

Proponente

**GONNOSFANADIGA LTD**

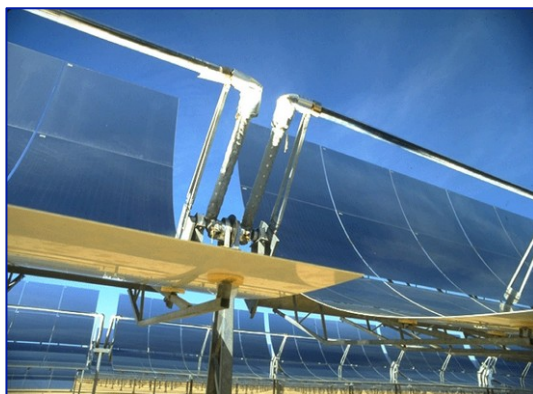
**GONNOSFANADIGA LIMITED**

Sede Legale: Bow Road 221 - Londra - Regno Unito  
Filiale Italiana: Corso Umberto I, 08015 Macomer (NU)

**Provincia del Medio-Campidano  
Comuni di Gonnosfanadiga e Villacidro**

Nome progetto

**Impianto Solare Termodinamico della potenza lorda di  
55 MWe denominato "GONNOSFANADIGA"**



**VALUTAZIONE DI IMPATTO AMBIENTALE**

Titolo Documento:

**RELAZIONE DI CALCOLO DELLE FONDAZIONI PRINCIPALI**

Sviluppo:



**Energogreen Renewables S.r.l.**

Via E. Fermi 19, 62010 Pollenza (MC)

[www.energogreen.com](http://www.energogreen.com)

e-mail: [info@energogreen.com](mailto:info@energogreen.com)

Rev.	Data	Descrizione	Codice di Riferimento
0	01/2015	Emissione per integrazioni procedura di VIA	<b>GN_RELCALCFOND001</b>
Proprietà e diritti del presente documento sono riservati - la riproduzione è vietata			

**Gruppo di lavoro Energogreen Renewables:**




*Energogreen Renewables Srl*  
*Via E. Fermi, 19 - 62010 - Pollenza (MC)*

1. *Dott. Ing. Cecilia Bubbolini*
2. *Dott. Ing. Loretta Maccari*
3. *Dott. Ing. Devis Bozzi*

**Consulenza Esterna:**

- *Dott. Arch. Luciano Viridis: Analisi Territoriale*
- *Dott. Manuel Floris: "Rapporto Tecnico di Analisi delle Misure di DNI - Sito Gonnosfanadiga (VS)"*
- *Dott. Agr. Vincenzo Satta: "Relazioni su Flora, Vegetazione, Pedologia e Uso del Suolo"*
- *Dott. Agr. Vincenzo Sechi: "Relazione faunistica"*
- *Dott. Agr. V. Satta e Dott. Agr. V. Sechi: "Relazione Agronomica"*
- *Dott. Geol. Eugenio Pistolesi: "Indagine Geologica Preliminare di Fattibilità"*
- *Studio Associato Ingg. Deffenu e Lostia: "Documento di Previsione d'Impatto Acustico"*
- *Dott. Arch. Leonardo Annessi: Rendering e Fotoinserimenti*
- *Tecsa s.r.l.: "Rapporto Preliminare di Sicurezza"*
- *Enviroware srl, Dott. Roberto Bellasio: "Studio d'impatto atmosferico dei riscaldatori ausiliari dell'impianto solare termodinamico "Gonnosfanadiga"*
- *Geotechna srl: "Relazione Geologica e Geotecnica"*
- *Progetto Engineering srl: "Progetto elettrico definitivo"*

<b>GONNOSFANADIGA LTD</b>	Impianto Solare Termodinamico da 55 MWe "GONNOSFANADIGA"	
	Relazione di calcolo delle fondazioni principali	

