

REGIONE: PUGLIA

PROVINCIA: LECCE

COMUNE: NARDO'

ELABORATO:

STRU-03

OGGETTO:

**PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO
FOTOVOLTAICO DA 96,8 MWp ED ISOLE VERDI**

PROGETTO DEFINITIVO

**Verifica al ribaltamento sotto l'azione del
vento**

PROPONENTE:

NARDO' SOLAR ENERGY S.R.L.

Corso Monforte, 2
20122 - Milano

nardosolarenergy@legalmail.it

ing. Massimo CANDEO

Ordine Ing. Bari n° 3755
Via Canello Rotto, 3
70125 Bari
m.candeo@pec.it

ing. Gabriele CONVERSANO

Ordine Ing. Bari n° 8884
Via Michele Garruba 3
70122 Bari
gabrieleconversano@pec.it

Collaborazione:

Ing. Antonio CAMPANALE

Ord. Ing.ri Bari n° 11123

Note:

Marzo 2023	0	Revisione	Ing. Antonio Campanale Ing. Gabriele Conversano	ing. Massimo Candeo
Maggio 2021	0	Emissione	Ing. Antonio Campanale Ing. Gabriele Conversano	ing. Massimo Candeo
DATA	REV	DESCRIZIONE	ELABORATO da:	APPROVATO da:

PROPRIETÀ ESCLUSIVA DELLE SOCIETÀ SOPRA INDICATE,
UTILIZZO E DUPLICAZIONE VIETATE SENZA AUTORIZZAZIONE SCRITTA

Sommario

1. GENERALITA'	3
2. VERIFICA A RIBALTAMENTO SU AZIONE DEL VENTO	5

1. GENERALITA'

La presente relazione di "Verifica al ribaltamento alle strutture" intende fornire una descrizione specialistica dell'azione del vento sulle strutture dell'impianto fotovoltaico della potenza nominale in DC di 96,828 MW e potenza in AC di 100 MW, proposto dalla società NARDO' SOLAR ENERGY S.R.L. ed ubicato nelle vicinanze della SP115 in agro del Comune di Nardò (LE) e delle relative opere di connessione alla Rete di Trasmissione dell'energia elettrica Nazionale (RTN) necessarie per il trasporto dell'energia prodotta.

La cessione dell'energia prodotta dall'impianto fotovoltaico alla RTN avverrà con collegamento dello stesso alla Stazione Elettrica Terna di futura realizzazione in agro di Nardò (LE).

Tale connessione prevede la costruzione di un cavidotto interrato in media tensione che dalle aree di ubicazione delle centrali fotovoltaiche, giungerà su una nuova Stazione Elettrica di Trasformazione Utente 30/150 KV, collegata tramite stallo all'interno della Stazione Elettrica Terna di nuova realizzazione di Nardò (LE).

La stazione di elevazione 30/150 kV avrà ubicazione in un'area nella disponibilità della società proponente.

Tutta l'energia elettrica prodotta da fonte rinnovabile sarà trasmessa tramite RTN, secondo condizioni e leggi definite da ARERA (Autorità di Regolazione per l'Energia Reti e Ambiente).

Nonostante negli ultimi anni in Italia, la realizzazione di grandi impianti fotovoltaici sia stata rallentata, nell'ultimo periodo si è riscontrata una maggiore spinta ed iniziativa alla realizzazione di iniziative green, come la realizzazione di Impianti fotovoltaici, eolici e a biomassa di grande dimensioni, che garantiscano un grande apporto energetico al network italiano. In particolare, la presenza di grandi investitori e società proponenti con grandi capitali, ha concesso la possibilità di realizzare impianti di grossa taglia, che permettano la produzione di energia elettrica derivante da fonte rinnovabile 100% green, ma soprattutto molto più conveniente dal punto di vista economico. Il 2020 ha infatti visto un vistoso calo del costo dell'energia prodotta da fonte rinnovabile.

Inoltre l'Italia, aderendo alle politiche Europee di transizione energetica, con gli obiettivi fissati al 2030 ed al 2050, non può far altro che investire nella politica del "New Green Deal" voluto dall'UE.

