



IMPIANTO AGRIVOLTAICO LUNESTAS

COMUNE DI SASSARI E STINTINO

PROPONENTE

Lunestas s.r.l.

Traversa Bacchileddu, n. 22
07100 SASSARI (SS)

IMPIANTO AGRIVOLTAICO PER LA PRODUZIONE DI ENERGIA DA FONTE SOLARE NEL COMUNE DI SASSARI E STINTINO

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 S.I.A.

Dott.ssa Geol. Cosima Atzori
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	Gennaio 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.....	5
4. GEOMETRIA DELLE OPERE	6
5. ANALISI DEL TIPO DI STRUTTURA E DEL TERRENO DI FONDAZIONE	7
6. NORMATIVA DI RIFERIMENTO	9
7. ANALISI AZIONI DI CALCOLO	9
8. CALCOLO DELLE FONDAZIONI.....	17
9. CONCLUSIONI	18

RELAZIONE DI CALCOLO PREDIMENSIONAMENTO FONDAZIONI

1. PREMESSA

La presente relazione tecnica espone il predimensionamento delle strutture di sostegno e di fondazione dell'impianto agrivoltaico in progetto "LUNESTAS", ubicato nell'agro del Comune di SASSARI e STINTINO in località "Lunestas".

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 agrivoltaico, 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. Nel caso in esame la struttura ha la possibilità di ottimizzare l'esposizione di quest'ultimi nei confronti della radiazione solare e quindi della sua angolazione variante rispetto allo zenit.

In particolare, i moduli fotovoltaici verranno montati su strutture di sostegno ad inseguimento automatico su un asse (tracker monoassiali) e verranno ancorate al terreno mediante profili metallici infissi nel terreno naturale sino ad una determinata profondità in funzione della tipologia di terreni e dell'azione del vento, aventi funzione di fondazione.

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), a fila singola; può contenere 1 modulo agrivoltaico in verticale o 2 moduli in configurazione orizzontale.



Fig. 1- Tracker - Inseguitore mono-assiale DOUBLE PORTRAIT

Nel caso in esame trattasi di tracker con *doppio pannello bifacciale* in posizione verticale (double portrait), posizionato secondo la direzione Nord-Sud, che ruota intorno al proprio asse indipendentemente dagli altri, guidati dal proprio sistema di guida. La figura seguente, 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.