**INDICE**

**1. PREMESSA .....3**

**2. CARATTERISTICHE DEL TERRENO .....4**

    2.1. PREMESSA..... 4

    2.2. LITOSTRATIGRAFIA LOCALE .....4

    2.3. IDROGEOLOGIA LOCALE ..... 6

**3. FONDAZIONI .....7**

    3.1. FONDAZIONI DEL CAMPO SOLARE .....7

        3.1.1. *Carichi* ..... 9

        3.1.2. *Parametri del Terreno* ..... 11

        3.1.3. *Risultati*..... 11

    3.2. FONDAZIONI DELLA POWER-BLOCK.....14

        3.2.1. *Serbatoi dei Sali Fusi* ..... 14

        3.2.2. *Turbina a Vapore* ..... 17

            3.2.2.1. Prerequisiti..... 17

            3.2.2.2. Controllo delle pressioni di appoggio..... 18


**4. DISMISSIONE DELLE OPERE DI FONDAZIONE .....21**

**5. STIMA DEGLI IMPATTI GENERATI DELLE OPERE DI FONDAZIONE.....24**

    5.1. FONDAZIONI DEL CAMPO SOLARE .....24

        5.1.1. *Fondazioni della Power-block*..... 25

**6. ALLEGATI.....27**


<b>GONNOSFANADIGA LTD</b>	Impianto Solare Termodinamico da 55 MWe "GONNOSFANADIGA"	
	Relazione di calcolo delle fondazioni principali	

## **INDICE FIGURE**

<i>Figura 1: Carta Geologica di dettaglio</i> .....	5
<i>Figura 2: Dati dei pozzi censiti nel settore di intervento – fonte ISPRA</i> .....	6
<i>Figura 3: Rappresentazione di un SCE sorretto a sinistra da un pilone di supporto e a destra da un pilone centrale</i> .....	8
<i>Figura 4: Definizione delle categorie di esposizione (Figura 3.3.2 del DM 14.01.08)</i> .....	10
<i>Figura 5: Fondazione del serbatoio di accumulo</i> .....	15
<i>Figura 6: pianta della fondazione dei serbatoi (il numero dei pali rappresentato in figura è puramente indicativo)</i> .....	16
<i>Figura 7: Fondazione Turbina a Vapore - Prospetto</i> .....	20
<i>Figura 8: Fondazione Turbina a Vapore - Pianta</i> .....	20
<i>Figura 9: Trivella di perforazione e rivestimento intorno alla cassaforma esistente</i> .....	21
<i>Figura 10: Sollevamento con gru dell'intera cassaforma</i> .....	22
<i>Figura 11: Riduzione della cassaforma in pezzi più piccoli per facilitare il successivo trattamento e trasporto</i> .....	22
<i>Figura 12: Inserimento nel foro di materiale di riempimento</i> .....	23

## **INDICE TABELLE**

<i>Tabella 1: Valori dei parametri <math>v_{b,0}</math>, <math>a_0</math> e <math>k_a</math> (Tabella 3.3.I del DM 14.01.08)</i> .....	9
<i>Tabella 2: Classi di rugosità del terreno (Tabella 3.3.III del DM 14.01.08)</i> .....	10
<i>Tabella 3: Parametri per la definizione del coefficiente di esposizione (Tabella 3.3.II del DM 14.01.08)</i> .....	10
<i>Tabella 4: Principali parametri geotecnici cautelativamente assegnati ai diversi litostrati</i> .....	11

<b>GONNOSFANADIGA LTD</b>	<i>Impianto Solare Termodinamico da 55 MWe "GONNOSFANADIGA"</i>	
	<i>Relazione di calcolo delle fondazioni principali</i>	

## **1. PREMESSA**

Il presente documento ha lo scopo di fornire informazioni circa la scelta delle fondazioni del campo solare e della power block dell'impianto solare termodinamico da 55 MWe "Gonnosfanadiga".


Tale scelta è necessaria per poter valutare correttamente l'impatto ambientale che gli elementi di fondazione avranno nella costruzione dell'impianto.

Il dimensionamento che si presenta, benché risultato delle informazioni a disposizione in questa fase dal team di progettazione e quindi soggetto a possibili variazioni, è finalizzato ad individuare la tipologia delle fondazioni dei vari elementi e le rispettive dimensioni.

Si precisa che i risultati dell'analisi non costituiscono un vincolo progettuale futuro, poiché basati su ipotesi cautelative.

A seguito delle indagini geologiche e geotecniche eseguite nel sito di installazione dell'impianto solare termodinamico sono emerse proprietà meccaniche del terreno più scadenti di quelle inizialmente ipotizzate, che hanno condotto alle scelte progettuali nel seguito descritte.

La relazione di calcolo delle fondazioni è stata redatta in lingua inglese da partner progettuali esteri; nella presente relazione si riportano estratti di tale report tradotti in italiano.

