



PROGETTO DI COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN  
IMPIANTO FOTOVOLTAICO DELLA POTENZA DI 10,002  
MW<sub>P</sub> DA REALIZZARSI NEL COMUNE DI GONNESA (SU),  
CON LE RELATIVE OPERE DI CONNESSIONE ELETTRICHE  
DENOMINATO “GENERE”

CALCOLO DELLE OPERE DI FONDAZIONE

Rev. 0.0

Data: 28 NOVEMBRE 2022

PV015-DOC011A

Committente:

**Ecosardinia 2 S.r.l.**

Via Manzoni, 30

20121 MILANO (MI)

C. F. e P. IVA: 11117500964

PEC: ecosardinia2srl@legalmail.it

Incaricato:

**Queequeg Renewables, Ltd**

Unit 3.03, 1110 Great West Road

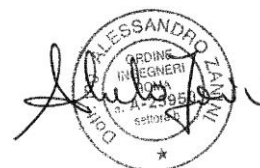
TW80GP London (UK)

Company number: 111780524

email: [mail@quenter.co.uk](mailto:mail@quenter.co.uk)

Progettista:

ing. Alessandro Zanini





## SOMMARIO

1. Premessa	3
2. Normativa di riferimento	3
3. Descrizione delle opere	4
4. Terreno di fondazione	4
5. Azioni di calcolo	5
6. Verifica	8
7. Conclusioni	9

## 1. PREMESSA

Con la presente relazione di Calcolo si vogliono dimensionare le opere di fondazione degli inseguitori monoassiali, nell'ambito dell'intervento di realizzazione di una centrale fotovoltaica per la produzione di energia elettrica.

L'intervento è localizzato nel territorio del Comune di Gonnese, nella provincia del Sud Sardegna.

Dato il carattere preliminare della presente, si valutano le azioni prodotte e trasmesse dall'elevazione al fine di verificare le opere fondali.

## 2. 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".*

Inoltre, in mancanza di specifiche indicazioni, ad integrazione della norma precedente e per quanto con esse non in contrasto, sono state utilizzate le indicazioni contenute nelle seguenti norme:

**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.

**Eurocodice 3** - *"Progettazione delle strutture in acciaio"* - EN 1993-1-1.

### 3. DESCRIZIONE DELLE OPERE

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

I pannelli sono 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 variabile e funzione dei moduli, della posizione e del terreno. Quello massimo di riferimento nell'analisi è per gli inseguitori a quattro stringhe ed è pari a circa 8.50 metri. La larghezza del singolo modulo invece risulta costante ed è pari a 2,176 m (due moduli 4,40 m). L'impalcato così costituito è impostato sui correnti di supporto a un'altezza pari a 2.30 metri. Tali supporti sono costituiti da profili metallici verticali in acciaio presso-piegato a "C". Nel caso in oggetto il profilo verticale ha dimensioni 200x80.

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

### 4. TERRENO DI FONDAZIONE

L'importanza del terreno per le analisi in oggetto 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 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:

$$N_{spt} = 32$$

Conseguentemente:

$$\tau_s = 64 \text{ kPa}$$

## 5. AZIONI DI CALCOLO

Un'accurata valutazione dei carichi è un requisito imprescindibile di una corretta progettazione.

La valutazione dei carichi e dei sovraccarichi è stata eseguita in accordo con le disposizioni del punto 3.1 del D.M. 2018. In particolare, è stato fatto utile 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, rispettivamente.

La valutazione dei carichi permanenti è effettuata sulle dimensioni date.

Peso dei pannelli:

$$q = 11.0 \text{ kg/m}^2;$$

Peso delle strutture di sostegno:

$$q = 7.0 \text{ kg/m}^2;$$

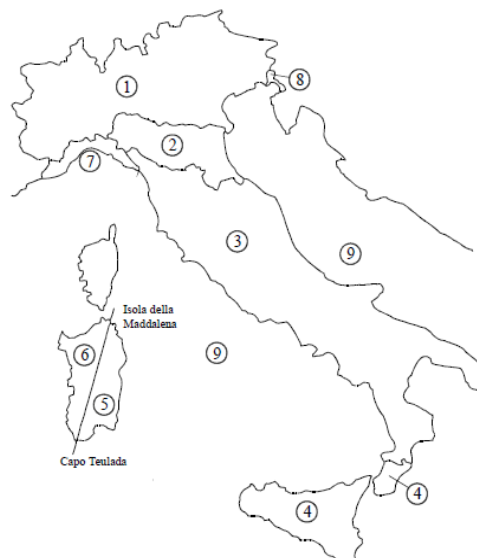
Azione del vento:

Per il sito in oggetto, ai sensi delle indicazioni normative sotto riportate, si considera:

Zona: 6;

Categoria di esposizione del sito: I;

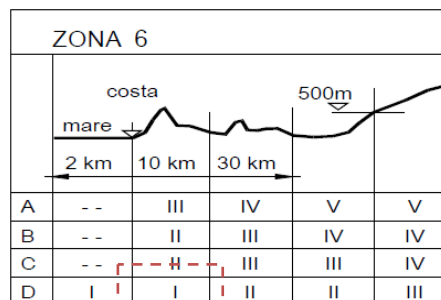
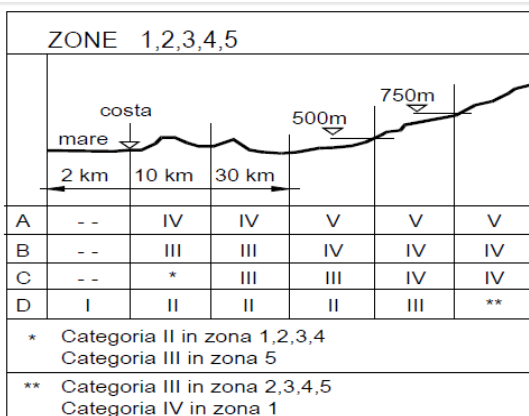
Classe di rugosità: D;