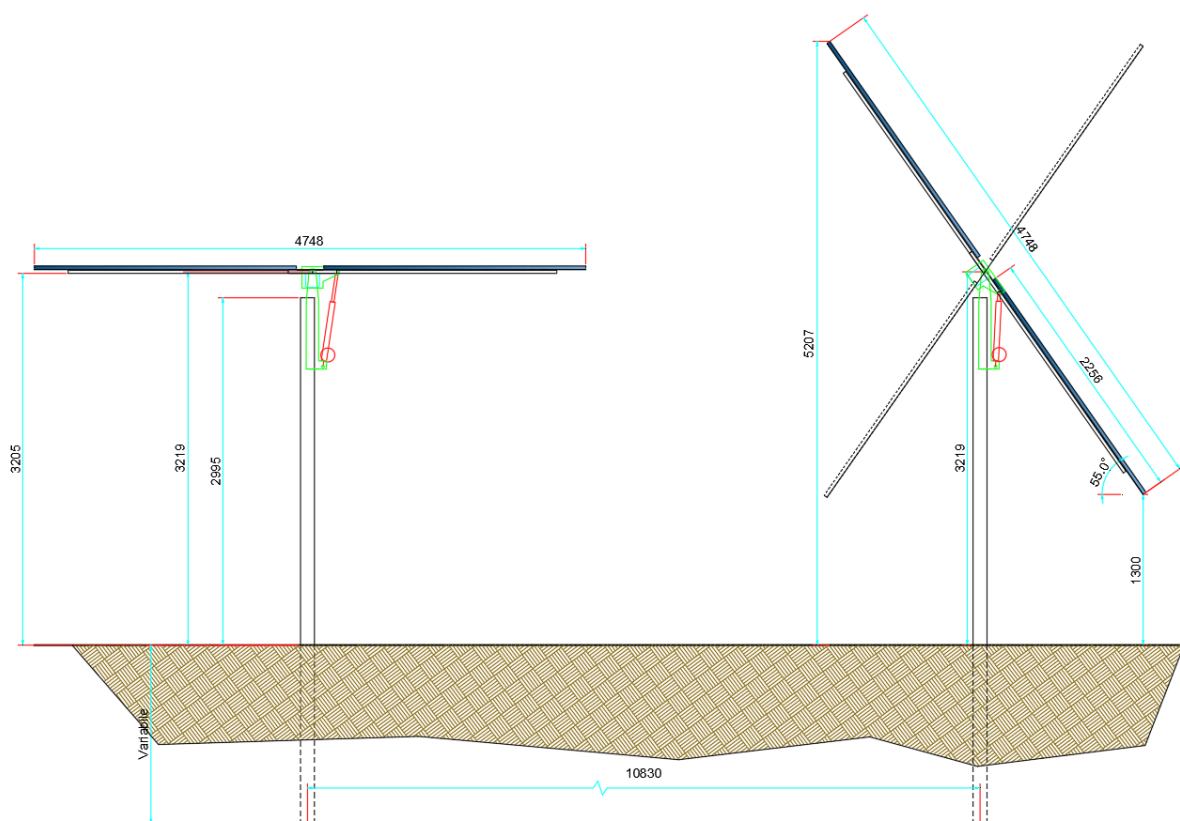


Fig. 2- Tracker - Inseguitore mono-assiale - intervalli di rotazione

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.

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.

L'utilizzo della tecnologia a "palo battuto" consente l'ancoraggio delle strutture di sostegno dei moduli alternativa a quella classica con plinti in cemento armato gettati, determinando un impatto trascurabile sul terreno rispetto alle strutture di fondazione convenzionali.

Questa tecnica presenta numerosi vantaggi, quali:

- l'immediata utilizzazione dell'opera, che potrà essere direttamente sottoposta al carico in

quanto non sono necessari tempi di maturazione che il cemento armato richiede;

- 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, travi 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 condotta all'interno dello studio geologico allegato al presente progetto, basato 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.

Sulla base di quanto emerso dai rilievi e da indagini eseguite in situ o, nell'approccio progettuale, stante il contesto geologico sono state evidenziate le seguenti criticità a cui sarà necessario prestare la opportuna attenzione nella progettazione delle opere e nelle varie fasi di realizzazione. L'analisi di tali fattori è funzionale alla progettazione e ha lo scopo di valutare la risposta del terreno ai nuovi carichi ed individuare azioni correttive o accorgimenti tali da limitarne gli effetti. Nello specifico:

- **Circolazione idrica sotterranea secondaria o indotta e/o stagnazione di acque di pioggia:** vanno considerati gli effetti dell'eventuale presenza d'acqua alla quota di imposta delle opere fondanti con particolare riferimento alla stagionalità degli apporti idrici e del relativo flusso negli ambiti più superficiali delle coltri di alterazione dei depositi alluvionali.
- **Presenza di sacche argillose, non attualmente identificabili, che possono cambiare il grado di portanza dei terreni:** sarà opportuno in fase di progettazione definitivo/esecutiva eseguire dei saggi sul terreno per confermarne o meno la presenza.

Di seguito il **modello geologico tecnico** stimato sulla base dei valori di velocità più bassi riscontrati. È consigliabile in fase esecutiva confermare questi valori mediante indagini dirette (penetrometrie dinamiche o analisi di laboratorio su campioni di carota derivanti da pozzetti o sondaggi)

