.3.8]

c_d	1,00
-------	-------------

Esso può essere assunto cautelativamente pari ad 1 nelle costruzioni di tipologia ricorrente, quali gli edifici di forma regolare non eccedenti 80 m di altezza ed i capannoni industriali, oppure può essere determinato mediante analisi specifiche o facendo riferimento a dati di comprovata affidabilità.



Coefficiente Topografico (Orografico)

Il coefficiente topografico si assume di norma uguale ad 1, sia per zone pianeggianti, ondulate, collinose e montane.

Nel caso di costruzioni che sorgono presso la sommità di colline o pendii isolati si procede nel modo seguente:

1			2			3		
Costruzioni ubicate sulla cresta di una collina			Costruzioni ubicate sul livello superiore			Costruzioni ubicate su di un pendio		
$c_t = 1 + \beta \cdot \gamma$			$c_t = 1 + \beta \cdot \gamma \cdot \left(1 - 0,1 \cdot \frac{x}{H}\right) \geq 1$			$c_t = 1 + \beta \cdot \gamma \cdot \frac{h}{H}$		
Coefficiente β			Coefficiente γ					
per:	$\frac{z}{H} \leq 0,75$	$0,75 \leq \frac{z}{H} \leq 2$	$\frac{z}{H} \geq 2$	per:	$\frac{H}{D} \leq 0,10$	$0,10 < \frac{H}{D} \leq 0,30$	$\frac{H}{D} > 0,3$	
β	$\beta = 0,5$	$\beta = 0,8 - 0,4 \cdot \frac{z}{H}$	$\beta = 0$	γ	$\gamma = 0$	$\gamma = 5 \left(\frac{H}{D} - 0,10\right)$	$\gamma = 1$	

Caso selezionato: Condizione non isolata

Il coefficiente topografico vale: $c_t = 1,00$

Coefficiente di esposizione [§3.3.7]

Il coefficiente di esposizione dipende dall'altezza z sul suolo del punto considerato, dalla topografia del terreno e dalla categoria di esposizione del sito (e quindi dalla classe di rugosità del terreno) ove sorge la costruzione; per altezze non maggiori di z=200 m valgono le seguenti espressioni

$$c_e(z) = k_r \cdot c_t \cdot \ln(z/z_0) [7 + c_t \cdot \ln(z/z_0)] \text{ per } z \geq z_{min}$$

$$c_e(z) = c_e(z_{min}) \text{ per } z < z_{min}$$

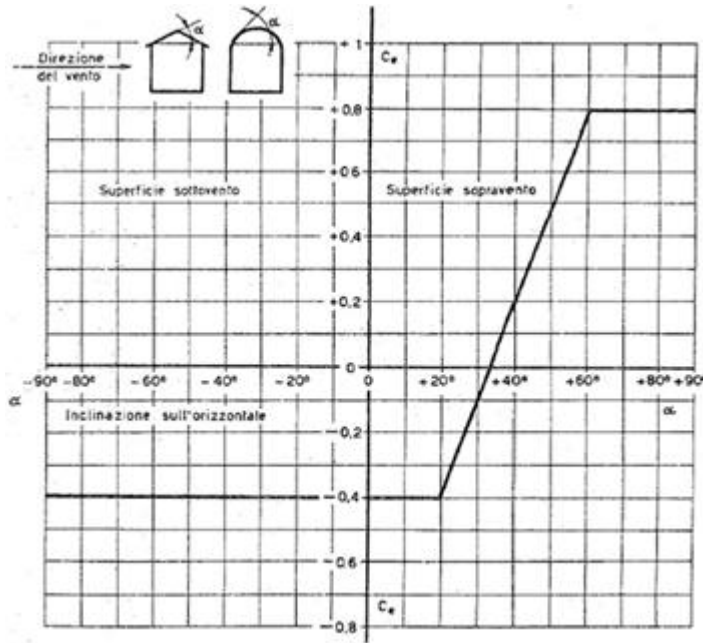
k_r	Z_0	Z_{min}
0,19	0,05	4,00

Coefficiente di esposizione minimo	$C_{e,min}$	1,80	$z < 4,00$
Coefficiente di esposizione alla gronda	$C_{e,gronda}$	1,80	$z = 1,30$
Coefficiente di esposizione al colmo	$C_{e,colmo}$	1,80	$z = 3,27$

Coefficiente di forma

Edifici a pianta rettangolare con coperture piane, a falde, inclinate, curve

E' il coefficiente di forma (o coefficiente aerodinamico), 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.

