

**PROGETTO DEFINITIVO**

PROGETTO PER LA COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DELL'IMPIANTO DI PRODUZIONE DI ENERGIA ELETTRICA DA FONTE FOTOVOLTAICA CON ASSOCIATO IMPIANTO AGRICOLO (AGRIVOLTAICO) E DELLE RELATIVE OPERE ED INFRASTRUTTURE CONNESSE DELLA POTENZA NOMINALE MASSIMA DI 80239 KW E DELLA POTENZA NOMINALE IN A.C. PARI A 65800 KW SITO NEL COMUNE DI FRANCAVILLA FONTANA (BR) CON OPERE DI CONNESSIONE RICADENTI ANCHE NEI COMUNI DI MANDURIA (TA), ORIA (BR) ED ERCHIE (BR)

**TITOLO TAVOLA**

**RELAZIONE DI VERIFICA A RIBALTAMENTO DELLE STRUTTURE DI SOSTEGNO MODULI**

PROGETTAZIONE	PROPONENTE	SPAZIO RISERVATO AGLI ENTI
<p>PROGETTISTI                      Ing. Nicola ROSELLI                       Ing. Rocco SALOME                       PROGETTISTI PARTI ELETTRICHE                      Per. Ind. Alessandro CORTI                       CONSULENZE E COLLABORAZIONI                      Arch Gianluca DI DONATO                      Ambiti archeologici - CAST s.r.l.                      Dott. Massimo MACCHIAROLA                      Ing Elvio MURETTA                      Geol. Vito PLESCIA</p>	<p><b>FRANCAVILLA 1 SOLAR S.R.L.</b>                      SEDE LEGALE                      MILANO (MI), cap 20131                      viale Abruzzi n° 94                      P.IVA 16318271000</p>	

<b>4.2.6_13</b>	FILE EQWE434_4.2.6_13_DocumentazioneSpecialistica_02	CODICE PROGETTO EQWE434	SCALA
-----------------	---	----------------------------	-------

REVISIONE	DATA	DESCRIZIONE REVISIONE	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO
A	07/07/2022	EMISSIONE	ROSELLI	FRANCAVILLA1SOLARSRL	FRANCAVILLA1SOLARSRL
B	DATA				
C	DATA				
D	DATA				
E	DATA				
F	DATA				

	<p align="center"> <b>Impianto agrivoltaico con fotovoltaico a terra del tipo a inseguimento solare da ubicare nel Comune di Francavilla Fontana (Provincia di Brindisi)</b> </p> <p> <b>Ditta Proponente: Francavilla 1 Solar s.r.l.</b> </p>	
--	--	--

**A.01.A PREMESSA ..... 2**  
**A.01.B NORMATIVA DI RIFERIMENTO ..... 2**  
**A.01.B RELAZIONE DI VERIFICA A RIBALTAMENTO DELLE STRUTTURE A SOSTEGNO DEI MODULI..... 3**

	<b>Impianto agrivoltaico con fotovoltaico a terra del tipo a inseguimento solare da ubicare nel Comune di Francavilla Fontana (Provincia di Brindisi)</b>  <b>Ditta Proponente: Francavilla 1 Solar s.r.l.</b>	
--	--	--

## **A.01.A PREMESSA**

La presente relazione descrive le fasi della verifica, sotto l'azione del vento, delle strutture metalliche di sostegno dei moduli fotovoltaici denominate "tracker a inseguimento", le cui strutture di fondazione, costituite da montanti metallici, sono infisse nel terreno e costituiscono strutture di facile rimozione.

L'Area oggetto dell'intervento e, precisamente, del campo fotovoltaico e impianto agricolo annesso è ubicata geograficamente a Sud-Ovest del centro abitato del Comune di Francavilla Fontana. Le coordinate geografiche del sito sono: Lat. 40.504408°, Long. 17.511569°.

- a) Il parco fotovoltaico, mediante un elettrodotto interrato della lunghezza di circa 27,2 km uscente dalla cabina d'impianto, sarà allacciato, nel comune di Erche (BR), alla Rete di Trasmissione Nazionale (RTN) in antenna a 36 kV su una futura Stazione Elettrica (SE) di trasformazione della RTN da inserire in entra-esce alla linea 380 kV "Erchie 380 – Taranto N2".