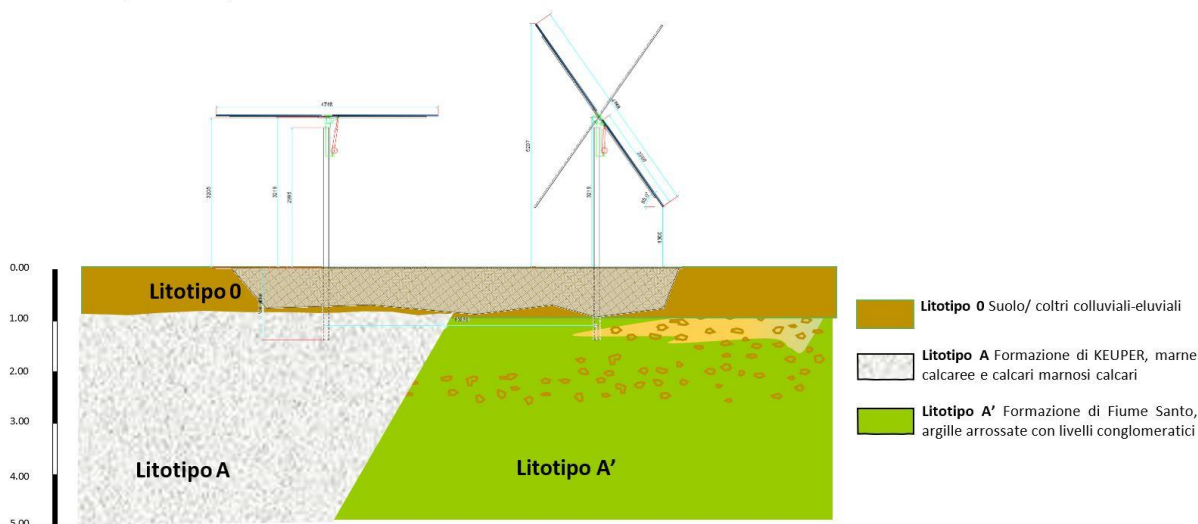
Profondità	Vs [m/s]	SPT	φ [°]	Cu* [KPa]	Cu** [KPa]	Modulo Deformaz (Mpa) Schmertmann (B=6)	Modulo Deformaz (Mpa) Tornaghi	Modulo Deformaz (Mpa) medio
0-1,0	330	49,3	41	119	206	58,0	49,2	53,6
1,0-2,3	340	54,2	42	123	219	63,8	51,6	57,7
2,3-4,0	390	84,0	>50	142	287	98,7	64,1	81,4

Dalle informazioni ricavate dallo studio effettuato è stato costruito il modello geologico preliminare del sito che sintetizza e descrive i caratteri litologici, strutturali, idrogeologici e geomorfologici trattati nei capitoli precedenti:

0,00m – 2,30m – **Litotipo 0** Suolo/ coltri colluviali-eluviali

da 2,30m in poi – **Litotipo A** Litofacies nel Subsistema di Portoscuso (SINTEMA DI PORTOVESME). Ghiaie alluvionali terrazzate da medie a grossolane, con subordinate sabbie. PLEISTOCENE SUP.

da 2,30m in poi – **Litotipo A'** FORMAZIONE DI FIUME SANTO. Argille arrossate con livelli e lenti di conglomerati a ciottoli di basamento paleozoico, vulcaniti e calcari mesozoici. Ambiente fluviale. TORTONIANO-MESSINIANO



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 delle strutture metalliche) 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. Le caratteristiche geometriche salienti dell'impianto agrivoltaico sono:

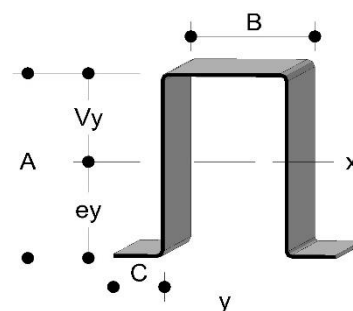
- I pannelli sono montati su una struttura, come già specificato in precedenza, del tipo "inseguitore monoassiale", e pertanto la loro inclinazione varia durante la giornata.
- L'inclinazione massima prevista sull'asse orizzontale è di +/- 55° rispetto all'orizzonte.
- L'interasse tra i montanti è di circa **8,25 m** per i centrali e di **7,10 m** per quelli esterni.

- L'interdistanza tra le singole file di moduli, calcolata per evitare problemi di ombreggiamento tra file contigue, è di **10,83** metri (fig.2).
- I moduli utilizzati, della potenza di **545 W**, sono montati sui sostegni su due file e affiancati secondo il lato maggiore, hanno dimensioni di **1133 x 2256 mm** ed un peso di **32,3 kg** cadauno.