Grazie all'applicazione dell'energia prodotta da fonte solare, si ottengono i seguenti benefici:

Produzione di energia elettrica senza immissione di sostanze inquinanti e conseguente risparmio di CO₂ prodotta;

Nessun inquinamento dal punto di vista acustico;

Un tasso di occupazione del suolo relativamente basso, grazie alla tipologia di installazione delle strutture fotovoltaiche e la possibilità di integrare sempre più progetti agricoli sperimentali, che consentano ai coltivatori diretti non solo di continuare senza alcun problema le loro attività agricole, ma anche produrre energia pulita a buon mercato.

Soluzioni integrate di progettazione con il paesaggio, inserendo in modo ottimale e con il minimo impatto visivo tali impianti solari.

2. VERIFICA A RIBALTAMENTO SU AZIONE DEL VENTO

Il procedimento di verifica a ribaltamento su azione del vento viene calcolato sulla base delle indicazioni e dei coefficienti maggiorativi e peggiorativi presenti all'interno delle NTC 2018.

Il vento ha generalmente una azione dinamica orizzontale sulle strutture e a causa della tipologia di esse potrebbe generare un momento ribaltante, sfilando i tiranti in acciaio infissi nel terreno, data la grande superficie pannellata delle strutture metalliche.

In condizioni standard è possibile ricostruire delle azioni statiche equivalenti , costituite da pressioni e depressioni agenti perpendicolari alle superfici delle costruzioni.

In riferimento all'ubicazione del sito posto a quota 36 m s.l.m., è possibile ricavare la velocità del vento dalle NTC 2018.

Zona Vento	$V_{b,0}$ (m/s)	a_0 (m/s)	K_A (1/s)
3	27	500	0,020

Dove, nella zona vento 3 rientra l'intera Puglia, $V_{b,0}$ è la velocità alla base di riferimento, a_0 , k_s sono parametri forniti in funzione della zona in cui sorge la costruzione.

Categoria di esposizione	K	Z_0 (m)	Z_{min} (m)
2	0,19	0,05	4

Dove tali parametri sono assegnati tabellati all'interno delle NTC 2018 per la corrispondente categoria di esposizione 2.

ZONE 1,2,3,4,5						
	costa	mare	2 km	10 km	30 km	500m
A	--	IV	IV	V	V	V
B	--	III	III	IV	IV	IV
C	--	*	III	III	IV	IV
D	I	II	II	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						

Tab. 3.3.III - *Classi di rugosità del terreno*

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
D	<p>a) Mare e relativa fascia costiera (entro 2 km dalla costa);</p> <p>b) Lago (con larghezza massima pari ad almeno 1 km) e relativa fascia costiera (entro 1 km dalla costa)</p> <p>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,)</p>

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).



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

Si considereranno tali dati altimetrici e parametrici.

Altitudine (a_s)	36 m s.l.m.
Distanza dalla costa	Terra - tra 10 e 30 km dalla costa con altitudine < 500 m s.l.m.
Classe di Rugosità terreno	D
Altezza Manufatto (h)	3,44 m

Il tempo di ritorno dove non specificato si impone pari a 50 anni.

Per velocità base di riferimento V_b , si intende il valore medio su eventi ventosi di durata di 10 minuti, ad una quota di 10 m di altezza da piano campagna omogeneo di categoria di esposizione II, con un tempo di ritorno fissato pari a 50 anni.

$$V_b = V_{b,0} \times C_a$$

$C_a = 1$ per a_s

$C_a = 1 + K_s(a_s/a_0)$ per $a_s > a_0$

V_b è un valore tabellato nelle NTC 2018 in funzione della quota e della distanza dal livello del mare.

C_a è il coefficiente di altitudine.