<b>GONNOSFANADIGA LTD</b>	Impianto Solare Termodinamico da 55 MWe "GONNOSFANADIGA"	
	Relazione di calcolo delle fondazioni principali	

## 2. CARATTERISTICHE DEL TERRENO

### 2.1. PREMESSA

La relazione geologica/geotecnica, parte dei documenti integrativi, è stata redatta dalla Geotechna Srl del Dott. Mauro Pompei con i seguenti obiettivi:

- la definizione delle condizioni geologiche, litostratigrafiche, sismiche e idrogeologiche dei terreni di sedime;
- l'analisi territoriale e la verifica della presenza di potenziali situazioni di dissesto geologico-idraulico capaci di interferire negativamente con la sicurezza e sfruttamento degli impianti;
- la definizione della stratigrafia litotecnica del sottosuolo e l'individuazione del substrato più adeguato per la posa delle fondazioni di tipo diretto o profondo;
- lo sviluppo delle opportune verifiche geotecniche atte alla determinazione della capacità portante e dei cedimenti secondo i criteri delle N.T.C. 2008 e nel rispetto delle norme antisismiche sulla base dei dati disponibili in questa fase progettuale;

Gli studi hanno avuto come fonte informativa i dati ricavati da altre campagne conoscitive effettuate dallo scrivente in contesti geologici analoghi o messe a disposizione da altri professionisti geologi che hanno effettuato campagne investigative al contorno, coadiuvati dalle informazioni provenienti dalla miscellanea tecnico-scientifica regionale.

### 2.2. LITOSTRATIGRAFIA LOCALE

Tutto il settore entro il quale ricade l'area di interesse, ubicato in destra idraulica del Rio Terra Maistus, ha un substrato naturale costituito da depositi clastici di genesi prevalentemente alluvionale formanti, nella terminologia geologica, la parte mediano-distale di una conoide detritico-alluvionale (*glacis di accumulato*) di età pleistocenica (**PVM2a**) che, con il suo sviluppo verso l'asse della piana campidanese si intercala tra la conoide olocenica del Rio Terra Maistus (a N e W) e quello del Rio Aletzia (ad E). Solo nella parte più nord-orientale del sedime, si osserva una sovrapposizione con depositi alluvionali olocenici afferenti alla conoide distale del Rio di Aletzia.

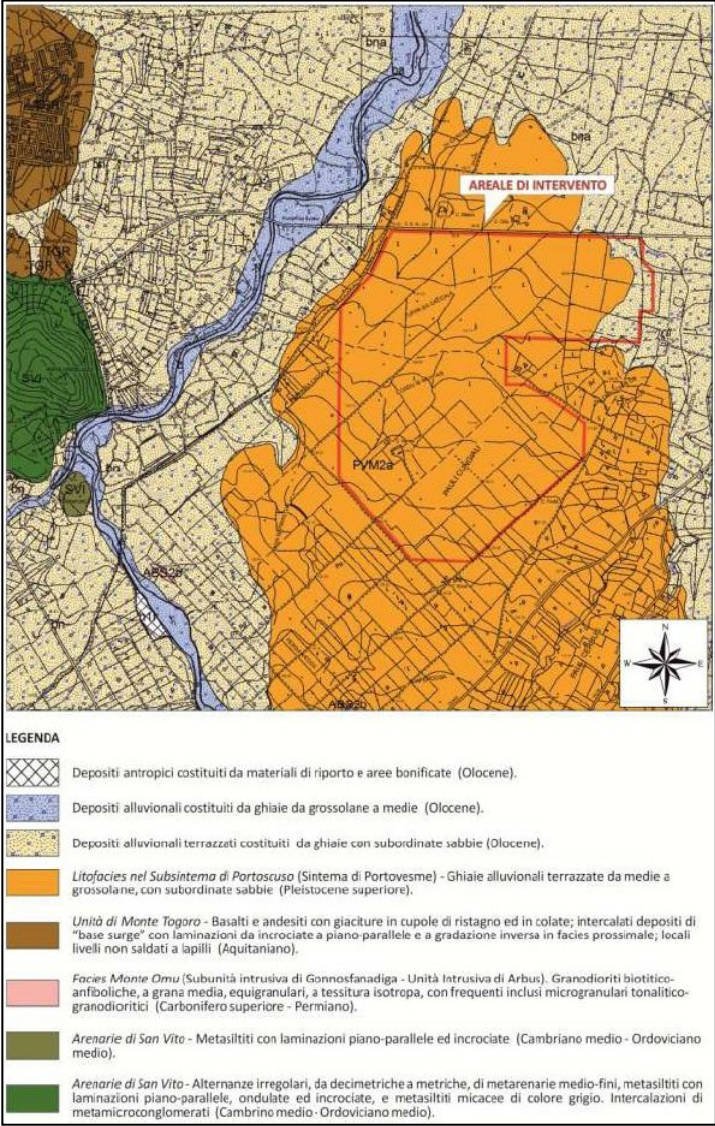
Nell'Olocene, con il ripristino del livello del mare da circa -130 m sino alle attuali quote, i depositi clastici alluvionali (**b<sub>na</sub>** e **b<sub>nb</sub>**) trasportati dalla complessa rete drenante del Rio Terra Maistus e del Rio di Aletzia hanno perciò colmato le ampie depressioni estese in direzione