L'impalcato così costituito è impostato sui correnti di supporto aventi l'asse di rotazione ad un'altezza di circa **3,22** metri da terra, con un'altezza massima di **5,207** m ed un'altezza minima di **1,30** metri quando raggiungono, all'alba e al tramonto, 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 **40x150x100** 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
40x150x100	2,5	465	9,13	11,6	7,82	7,18	361,6	46,24	5,58	283	32,34	4,93
	3	460	10,83	13,8	7,82	7,18	426	54,48	5,56	333,3	38,31	4,91
	3,5	455	12,5	16,1	7,82	7,18	490,7	62,75	5,52	382,9	44,27	4,88
	4	450	14,13	18,2	7,83	7,17	550,5	70,31	5,5	429,4	49,93	4,86
	5	440	17,55	22,4	7,82	7,18	664,85	84,97	5,45	518,22	60,97	4,81

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 TIPO DI STRUTTURA E 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 Sardegna è ricompreso in zona 4 dalle norme tecniche per le costruzioni vigenti (**NTC 2018**). La vita nominale di progetto **V_N** di un'opera è convenzionalmente definita come il numero di anni nel quale è previsto che l'opera, purché soggetta alla necessaria manutenzione, mantenga specifici livelli prestazionali.

I valori minimi di **V_N** da adottare per i diversi tipi di costruzione sono riportati nella **Tab. 2.4.I**. Tali valori possono essere anche impiegati per definire le azioni dipendenti dal tempo.

Tab. 2.4.I – Valori minimi della Vita nominale **V_N** di progetto per i diversi tipi di costruzioni

TIPI DI COSTRUZIONI		Valori minimi di V_N (anni)
1	Costruzioni temporanee e provvisorie	10
2	Costruzioni con livelli di prestazioni ordinari	50
3	Costruzioni con livelli di prestazioni elevati	100

La tipologia di costruzioni previste in progetto (NTC2018 - par.2.4) ha **vita nominale ≥ 50 anni** (opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali e dighe di grandi dimensioni...) ed appartiene alla **classe d'uso I**, come di seguito descritta:

Classe I: Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli.

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.

In fase di analisi 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:

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

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

Pertanto si avrà

$$\tau_s = 80 \text{ kPa} = 0,816 \text{ Kg/cm}^2$$

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 progettive 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 28 moduli, alla sua incidenza a m² di superficie incidente.

Carichi permanenti:

Peso dei pannelli: $q = 12,64 \text{ kg/m}^2$;

Peso delle strutture di sostegno: $q = 12,65 \text{ kg/m}^2$;