Ne consegue:

$$a_s \leq a_0 \rightarrow C_a = 1 \rightarrow V_b = V_{b,0} \rightarrow V_b = 27 \text{ m/s}$$

Per V_r , velocità di riferimento si intende il valore medio su un arco temporale di 10 minuti, ad una quota di 10 m di altezza rispetto al suolo pianeggiante e di conformazione omogenea di categoria di esposizione II, riferito al tempo di ritorno di progetto (50 anni).

$$V_r = V_b \times C_r$$

Dove V_b è la velocità base di riferimento, e C_r è il coefficiente di ritorno, funzione del tempo di ritorno (posto pari a 50 anni da progetto).

$$C_{r=0,75} = \sqrt{1 - 0,2 \ln[\ln(1 - \frac{1}{T_R})]}$$

Per un tempo di ritorno fissato pari a 50 anni il valore di $C_R = 1,00073378$;

Ne consegue che $V_r = V_b(T_R) = 27,020 \text{ m/s}$.

Date le azioni applicate sulle strutture, si considerano, come da normativa i seguenti coefficienti:

Coefficiente dinamico	$C_d = 1,00$
Coefficiente di forma	$C_p = 0,80$
Coefficiente di attrito	$C_f = 0,01$
Coefficiente di topografia	$C_t = 1,00$
Coefficiente di esposizione	$C_e = C_e(z)$

Il coefficiente di esposizione sarà in funzione dell'altezza z sul suolo del punto considerato, dalla topografia del terreno, della categoria di esposizione del sito della costruzione.

$$C_e = k_z^2 C_t \ln \frac{z}{z_0} [7 + C_t \ln \frac{z}{z_0}] \quad \text{per } z \geq z_{\min}$$

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

Quindi rientrando nella seconda casistica, ovvero, $z < z_{\min} \rightarrow C_e(z) = 1,68$

A tal punto è possibile calcolare la pressione del vento sulla singola struttura. Le azioni del vento vengono considerate come pressioni positive e negative (depressioni) agenti su di essa.

$$p = q_b C_e C_p C_d = 613,44 \text{ Pa}$$

$$\text{dove } q_b = \frac{1}{2} \rho v_r^2 \quad (\text{pressione cinetica di riferimento})$$

Ponendo la densità dell'aria $\rho = 1,25 \text{ Kg/m}^3$.

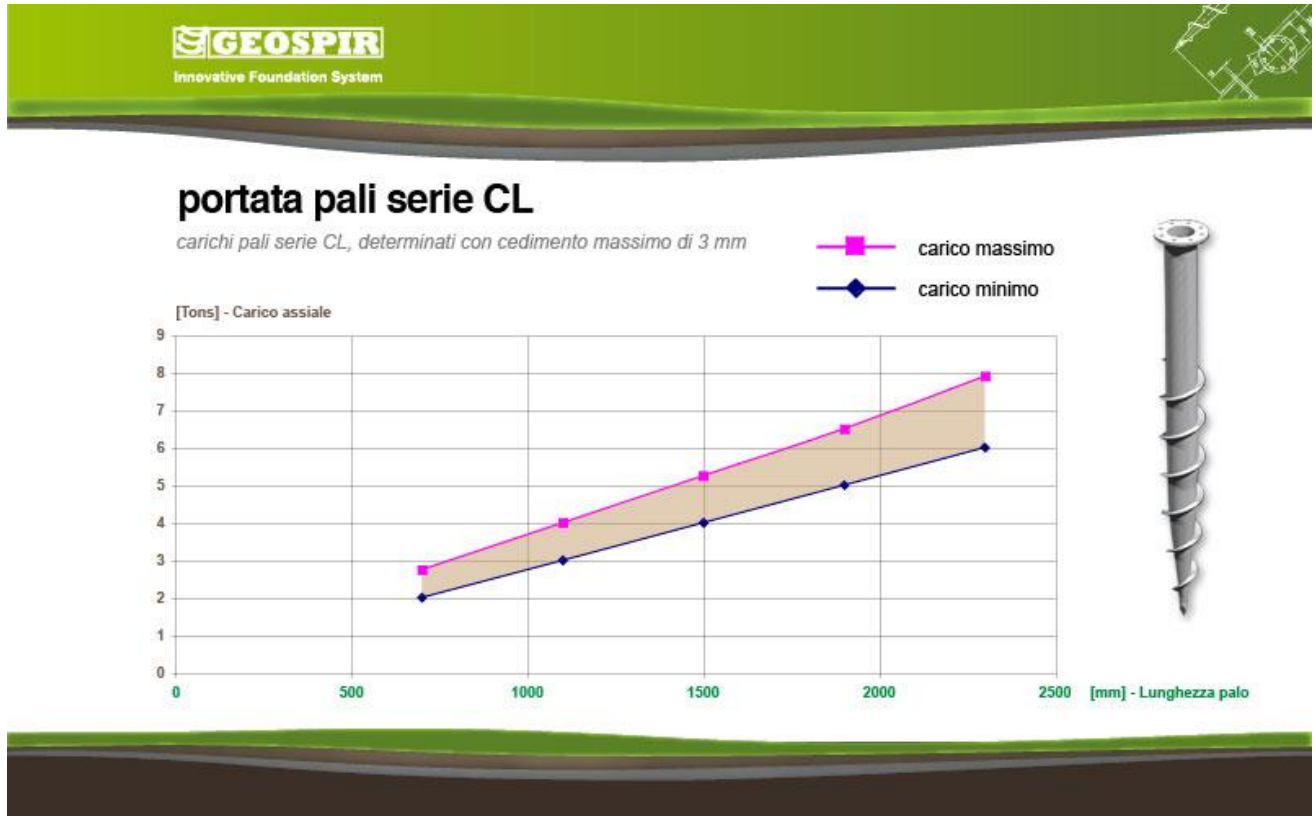
L'azione tangente del vento per unità di superficie parallela alla direzione del vento sarà pari a:

$$p = q_b C_e C_f = 7,67 \text{ Pa}$$

L'azione del vento in tale situazione viene considerata come un carico orizzontale statico diretto perpendicolarmente all'asse dell'oggetto di modellazione e/o nelle direzioni più sfavorevoli, ai fini di un calcolo a vantaggio di sicurezza.

Quindi come azione del vento sulla struttura si considera una pressione P , perpendicolare alla struttura, pari a 613,44 Pa.

Per il calcolo delle forze resistenti al ribaltamento, essendo la struttura ad infissione semplice nel terreno tramite infissione a vite, si considera la forza T resistente allo sfilamento dei montanti.



Considerando gli abachi commerciali forniti dal produttore del sistema di T-Block è possibile osservare che per una profondità di infissione pari a 1100 mm, il carico minimo corrispondente sarà pari a circa 3000 Kg.

$$T = 3.000 \text{ kg}$$

$$F = (657,26 \text{ Pa} * 4,92 \text{ m} * 4,646 \text{ m} / 9,8 \text{ m/s}^2) = 1.533,047 \text{ kg};$$

La prima verifica allo sfilamento risulta soddisfatta in quanto $F > T$.

A tal punto è possibile fare una verifica di equilibrio al ribaltamento applicando le combinazioni di carico EQU indicate da NTC 2018.