dell'asse campidanese con un insieme complesso di facies a granulometria decrescente con la distanza dai rilievi metamorfico-cristallini, dando luogo all'attuale piana debolmente inclinata verso N e NE e resa irregolare da deboli e ormai poco evidenti terrazzamenti olocenici.


La distinzione tra i due depositi alluvionali quaternari citati non risulta sempre immediata dall'analisi di superficie in quanto l'assetto plano-altimetrico locale risulta attualmente privo di nette irregolarità morfologiche dovute alla presenza dell'uno o dell'altro deposito.

Dall'insieme di informazioni derivanti da varie tipologie di indagini si evince il seguente schema stratigrafico locale, a partire dall'unità più antica e prescindendo dal basamento roccioso antico indifferenziato che delimita il Campidano ad ovest:

- |                |   |                         |
|----------------|---|-------------------------|
| <b>[bna]</b>   | Depositi alluvionali terrazzati e coperture eluvio-colluviali | [Olocene]               |
| <b>[PVM2a]</b> | Alluvioni pleistoceniche                                      | [Pleistocene superiore] |



**Figura 1: Carta Geologica di dettaglio**

<b>GONNOSFANADIGA LTD</b>	Impianto Solare Termodinamico da 55 MWe "GONNOSFANADIGA"	
	Relazione di calcolo delle fondazioni principali	

### 2.3. IDROGEOLOGIA LOCALE

Il sito in esame ricade nel bacino idrografico del Rio Flumini Mannu di Pabillonis, sfociante nello Stagno di San Giovanni (settore meridionale del Golfo di Oristano) e alimentato in prevalenza dal sistema di corsi d'acqua che provengono da ovest e che assumono nome differente a seconda del tratto interessato.

Il principale corso d'acqua è senza dubbio il Rio Terra Maistus che nasce dalle pendici settentrionali del Massiccio del Monte Linas, attraversa la vallata di Sibiri, impostata quasi essenzialmente entro le rocce granitoidi dell'Arburese, e che in territorio di Pabillonis prende il nome di Flumini Bellu.

In destra idraulica, a quota di circa 110 m sul l.m.m., si innesta il Rio Canneddus, che a monte dell'abitato di Gonnosfanadiga è conosciuto come Riu Piras e riceve le acque del Rio Perd'e Pibera, del Rio Gutturu Fenugu e del Rio Zairi.

Ad est dell'area d'impianto scorre invece un piccolo impluvio chiamato Rigagnolo di Pauli Cerbus, a carattere stagionale/occasionale per quanto riguarda i deflussi idrici, ma che un tempo faceva verosimilmente parte della rete di distribuzione delle acque provenienti direttamente dal settore montano prospiciente, ora drenato quasi completamente dal Rio di Aletzia.


Riguardo alla circolazione idrica al di sotto dei 20-30 m dal p.c. sono stati utilizzati dati provenienti dal catasto dei pozzi dell'ISPRA, che vede la presenza di 6 perforazioni (delle quali solo 2 interne al perimetro degli impianti) spinte sino e oltre -70 m dal p.c..

Dalla loro analisi viene confermata la presenza di acquiferi semiconfinati o confinati (ovvero anche l'assenza di falda) laddove il substrato è costituito in prevalenza dalle alluvioni pleistoceniche con necessità di perforazioni talora superiori ai 100 m per riuscire ad intercettare risorse idriche sotterranee accettabili.