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): **25 m**

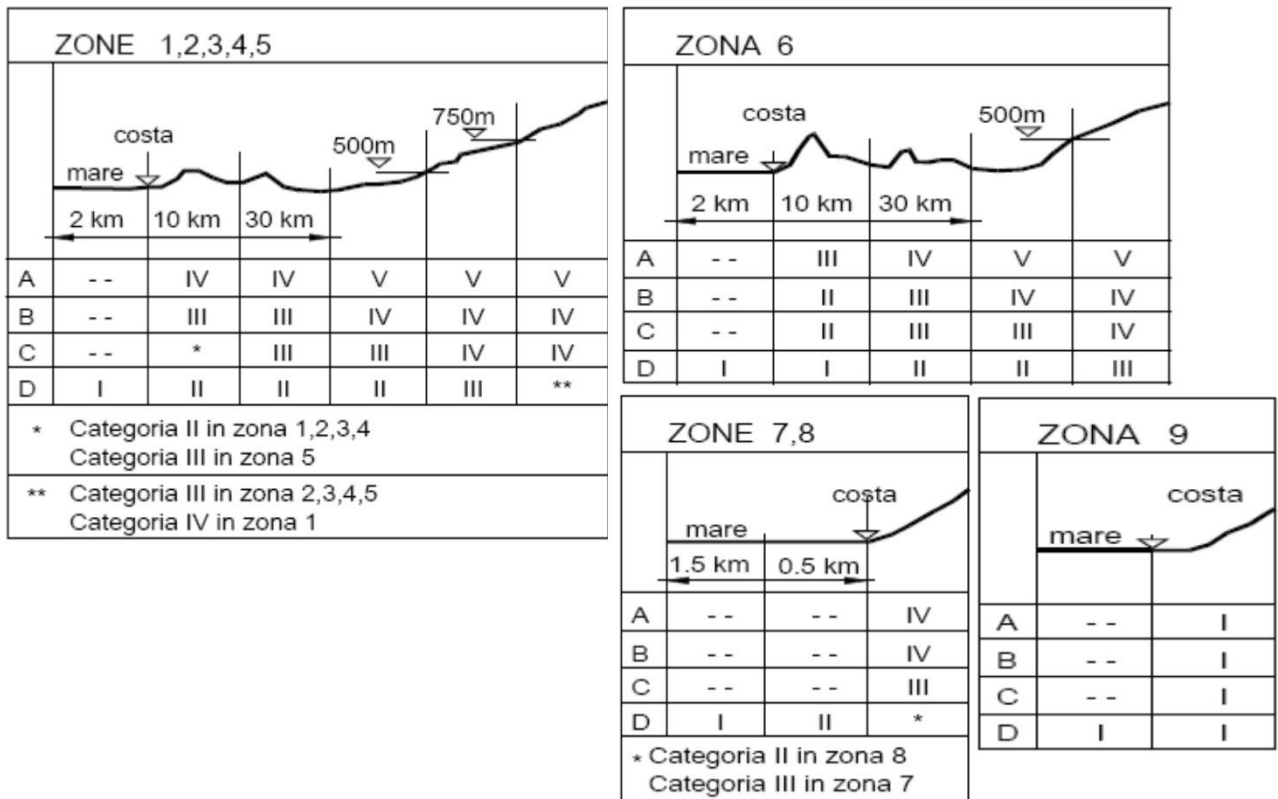
Distanza dalla costa **4,0 km**

TR (Tempo di ritorno):

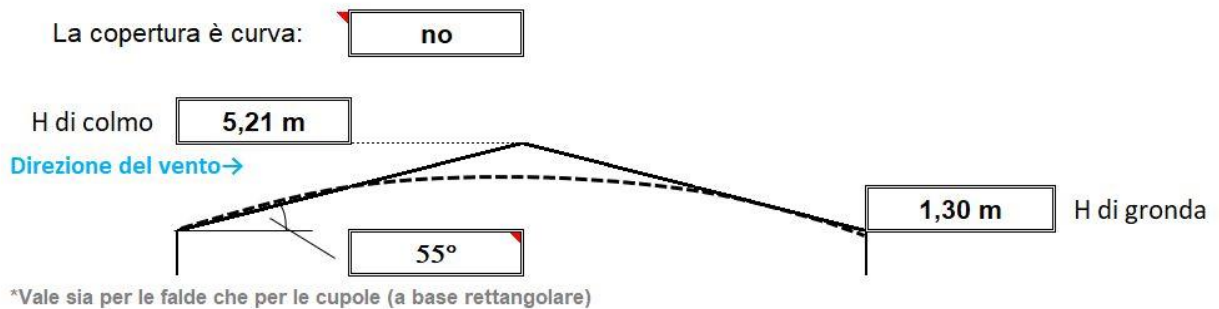
50 anni

Categoria di esposizione

I



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
5	28	500	0.36	1,000

$$v_b = v_{b,0} * c_a$$

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])