Zona	Descrizione	$v_{b,0}$ [m/s]	$a_0$ [m]	$k_a$ [1/s]
1	Valle d'Aosta, Piemonte, Lombardia, Trentino Alto Adige, Veneto, Friuli Venezia Giulia (con l'eccezione della provincia di Trieste)	25	1000	0,010
2	Emilia Romagna	25	750	0,015
3	Toscana, Marche, Umbria, Lazio, Abruzzo, Molise, Puglia, Campania, Basilicata, Calabria (esclusa la provincia di Reggio Calabria)	27	500	0,020
4	Sicilia e provincia di Reggio Calabria	28	500	0,020
5	Sardegna (zona a oriente della retta congiungente Capo Teulada con l'Isola di Maddalena)	28	750	0,015
6	Sardegna (zona a occidente della retta congiungente Capo Teulada con l'Isola di Maddalena)	28	500	0,020
7	Liguria	28	1000	0,015
8	Provincia di Trieste	30	1500	0,010
9	Isole (con l'eccezione di Sicilia e Sardegna) e mare aperto	31	500	0,020

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 15m
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	Aree prive di ostacoli (aperta campagna, aeroporti, aree agricole, pascoli, zone paludose o sabbiose, superfici innevate o ghiacciate, mare, laghi,...)

L'assegnazione della classe di rugosità non dipende dalla conformazione orografica e topografica del terreno. Affinche una costruzione possa dirsi ubicata in classe A o B è necessario che la situazione che contraddistingue la classe permanga intorno alla costruzione per non meno di 1 km e comunque non meno di 20 volte l'altezza della costruzione. Laddove sussistano dubbi sulla scelta della classe di rugosità, a meno di analisi dettagliate, verrà assegnata la classe più sfavorevole.



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

Da quanto sopra si ottiene:

$$p = q_r * c_e * c_f * c_d;$$

con:

$$q_r = 490 \text{ N/m}^2;$$

$$c_d = 1;$$

$$c_f = 2.4;$$

$$c_e = 2.25;$$

$$p = 265 \text{ kg/m}^2.$$

#### Azione del sisma:

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

Come anticipato in precedenza, data la preponderanza dell'azione del vento rispetto a quella del sisma, pertanto si trascurano le relative azioni orizzontali.

#### Neve:

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



## 6. VERIFICA

Con specifico riferimento a quanto precedentemente indicato, in relazione a carichi, resistenze, geometria e metodologia di calcolo, di seguito si riporta la verifica della fondazione dei supporti di impianto.

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

Si ha:

### Geometria:

Interasse montanti:	$I = 8.50 \text{ m};$
Larghezza esposizione moduli:	$L = 4.40 \text{ m};$
Superficie esposta al vento:	$S = 37.40 \text{ m}^2;$

### Azione risultante sul montante:

Azione del vento:	$F_v = 9924 \text{ kg};$
Carichi permanenti:	$F_p = 673 \text{ kg};$

Applicando i coefficienti di normativa l'azione verticale di sfilamento sulla fondazione per un angolo di  $55^\circ$  sarà:

$$S = 7938 \text{ kg.}$$

### Azione resistente sul montante:

Tensione massima tangenziale:	$\tau_s = 0.64 \text{ kg/cm}^2;$
Superficie di attrito equivalente:	$S_a = 56 \text{ cm}^2/\text{cm.}$

L'analisi di equilibrio comprensiva dei coefficienti amplificativi e/o di sicurezza di normativa porta alla valutazione della lunghezza minima di infissione per i montanti dei moduli esposti direttamente all'azione del vento:

$$L_{\min} = 2.56 \text{ m.}$$

E di:

$$L_{\min} = 2.00 \text{ m.}$$

Per i montanti delle file intermedie.

## 7. CONCLUSIONI

Alla luce di quanto esposto nei capitoli precedenti è possibile osservare e concludere quanto di seguito:

- la presente ha per oggetto la verifica delle fondazioni delle strutture portanti dei moduli dell'impianto. L'intervento prevede il posizionamento di moduli inseguitori per la produzione di energia fotovoltaica, su supporti in carpenteria metallica. I supporti sono vincolati al suolo per "infissione" dei montanti verticali;
- la natura preliminare della trattazione ha portato a definire le condizioni al contorno adottate nelle analisi e nelle verifiche come riportate da riferimenti bibliografici, pratiche di ingegneria usuali per interventi simili, conoscenza dello stato di fatto dei luoghi e metodologie adeguate a tale natura. Resta inteso che nei successivi gradi di progettazione (definitivo ed esecutivo) tali condizioni dovranno essere verificate ed approfondite conformemente ai successivi livelli di indagine;
- secondo tali ipotesi è stata confermata la possibilità di realizzare il vincolo per infissione dei profili metallici, tipologia di intervento poco invasiva ed interamente recuperabile. La lunghezza di infissione prevista in questa fase ( $L_{min} = 2.55 \text{ m}$  per i montanti della prima fila e  $L_{min} = 2.00 \text{ m}$  per le file intermedie) potrà eventualmente variare con l'approfondimento delle indagini volte a determinare le caratteristiche del terreno;
- In conclusione, si ritiene che la fattibilità delle opere previste, da un punto di vista statico, operativo, funzionale e con riferimento all'interazione con il sito di intervento, sia garantita alla luce degli elementi attualmente a disposizione.