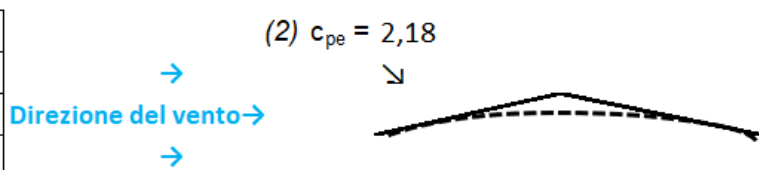


Tettoia ad uno spiovente

Configurazione più svantaggiosa

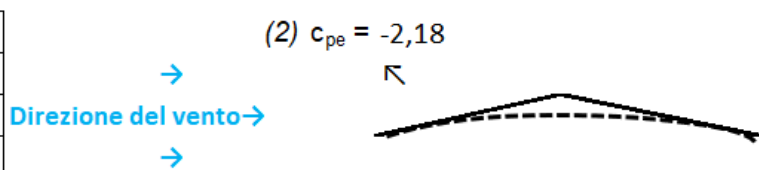
Configurazione A

(1) parete sopravento	c_p	0,00
(2) copertura sopravento	c_p	2,18
(3) copertura sottovento	c_p	0,00
(4) parete sottovento	c_p	0,00



Configurazione A

(1) parete sopravento	c_p	0,00
(2) copertura sopravento	c_p	-2,18
(3) copertura sottovento	c_p	0,00
(4) parete sottovento	c_p	0,00



Configurazione B

PRESSIONI DEL VENTO

Combinazione più sfavorevole per pareti e copertura:

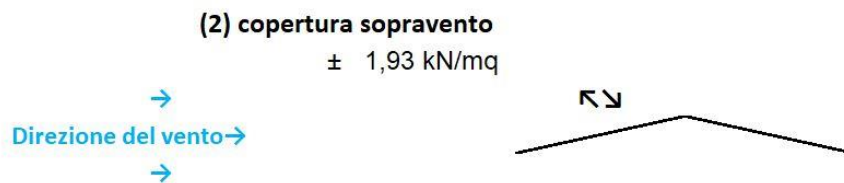
Valori massimi della pressione per ogni elemento

$$p \text{ (pressione del vento)} = q_{cd} \cdot c_t \cdot c_e \cdot c_s$$

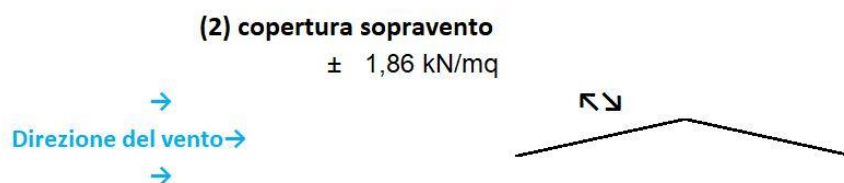
c_d (coefficiente dinamico) c_t (coefficiente topografico) c_e (coefficiente di esposizione)
(coefficiente di forma)

c_p

	p [kN/m ²]	c_d	c_t	c_e	c_p	P [kN/m ²]
(1) par. sopravent.	0,491	1,00	1,00	1,801	0,00	0,00
(2) cop. sopravent.	0,491	1,00	1,00	1,801	2,18	1,93
(3) cop. Sottovent.	0,491	1,00	1,00	1,801	0,00	0,00
(4) par. sottovent.	0,491	1,00	1,00	1,801	0,00	0,00



Valori medi della pressione per ogni elemento (da utilizzare per caricare il modello FEM)



Azione del sisma:

Il sito è in zona classificata di quarta categoria ai sensi delle NTC2018.

Come visto relativamente al carico da vento, data la preponderanza dell'azione del vento rispetto a quella del sisma, si tralascia l'esposizione delle relative azioni orizzontali.