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

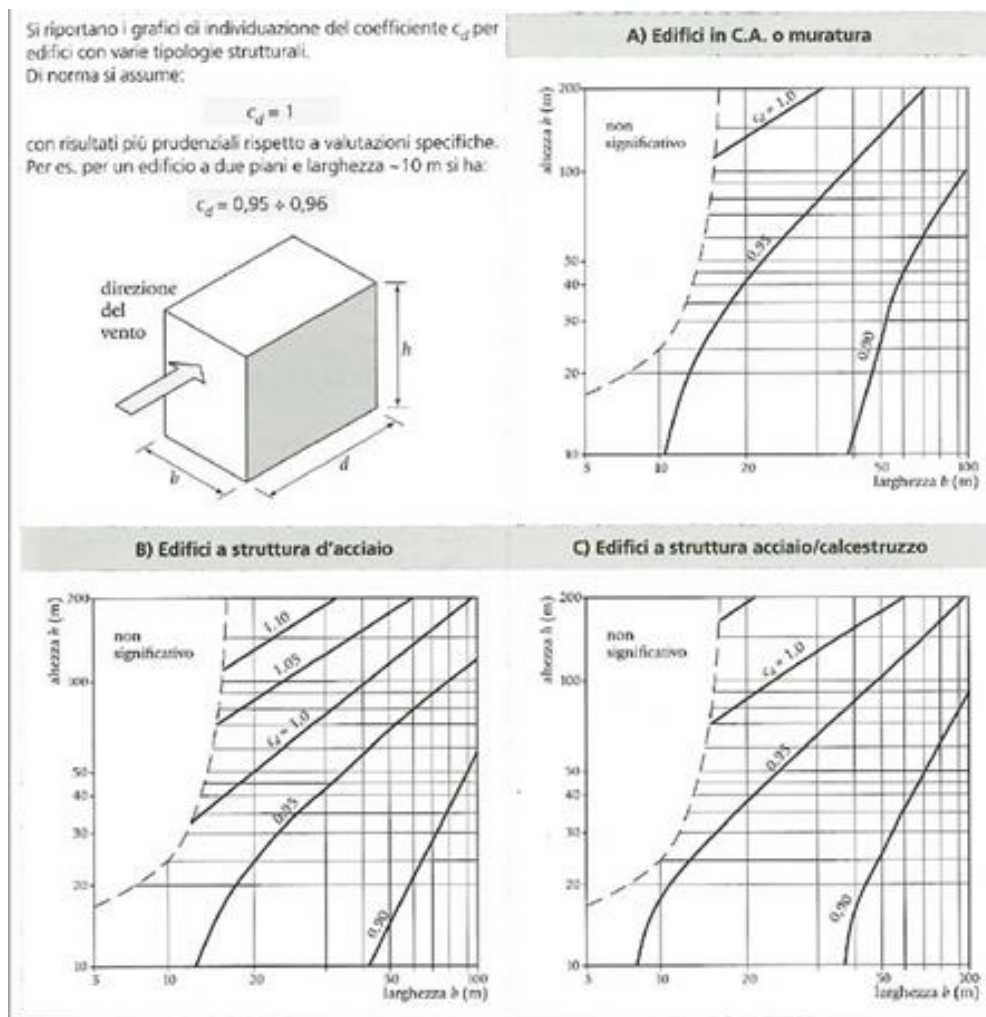
Pressione cinetica di riferimento $q_r = 490,72 \text{ [N/m}^2\text{]}$

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

$$c_e(z) = k_r^2 \cdot c_t \cdot \ln(z/z_0) [7 + c_t \cdot \ln(z/z_0)] \text{ per } z \geq z_{min}$$