## **A.01.B NORMATIVA DI RIFERIMENTO**

L'analisi delle strutture e le verifiche sugli elementi saranno condotte in accordo alle vigenti disposizioni legislative ed in particolare delle seguenti norme:

- Legge n.1086 del 05/11/71 - Norme per la disciplina delle opere di conglomerato cementizio armato, normale e precompresso ed a struttura metallica.
- Legge n.64 del 02/02/74 - Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche.
- D.M. del 17/01/18 - Norme tecniche per le costruzioni (2018).
- C.M. n.7 del 19/01/2019 - Istruzioni per l'applicazione dell'Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni.
- Eurocodice 2 "Progettazione delle strutture di calcestruzzo".
- Eurocodice 3 "Progettazione delle strutture di acciaio".
- Eurocodice 8 "Progettazione delle strutture per la resistenza sismica".

SIGLA	REV	DESCRIZIONE	Data	Pag.	TOT.
	0	RELAZIONE DI VERIFICA A RIBALTAMENTO DEI TRACKER	<b>07/07/2022</b>	<b>2</b>	<b>11</b>

	<b>Impianto agrivoltaico con fotovoltaico a terra del tipo a inseguimento solare da ubicare nel Comune di Francavilla Fontana (Provincia di Brindisi)</b>  <b>Ditta Proponente: Francavilla 1 Solar s.r.l.</b>	
--	--	--

## **A.01.B RELAZIONE DI VERIFICA A RIBALTAMENTO DELLE STRUTTURE A SOSTEGNO DEI MODULI**

Le strutture di sostegno dei moduli fotovoltaici sono ad inseguimento monoassiale con asse di rotazione lungo la direttrice Nord – Sud e permettono al piano dei pannelli di seguire la rotazione del sole E-O.

Sarà utilizzata la seguente tipologia di strutture:

- struttura costituita da n° 3 campate sulle quali sono adagiati n° 30 pannelli disposti su due file. La larghezza complessiva di tale struttura mobile è pari a 5,00 m e lunghezza complessiva è pari a circa 20,00 ml.

I pannelli sono collegati, per mezzo di profilati trasversali, ad un'asse centrale che ruota attorno alla direttrice nord-sud grazie ad un dispositivo meccanico. L'asse orizzontale è posto ad una altezza pari a 3,50 m fuori terra, con un angolo di rotazione di +/- 60°, sfruttando così al meglio l'assorbimento dell'energia solare.

I pilastri di sostegno sono ammorsati nel terreno ad una profondità variabile in funzione delle caratteristiche meccaniche e litostratigrafiche dei terreni di fondazione.

I carichi dimensionanti sono quelli derivanti dalla combinazione delle azioni del vento incidente sulla struttura che provocano a livello fondale degli sforzi assiali sul montante. Il predimensionamento della profondità di infissione è soddisfatto se l'azione assiale esercitata dal vento è equilibrata dalle azioni tangenziali dovute al contatto con il terreno.

In fase di progettazione esecutiva sarà definita l'effettiva profondità di infissione (preliminarmente dimensionata nell'ordine di 2,5 – 3,0 m) atta a garantire l'equilibrio statico del sistema compatibile con le caratteristiche geomeccaniche del terreno di sedime, desumibili dalla relazione geologica.

Le modalità di ammorsamento di tali profilati variano dalla infissione (battitura) alla trivellazione. In alcuni casi le fondazioni potrebbero consistere anche in zavorre in c.a.

Comunque le innumerevoli applicazioni del fotovoltaico fanno sì che le strutture di supporto e sostegno dei moduli siano, per geometria e concezione, personalizzate per ogni singolo progetto.

SIGLA	REV	DESCRIZIONE	Data	Pag.	TOT.
	0	RELAZIONE DI VERIFICA A RIBALTAMENTO DEI TRACKER	<b>07/07/2022</b>	<b>3</b>	<b>11</b>

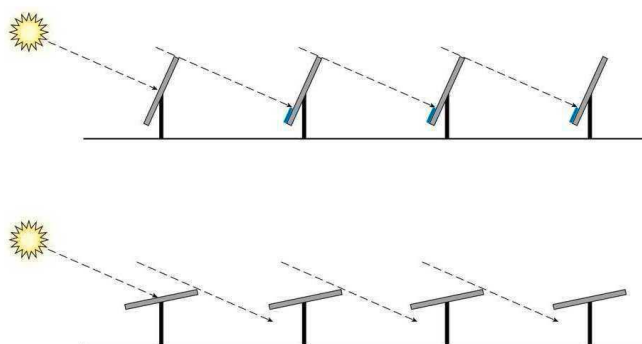
	<b>Impianto agrivoltaico con fotovoltaico a terra del tipo a inseguimento solare da ubicare nel Comune di Francavilla Fontana (Provincia di Brindisi)</b>  <b>Ditta Proponente: Francavilla 1 Solar s.r.l.</b>	
--	--	--