POZZO n.	CODICE POZZO	COMUNE	PROFONDITÀ POZZO (m)	N° FALDE	PROFONDITÀ ACQUIFERI da m a m	TIPO	POSTATA DI ESERCIZIO (l/sec)
1	185076	Gonnosfanadiga	120	1	96÷97	domestico	0.5
2	185080		84	1	50÷50.05		0.0
3	185318		70	1	35÷65		0.5
4	185653		95	3	7÷10 28÷32 60÷67	irriguo	1,0
5	185774		100	4	35÷37 54÷56 75÷78 93÷96		7,0
6	185859		93	2	30÷31 68÷70		2.5

**Figura 2: Dati dei pozzi censiti nel settore di intervento – fonte ISPRA**



<b>GONNOSFANADIGA LTD</b>	<i>Impianto Solare Termodinamico da 55 MWe "GONNOSFANADIGA"</i>	
	<i>Relazione di calcolo delle fondazioni principali</i>	

### 3. FONDAZIONI

#### 3.1. FONDAZIONI DEL CAMPO SOLARE

Il campo solare impegna un'area complessiva molto maggiore rispetto alla power block.

I carichi esterni da considerare derivano dall'applicazione della normativa di riferimento (DM 14.01.2008 - Norme tecniche sulle costruzioni), in particolare del capitolo 3.3 *Azioni del vento*.

A differenza di strutture convenzionali fisse, l'approccio progettuale si basa su due assunzioni che derivano dalle specifiche caratteristiche dei collettori solari:

- le condizioni di esposizione delle strutture ai venti presenti sono correlate alla gestione operativa dell'impianto che è a sua volta subordinata alle condizioni meteorologiche in quel momento presenti;
- i coefficienti da applicare per la determinazione dei carichi aerodinamici vengono desunti da specifici studi specialistici condotti da istituti di ricerca nazionali ed internazionali, convalidati da prove sperimentali condotte in galleria del vento.


Trattandosi comunque di strutture semi-permanenti per le quali gli aspetti di integrità strutturale sono assolutamente prioritari, la progettazione delle stesse deve essere necessariamente conforme alle NTC 2008 e pertanto a base della progettazione, ed in particolare ai fini della determinazione delle azioni del vento, vengono impiegati i criteri della normativa richiamata.

Data la particolare geometria dei collettori solari, e data l'importante influenza dell'azione ventosa nel dimensionamento delle fondazioni, per il basso rapporto peso/superficie esposta, sono stati effettuati test specifici per la determinazione dei coefficienti di forma per le diverse condizioni d'uso dei collettori.

Si fa ricorso ai valori ricavati da prove in galleria del vento effettuate dalla società produttrice dei collettori solari impiegati nel progetto.

I collettori hanno un dispositivo di sicurezza che permette ai collettori stessi di ruotare nella condizione più favorevole quando il vento supera la velocità di 14 m/s, pertanto il collettore viene dimensionato per resistere in qualsiasi posizione per velocità del vento comprese tra 0 e 14 m/s, mentre per le velocità estreme si assume che il collettore sia nelle posizioni di minor resistenza.

Poiché il "limite operativo massimo" di 14 m/s corrisponde ad un valore misurato sul campo e mediato su 10 minuti, in realtà ai fini della verifica strutturale si assume il valore di picco che la normativa prevede possibile a quella velocità di riferimento e che, per il sito

<b>GONNOSFANADIGA LTD</b>	Impianto Solare Termodinamico da 55 MWe "GONNOSFANADIGA"	
	Relazione di calcolo delle fondazioni principali	

Gonnosfanadiga, corrisponde a circa 37 m/s a 4 metri dal suolo, che è all'incirca l'altezza dell'asse di rotazione del collettore (*altezza asse rotazione 3,865 m*).

La fondazione di ciascun collettore deve assorbire, oltre alle forze nella direzione orizzontale e verticale, anche il momento agente sulla lunghezza del collettore. Ciò causa un'eccentricità al piede della fondazione che non è facilmente assorbibile da una fondazione di tipo superficiale. Per questo motivo, per questa tipologia di elemento è necessaria una fondazione profonda in grado di assorbire anche forze di trazione generate dal momento e in grado di evitare spostamenti che potrebbero non permettere un funzionamento corretto del collettore.