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

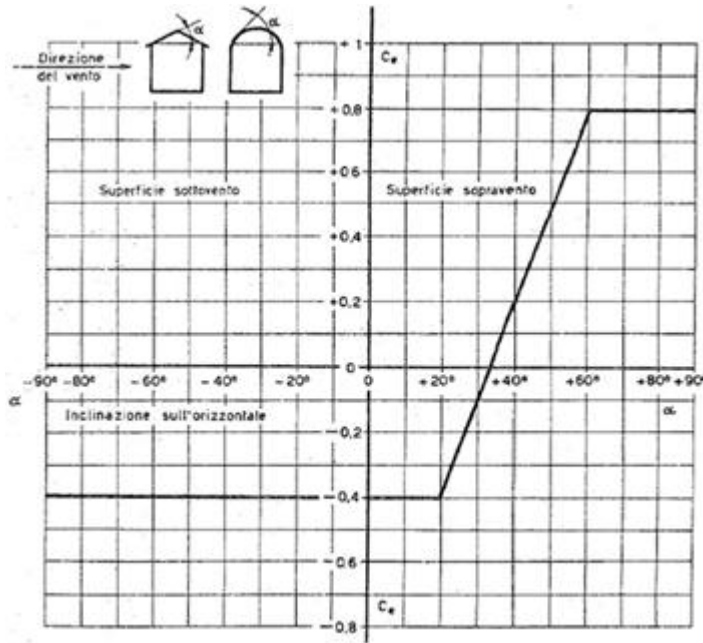
k_r	Z_0	Z_{min}
0,17	0,01	2,00

Coefficiente di esposizione minimo	$c_{e,min}$	1,88	$z < 2,00$
Coefficiente di esposizione alla gronda	$c_{e,gronda}$	1,88	$z = 1,30$
Coefficiente di esposizione al colmo	$c_{e,colmo}$	2,40	$z = 5,21$

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

Direzione del vento →

(2) $c_{pe} = 2,18$



Configurazione A

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

Direzione del vento →

(2) $c_{pe} = -2,18$



Configurazione B

PRESSIONI DEL VENTO

Combinazione più sfavorevole per pareti e copertura:

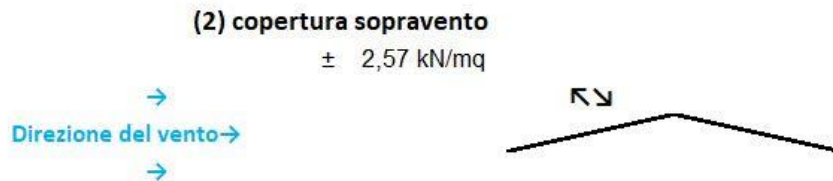
Valori massimi della pressione per ogni elemento

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

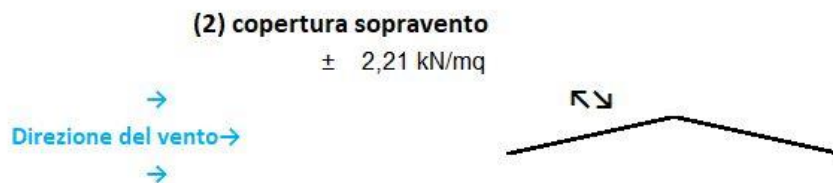
c_d (coefficiente dinamico) c_t (coefficiente topografico) c_e (coefficiente di esposizione)
(coefficiente di forma)

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	1,883	0,00	0,00
(2) cop. sopravent.	0,491	1,00	1,00	2,397	2,18	2,57
(3) cop. Sottovent.	0,491	1,00	1,00	2,397	0,00	0,00
(4) par. sottovent.	0,491	1,00	1,00	1,883	0,00	0,00



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



Il simbolo ± indica che bisogna considerare due combinazioni nel 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: $l = 8,25 \text{ m}$

Larghezza esposizione moduli: $L = 4,75 \text{ m}$

Superficie esposta al vento: $S = 39,19 \text{ m}^2$

Azione risultante sul montante :

Pressione del vento $p = 2,57 \text{ kN/m}^2$

Azione del vento: $F_v = p \times S = 10\,071,83 \text{ kg}$

Peso dei pannelli: $12,64 \text{ kg/m}^2$

Peso delle strutture di sostegno: $12,65 \text{ kg/m}^2$

Carichi permanenti: $F_p = 991,12 \text{ kg}$

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

$$S = F_v * \sin 55^\circ = 8\,250 \text{ kg}$$

Azione resistente sul montante:

Tensione massima tangenziale: $\tau_s = 80 \text{ kPa} = 0,816 \text{ Kg/cm}^2$

Superficie di attrito equivalente: $A_a = 96 \text{ cm}^2/\text{cm}$

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:

$$L_{\min} = \frac{S \cdot \varphi}{\tau_s \cdot A_a} = 137 \text{ cm}$$

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 1.50 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 ($L_{min} = 1,50$ m) potrà eventualmente variare con l'approfondimento delle indagini volte a determinare le caratteristiche del terreno e con riferimento 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.