Qualunque sia la struttura di sostegno prescelta, quest'ultima deve essere in grado di reggere il proprio peso nonché di resistere alle sollecitazioni esercitate da fattori esterni quali:

- la neve, per esempio, può comportare sollecitazioni di carico dovute all'accumulo sulla superficie dei moduli;
- la pressione dovuta all'azione del vento agente sul piano dei moduli che si traduce in quel fenomeno chiamato "effetto vela".

Da non sottovalutare per esempio, nella scelta dei materiali, è anche l'eventualità della presenza di azioni corrosive sulle parti metalliche della struttura che ne pregiudicherebbero la stabilità nel tempo. Le Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC) di cui al decreto del Ministero delle infrastrutture e dei trasporti 17 gennaio 2018 e la CIRCOLARE 21 gennaio 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 stabiliscono i criteri per i carichi permanenti, carico d'esercizio, sovraccarico neve e azioni termiche, così come precedentemente elencato.

Tutti i componenti e le strutture saranno progettati in fase esecutiva per le condizioni ambientali specifiche dei siti in base alle normative locali e in base alle richieste tecniche inclusa l'ipotesi progettuale del carico del vento.



Il localizzatore orizzontale monoassiale ipotizzato, utilizza dispositivi elettromeccanici, che gli consentono di seguire il sole durante tutto il giorno da Est a Ovest sull'asse di rotazione orizzontale Nord-Sud (inclinazione 0°). I layout di campo con inseguitori monoasse orizzontali sono molto flessibili. La semplice geometria permette di mantenere tutti gli assi di rotazione paralleli l'uno all'altro in modo da posizionare opportunamente i tracker l'uno rispetto all'altro.

SIGLA	REV	DESCRIZIONE	Data	Pag.	TOT.
	0	RELAZIONE DI VERIFICA A RIBALTAMENTO DEI TRACKER	07/07/2022	4	11

	<b>Impianto agrivoltaico con fotovoltaico a terra del tipo a inseguimento solare da ubicare nel Comune di Francavilla Fontana (Provincia di Brindisi)</b>  <b>Ditta Proponente: Francavilla 1 Solar s.r.l.</b>	
--	--	--

Le azioni del vento sono state determinate in conformità al §3.3 del D.M. 17/01/18 e della Circolare del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti del 21 gennaio 2019 n. 7. Si precisa che tali azioni hanno valenza significativa in caso di strutture di elevata snellezza e con determinate caratteristiche tipologiche come ad esempio le strutture in acciaio.

Il vento, la cui direzione si considera generalmente orizzontale, esercita sulle costruzioni azioni che variano nel tempo e nello spazio provocando, in generale, effetti dinamici. Per le costruzioni usuali tali azioni sono convenzionalmente ricondotte a delle forze statiche equivalenti, calcolate come di seguito si riporta.

Le azioni statiche del vento sono costituite da pressioni e depressioni agenti normalmente alle superfici, sia esterne che interne, degli elementi che compongono la costruzione. L'azione del vento sul singolo elemento viene determinata considerando la combinazione più gravosa della pressione agente sulla superficie esterna e della pressione agente sulla superficie interna dell'elemento.

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

La pressione del vento è data dalla seguente espressione:

$$p = q_r \cdot c_e \cdot c_{pe}$$

dove:

- $q_r$  è la pressione cinetica di riferimento, valutata secondo il punto 3.3.6 del D.M. 17/01/2018;
- $c_e$  è il coefficiente di esposizione, valutata secondo il punto 3.3.7 del D.M. 17/01/2018;
- $c_{pe}$  è il coefficiente di pressione, funzione della tipologia e della geometria della costruzione e del suo orientamento rispetto alla direzione del vento. Il suo valore può essere ricavato da dati suffragati da opportuna documentazione o da prove sperimentali in galleria del vento;
- $cd$  è il coefficiente dinamico con cui si tiene conto degli effetti riduttivi associati alla non contemporaneità delle massime pressioni locali e degli effetti amplificativi dovuti alle vibrazioni strutturali, valutato secondo il punto 3.3.9. del DM 2018.