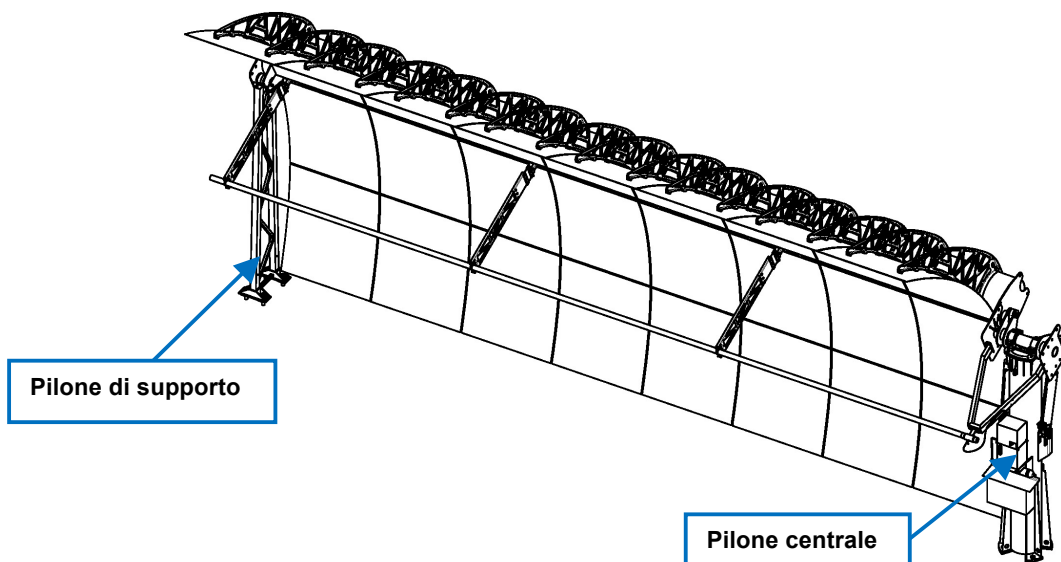
La soluzione dei pali è stata valutata quella più adatta; infatti, i pali possono essere sollecitati prevalentemente da forze assiali, e riescono ad assorbire il momento sollecitante.

È previsto l'utilizzo di pali in calcestruzzo armato, ottenuti gettando del calcestruzzo fresco in una cassaforma metallica a perdere (tuboforma) infissa nel terreno per battitura.


Il palo viene armato con una gabbia metallica composta da ferri longitudinali, collegati con una spirale capace di resistere al carico statico che deve sopportare.

La gabbia viene inserita nella cassaforma prima del getto.

La dimensione di questo palo di fondazione sarà variabile in base al tipo di pilone che deve supportare: in particolare all'interno di un singolo SCA (Solar Collector Assembly) si distingue tra pilone centrale (drive pylon), in cui è presente il sistema di movimentazione della parabola, e pilone di supporto (supporting pylon).



**Figura 3: Rappresentazione di un SCE sorretto a sinistra da un pilone di supporto e a destra da un pilone centrale**

<b>GONNOSFANADIGA LTD</b>	Impianto Solare Termodinamico da 55 MWe "GONNOSFANADIGA"	
	Relazione di calcolo delle fondazioni principali	

Inoltre, all'interno del campo solare bisogna distinguere tra piloni normali e piloni rinforzati, che sono quelli che devono resistere ad un carico del vento maggiore a causa della loro localizzazione nei punti perimetrali del campo solare.

### 3.1.1. CARICHI

Per ottenere i carichi per dimensionare le fondazioni dei collettori, è necessaria la definizione della velocità del vento di progetto all'altezza dell'asse del collettore (circa 4 metri).

Secondo la legislazione italiana i parametri sono descritti come segue.