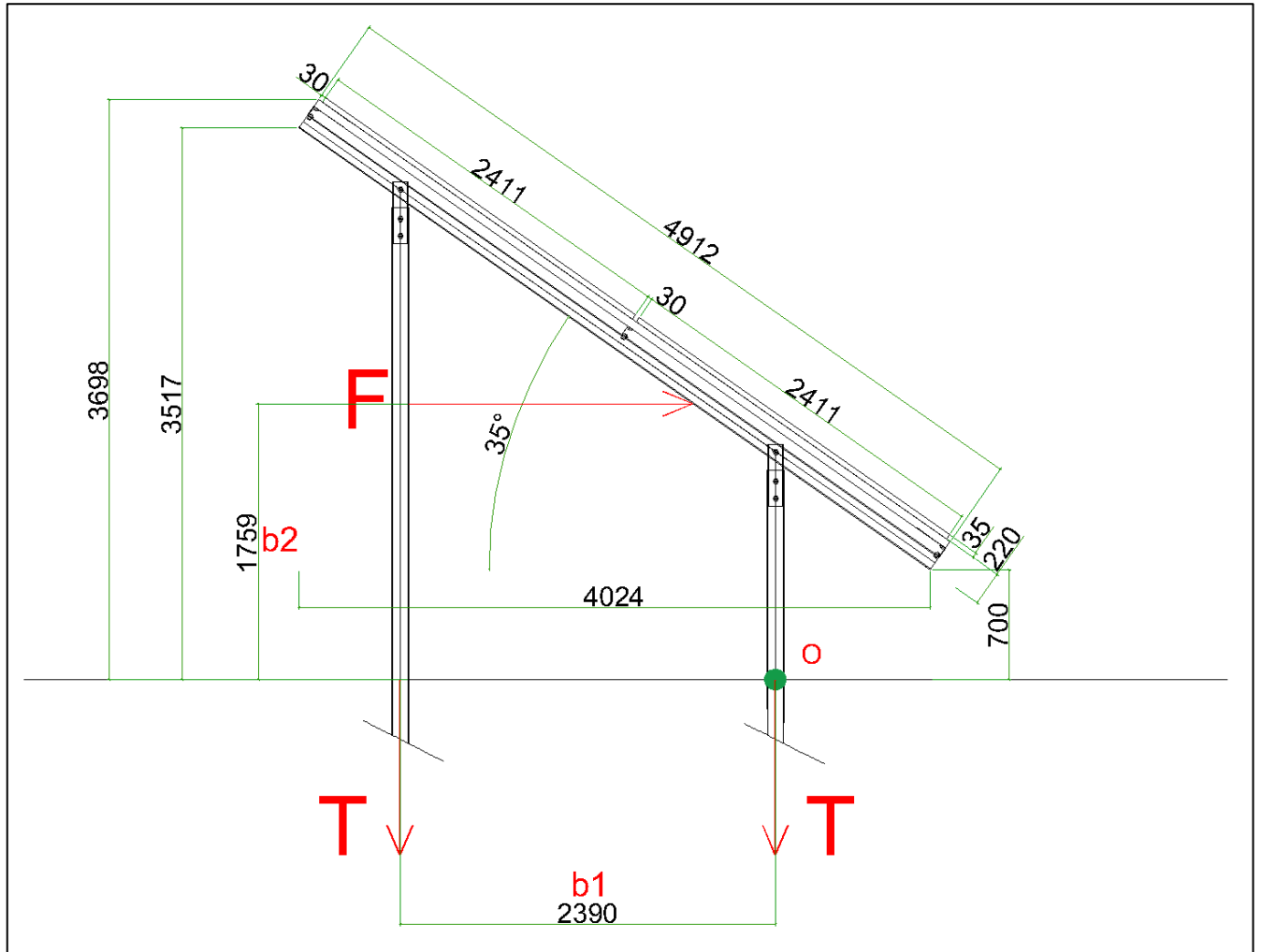


Figura: Schema di ribaltamento della struttura

Si considerino dunque le forze F e T in Newton:

$$T = 3.000 \text{ Kg} * 9,8 \text{ m/s}^2 = 29.400,00 \text{ N};$$

$$F = 1.533,047 \text{ Kg} * 9,8 \text{ m/s}^2 = 15.023,86 \text{ N};$$

Si applicano dunque I momenti corrispondenti, fissando il polo O, in corrispondenza della base anteriore della struttura metallica.

Considerando i coefficienti moltiplicativi indicati nelle tabelle delle NTC per le verifiche a ribaltamento SLU, si usano:

$$EQU = 1.5 \text{ per le azioni variabili sfavorevoli}$$

$$EQU = 0.9 \text{ per le azioni permanenti favorevoli}$$

Quindi :

$$M = F * b2 * EQU = 15.023,86 \text{ N} * 1,759 \text{ m} * 1,5 = 39.640,45 \text{ Nm};$$

$$M_R = T * b1 * EQU = 29400 \text{ N} * 2,39 \text{ m} * 0,9 = 63239,4 \text{ Nm};$$

Il momento resistente risulta essere nettamente maggiore di quello prodotto dalla forza del vento e pertanto la verifica a ribaltamento a vento risulta essere soddisfatta.