La pressione cinetica di riferimento  $q_r$  (in N/m<sup>2</sup>) è data dall'espressione:

SIGLA	REV	DESCRIZIONE	Data	Pag.	TOT.
	0	RELAZIONE DI VERIFICA A RIBALTAMENTO DEI TRACKER	<b>07/07/2022</b>	<b>5</b>	<b>11</b>

	<b>Impianto agrivoltaico con fotovoltaico a terra del tipo a inseguimento solare da ubicare nel Comune di Francavilla Fontana (Provincia di Brindisi)</b>  <b>Ditta Proponente: Francavilla 1 Solar s.r.l.</b>	
--	--	--

$$q_r = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_r^2$$

nella quale  $v_r$  è la velocità di riferimento del vento (in m/s) e  $\rho$  è la densità dell'aria assunta convenzionalmente costante e pari a 1,25 kg/m<sup>3</sup>.

La velocità di riferimento  $v_r$  è riferita al periodo di ritorno di progetto.

$$v_r = v_b \cdot c_r$$

Dove

- $v_b$  è la velocità base di riferimento di cui al par. 3.3.1 del D.M. 17/01/2018;
- $c_r$  è il coefficiente di ritorno funzione del periodo di ritorno  $T_R$ , in mancanza di specifiche indagini, è deducibile dalla seguente relazione:

$$c_r = 0.75 \sqrt{1 - 0.2 \cdot \ln \left[ -\ln \left( 1 - \frac{1}{T_R} \right) \right]}$$

La velocità di base di riferimento  $v_b$  è il valore medio su 10 minuti, misurata a 10 m dal suolo su un terreno con categoria di esposizione II, riferito ad un periodo di ritorno di 50 anni. In mancanza di adeguate indagini statistiche è data dall'espressione

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

Dove:

- $v_{b,0}$  è la velocità base al livello del mare, assegnata nella tab. 3.3.I del D.M. 17/01/2018 in funzione della zona della zona in cui sorge la costruzione;
- $c_a$  è il coefficiente di altitudine fornito dalla seguente relazione

$$c_a = 1 \quad \text{per } a_s \leq a_0$$

$$c_a = 1 + k_s (a_s/a_0 - 1) \quad \text{per } a_0 < a_s < 1500 \text{ m}$$

dove:

$a_0$ ,  $k_s$  sono riportati nella tabella tab. 3.3.I del D.M. 17/01/2018 in funzione della zona ove sorge la costruzione;  $a_s$  è l'altitudine sul livello del mare (in m s.l.m.) del sito ove sorge la costruzione.

SIGLA	REV	DESCRIZIONE	Data	Pag.	TOT.
	0	RELAZIONE DI VERIFICA A RIBALTAMENTO DEI TRACKER	07/07/2022	6	11

	<b>Impianto agrivoltaico con fotovoltaico a terra del tipo a inseguimento solare da ubicare nel Comune di Francavilla Fontana (Provincia di Brindisi)</b>  <b>Ditta Proponente: Francavilla 1 Solar s.r.l.</b>	
--	--	--

**Tab. 3.3.I -Valori dei parametri  $v_{b,0}$ ,  $a_0$ ,  $k_s$**

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

Nel caso in esame la zona di riferimento ha un'altitudine as inferiore a 170 m s.l.m. e, in riferimento alla tabella prima riportata ricade all'interno della zona 3; per cui risulta:

$$v_{b,0} = 27 \text{ m/s}$$

$$a_0 = 500 \text{ m}$$

$$k_s = 0,37.$$

Pertanto la velocità del vento associata al periodo di ritorno di progetto  $T_r = 50$  anni, per l'altezza del sito esaminato è pari a:

$$v_r = 27 \text{ m/s}$$

La pressione cinetica di riferimento  $q_r$  pertanto è:

$$q_r = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_r^2$$

$$q_r = 0,5 \times 1,25 \times 27^2 = 456 \text{ N/mq}$$

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 su cui sorge la costruzione.