Carico Neve:

Oltre alla ridotta azione del carico relativo, si fa presente che il carico da neve nei confronti dell'azione negativa del vento risulterebbe stabilizzante, pertanto anche in questo caso se ne tralascia, a favore di sicurezza, il calcolo e l'applicazione sulla struttura.

8. CALCOLO DELLE FONDAZIONI

Con riferimento a quanto precedentemente indicato, relativamente ai carichi adottati, alle resistenze dei materiali, alla geometria strutturale ed alla metodologia di calcolo, si riporta, di seguito, il calcolo della fondazione dei montanti da infiggere sul terreno.

Geometria:

Interasse montanti: $l = 8,20 \text{ m}$

Larghezza esposizione moduli: $L = 2,29 \text{ m}$

Superficie esposta al vento: $S = 18,78 \text{ m}^2$

Azione risultante sul montante:

Pressione del vento $p = 1,93 \text{ kN/m}^2$

Azione del vento: $F_v = p \times S = 624,54 \text{ kg}$

Peso dei pannelli: $12,23 \text{ kg/m}^2$

Peso delle strutture di sostegno: $9,03 \text{ kg/m}^2$

Carichi permanenti: $F_p = 399,26 \text{ kg}$

Applicando i coefficienti di normativa l'azione verticale di sfilamento S_f sulla fondazione per un angolo di 55° sarà:

$$S_f = F_v * \sin 55^\circ = 2\,969 \text{ kg}$$

Azione resistente sul montante:

Tensione massima tangenziale: $\tau_s = 80 \text{ kPa} = 0,815 \text{ Kg/cm}^2$

Superficie di attrito equivalente: $A_a = 80 \text{ cm}^2/\text{cm}$

L'analisi di equilibrio, comprensiva dei coefficienti normativi amplificativi e di sicurezza, permette di determinare la lunghezza minima di infissione per i montanti dei moduli esposti direttamente all'azione del vento, che sono quelli maggiormente esposti rispetto a quelli delle file intermedie, e sarà pari a:

$$L_{\min} = \frac{S_f \cdot \phi}{\tau_s \cdot A_a} = 59 \text{ cm}$$

Considerando le azioni applicate, l'inclinazione massima e lo schema strutturale, la condizione di carico più sfavorevole sulla struttura è quella che si riferisce al vento posteriore con azione di sfilamento della fondazione.

In considerazione del fatto che l'aumento della lunghezza di infissione è a favore della sicurezza, si considera in questa fase preliminare, una lunghezza di infissione minima di 1.00 m.

9. CONCLUSIONI

Per quanto riportato nei vari paragrafi precedenti si riassume e si conclude che:

- la relazione ha per oggetto la verifica delle fondazioni delle strutture portanti dei moduli fotovoltaici dell'impianto. L'impianto prevede il posizionamento di moduli inseguitori cosiddetti *tracker*, su strutture in carpenteria metallica. Le strutture sono vincolate al suolo per "infissione" dei montanti verticali (pali infissi);
- per il calcolo di predimensionamento delle fondazioni, *di tipo preliminare*, si sono definite le condizioni al contorno adottate nelle analisi e nelle verifiche facendo riferimento a indicazioni bibliografiche, pratiche di ingegneria usuali per interventi simili, conoscenza dello stato di fatto dei luoghi e metodologie adeguate a tale natura. ***Sicuramente si dovranno, nelle successive fasi di progettazione, verificare ed approfondire tali condizioni coerentemente alle susseguenti fasi di indagine;***
- dal calcolo effettuato è stata avvalorata la possibilità di realizzare la fondazione delle strutture dell'impianto per infissione dei pali metallici, che risulta essere la tipologia di intervento meno invasiva e completamente riutilizzabile. ***La lunghezza di infissione prevista preliminarmente ($L_{min} = 1,00\text{ m}$) potrà eventualmente variare con l'approfondimento delle indagini volte a determinare le caratteristiche del terreno e con riferimentola alla tipologia strutturale optata;***
- la fattibilità delle opere previste, sia staticamente, che dal punto di vista operativo, funzionale e con riferimento alla caratterizzazione geologica del sito d'intervento, sia assicurata per i dati al momento disponibili.