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

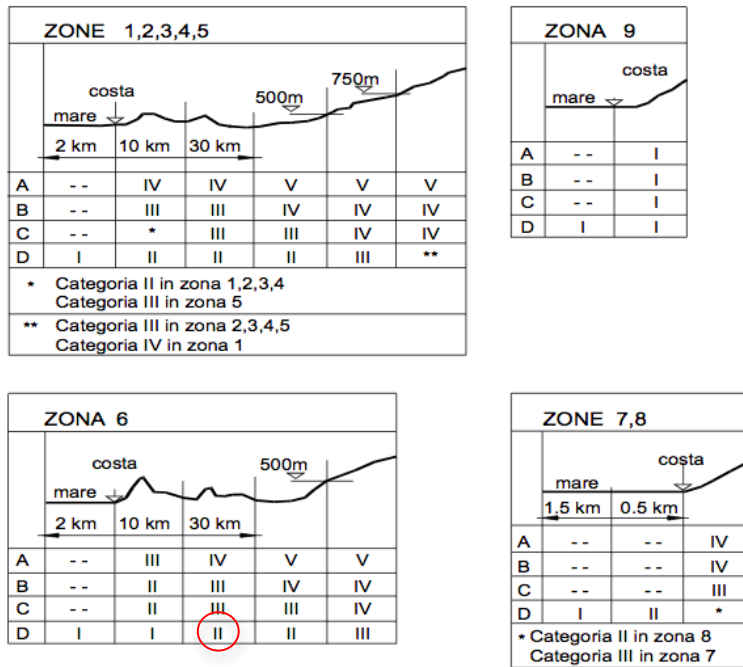
Tabella 1: Valori dei parametri  $v_{b,0}$ ,  $a_0$  e  $k_a$  (Tabella 3.3.1 del DM 14.01.08)

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. Affinché 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.

**Tabella 2: Classi di rugosità del terreno (Tabella 3.3.III del DM 14.01.08)**


Per determinare il coefficiente di esposizione sono necessarie le seguenti tabelle.



**Figura 4: Definizione delle categorie di esposizione (Figura 3.3.2 del DM 14.01.08)**

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

**Tabella 3: Parametri per la definizione del coefficiente di esposizione (Tabella 3.3.II del DM 14.01.08)**

<b>GONNOSFANADIGA LTD</b>	Impianto Solare Termodinamico da 55 MWe "GONNOSFANADIGA"	
	Relazione di calcolo delle fondazioni principali	

Tenendo conto della classe di esposizione II, il valore della velocità del vento di progetto è 37,57 m/s, calcolata all'altezza dell'asse del collettore.

I coefficienti aerodinamici devono essere ottenuti, invece, attraverso test in galleria del vento (i.e. "Wind tunnel test of Parabolic Trough Solar Collectors" NREL).

### 3.1.2. PARAMETRI DEL TERRENO

Le caratteristiche del suolo sono definite nella relazione geologico-geotecnica redatta dalla Geotechna Srl allegata.

La tabella sottostante riassume i dati per ogni strato di terreno.

I pali oggetto del presente studio sono stati dimensionati utilizzando i valori più sfavorevoli indicati in tabella.

STRATO	PARAMETRI GEOTECNICI			
	PUV (kN/m <sup>3</sup> )	C (daN/cm <sup>2</sup> )	φ (°)	E (daN/cm <sup>2</sup> )
<b>Bna</b> Ghiaie ciottoloso-sabbiose	19,00÷20,00	0,10÷0,20	32÷36	400÷500
<b>Bna</b> Intercalazioni sabbioso-limose	18,00÷19,00	0,10÷0,20	28÷32	100÷200
<b>PVM</b>	20,00÷21,00	0,25÷0,50	34÷38	500÷600

**Tabella 4: Principali parametri geotecnici cautelativamente assegnati ai diversi litostrati**

- PUV = Peso di volume naturale;
- c = Coesione efficace;
- φ = Angolo di resistenza al taglio;
- E = Modulo di comprimibilità.

### 3.1.3. RISULTATI


I risultati di seguito esposti derivano dall'applicazione della seguente normativa di riferimento:

- Eurocode 7 (EN 1997-1:2004). Section 7. Pile foundations. – European CODE
- CTE ("Código Técnico de Edificación" – CTE-DEB-SE-C). – Spanish CODE

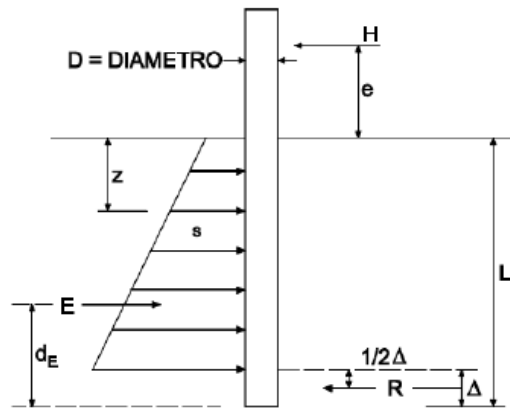
L'Eurocodice 7 propone un'idea generale per il calcolo di pali.