SIGLA	REV	DESCRIZIONE	Data	Pag.	TOT.
	0	RELAZIONE DI VERIFICA A RIBALTAMENTO DEI TRACKER	07/07/2022	7	11



	<b>Impianto agrivoltaico con fotovoltaico a terra del tipo a inseguimento solare da ubicare nel Comune di Francavilla Fontana (Provincia di Brindisi)</b>  <b>Ditta Proponente: Francavilla 1 Solar s.r.l.</b>	
--	--	--

In assenza di analisi specifiche che tengano in conto la direzione di provenienza del vento e l'effettiva scabrezza e topografia del terreno che circonda la costruzione, per altezze sul suolo non maggiori di  $z = 200$  m, esso è dato dalla formula:

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

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

Dove  $k_r$ ,  $z_0$  e  $z_{\min}$  sono forniti dalle tabelle indicate nelle figure seguenti e sono legate alla categoria del sito dove sorge la costruzione; mentre il valore di  $c_t$  è il coefficiente di topografia assunto normalmente pari ad 1.

SIGLA	REV	DESCRIZIONE	Data	Pag.	TOT.
	0	RELAZIONE DI VERIFICA A RIBALTAMENTO DEI TRACKER	<b>07/07/2022</b>	<b>8</b>	<b>11</b>

	<b>Impianto agrivoltaico con fotovoltaico a terra del tipo a inseguimento solare da ubicare nel Comune di Francavilla Fontana (Provincia di Brindisi)</b>  <b>Ditta Proponente: Francavilla 1 Solar s.r.l.</b>	
--	--	--

Classe di rugosità del terreno	Descrizione
A	Aree urbane in cui almeno il 15% della superficie sia coperto da edifici la cui altezza media superi i 15 m
B	Aree urbane (non di classe A), suburbane, industriali e boschive
C	Aree con ostacoli diffusi (alberi, case, muri, recinzioni,...); aree con rugosità non riconducibile alle classi A, B, D
<b>D</b>	a) Mare e relativa fascia costiera (entro 2 km dalla costa); b) Lago (con larghezza massima pari ad almeno 1 km) e relativa fascia costiera (entro 1 km dalla costa) c) Aree prive di ostacoli o con al più rari ostacoli isolati (aperta campagna, aeroporti, aree agricole, pascoli, zone paludose o sabbiose, superfici innevate o ghiacciate, ....)

L'assegnazione della classe di rugosità non dipende dalla conformazione orografica e topografica del terreno. Si può assumere che il sito appartenga alla Classe A o B, purché la costruzione si trovi nell'area relativa per non meno di 1 km e comunque per non meno di 20 volte l'altezza della costruzione, per tutti i settori di provenienza del vento ampi almeno 30°. Si deve assumere che il sito appartenga alla Classe D, qualora la costruzione sorga nelle aree indicate con le lettere a) o b), oppure entro un raggio di 1 km da essa vi sia un settore ampio 30°, dove il 90% del terreno sia del tipo indicato con la lettera c). Laddove sussistano dubbi sulla scelta della classe di rugosità, si deve assegnare la classe più sfavorevole (l'azione del vento è in genere minima in Classe A e massima in Classe D).

#### Classe di rugosità del terreno

ZONE 1,2,3,4,5	
A	-- IV IV V V V
B	-- III III IV IV IV
C	-- * III III IV IV
D	I II <b>II</b> II III **
* Categoria II in zona 1,2,3,4 Categoria III in zona 5 ** Categoria III in zona 2,3,4,5 Categoria IV in zona 1	

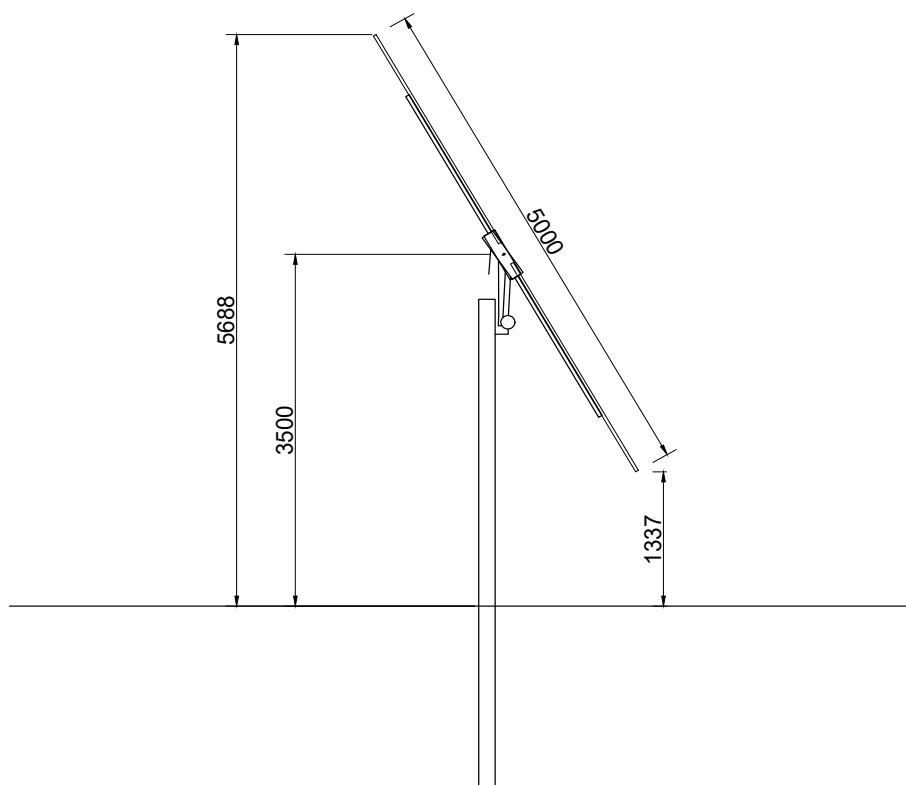
#### Definizione delle categorie di esposizione

Categoria di esposizione del sito	$k_t$	$z_0$ [m]	$z_{min}$ [m]
I	0,17	0,01	2
<b>II</b>	0,19	0,05	4
III	0,20	0,10	5
IV	0,22	0,30	8
V	0,23	0,70	12

#### Parametri per la definizione del coefficiente di esposizione

SIGLA	REV	DESCRIZIONE	Data	Pag.	TOT.
	0	RELAZIONE DI VERIFICA A RIBALTAMENTO DEI TRACKER	07/07/2022	9	11

	<b>Impianto agrivoltaico con fotovoltaico a terra del tipo a inseguimento solare da ubicare nel Comune di Francavilla Fontana (Provincia di Brindisi)</b>  <b>Ditta Proponente: Francavilla 1 Solar s.r.l.</b>	
--	--	--



Particolare sezione tracker

Il coefficiente di esposizione  $C_e$ , per il caso in esame in cui  $z_{max}=5,69m$  si assume:

$$C_e(z_{min}) = k_r^2 c_t \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) \left[7 + c_t \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)\right] = 0,19^2 \ln\left(\frac{5,69}{0,05}\right) \left[7 + \ln\left(\frac{5,69}{0,05}\right)\right] = 2,00 \frac{kN}{m^2}$$

Il coefficiente dinamico  $c_d$ , con cui si considerano gli effetti riduttivi associati alla non contemporaneità delle massime pressioni locali e degli effetti amplificativi dovuti alle vibrazioni strutturali, si assume pari ad 1.

I limiti di velocità del vento sono:

- Resistenza al vento fino a 72 km / h valida per qualsiasi posizione di lavoro ( $\pm 60^\circ$ )

SIGLA	REV	DESCRIZIONE	Data	Pag.	TOT.
	0	RELAZIONE DI VERIFICA A RIBALTAMENTO DEI TRACKER	07/07/2022	10	11

	<b>Impianto agrivoltaico con fotovoltaico a terra del tipo a inseguimento solare da ubicare nel Comune di Francavilla Fontana (Provincia di Brindisi)</b>  <b>Ditta Proponente: Francavilla 1 Solar s.r.l.</b>	
--	--	--

- Resistenza al vento fino a 120 km / h in posizione riposta nel caso di posizionamento automatico di 15 ° per superfici più piccole.
- Velocità del vento per attivare il meccanismo di difesa: 60 km / h
- Tempo di andare da 60 ° a 0 ° di inclinazione: 100 sec.

Tutti i valori relativi alla resistenza al vento o al meccanismo di difesa devono essere considerati come valori minimi. I valori di impostazione effettivi saranno conformi alle Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC 2018).

SIGLA	REV	DESCRIZIONE	Data	Pag.	TOT.
	0	RELAZIONE DI VERIFICA A RIBALTAMENTO DEI TRACKER	<b>07/07/2022</b>	<b>11</b>	<b>11</b>