Il codice spagnolo è basato sulla stessa modalità di calcolo, ma è maggiormente dettagliato nella teoria.

I pali devono essere progettati principalmente per resistere alla forza orizzontale (e il momento che essa produce), evitando spostamenti della testa superiori a 10 mm.

<b>GONNOSFANADIGA LTD</b>	Impianto Solare Termodinamico da 55 MWe "GONNOSFANADIGA"	
	Relazione di calcolo delle fondazioni principali	

- Pressione orizzontale del terreno



HIPOTESIS ADMISIBLE:

$$s(z) = (9c + 3\gamma z \frac{1 + \text{sen } \phi}{1 - \text{sen } \phi}) \cdot D$$

$$E = \int_0^{L-\Delta} s(z) \cdot dz$$

$$\Delta = \frac{R}{s(L)}$$

CONDICIONES DE EQUILIBRIO:

$$H = E - R$$

$$H \cdot (e + L - \frac{1}{2} \Delta) = E (d_E - \frac{1}{2} \Delta)$$

Il suolo deve resistere alla forza orizzontale (H) agente sul collettore.

L'ingegneria geotecnica ha sviluppato un modello per risolvere il problema: una legge del suolo che aumenta con la profondità (s) le resistenze passive e la reazione alla base (si assume che tutta la reazione viene concentrata in una piccola lunghezza in modo da avere una forza puntuale (R)).

L'equilibrio che deve essere raggiunto è descritto dalle seguenti equazioni:

$$H = E - R$$

$$M(\text{momento alla base}) = 0$$

Soluzione:

Si ottiene il valore di  $\Delta$  che rende il momento alla base pari a 0 in modo che il fattore di sicurezza sia uguale a 3.


- Spostamenti

Riferimenti:

- "Geotecnia y cimientos. Tomo III". Author: Jose Antonio Jimenez Salas. Page 197. I.S.B.N.:84-7207-017-4

Quando il rapporto lunghezza/diametro del palo è inferiore a 8, gli spostamenti devono essere calcolati utilizzando la così detta "short pile analysis": specialisti in geotecnica hanno sviluppato una teoria per queste fondazioni semi-profonde in cui la deformazione dipende dalle caratteristiche del suolo e del palo.

In questo caso si usa un coefficiente di resistenza orizzontale passiva del terreno (*ballast coefficient*) per calcolare gli spostamenti, sia lo spostamento orizzontale che la rotazione (inclinazione).

<b>CONNOSFANADIGA LTD</b>	Impianto Solare Termodinamico da 55 MWe "CONNOSFANADIGA"	
	Relazione di calcolo delle fondazioni principali	

$$k_h = 0,75 \cdot \frac{E}{D}$$

Dove:

E= modulo di elasticità (20-30 MPa in funzione del tipo di terreno);

D= diametro del palo.

- Conclusioni

La combinazione dei carichi più sfavorevole per i pali è: peso proprio + vento.

Il diametro massimo considerato in via cautelativa è di 1,2 m per tutti i pali.

Le lunghezze considerate, sempre in via cautelativa, sono le seguenti:

	REGULAR	REINFORCED	DRIVE
<b>Total length (m)</b>	5	6.3	6.7

Il campo solare è costituito da 175 loops (o stringhe), ciascuno formato da 4 SCA (Solar Collector Assembly).

Più precisamente:

N. Loops	175	W-loops	28	N. Pylons per W-loop	60	1.680	10.206
		Standard loops	147	N. Pylons per Standard loop	58	8.526	


Il numero complessivo di pali di fondazione risulta pari a 10.206.

Come precedentemente scritto e riportato nella tabella soprastante, i pali di fondazione sono differenti a seconda della posizione in cui si trovano, o meglio del ruolo che svolgono.

Si considera che circa l'88% dei pali saranno del tipo normale, l'8% del tipo rinforzato e il 4% del tipo centrale.

Tipologia Palo	Diametro	Lunghezza	Numero
	[m]	[m]	
Regular (normali)	1,2	5	8.988
Drive (centrali)	1,2	6,7	406
Reinforced (rinforzati)	1,2	6,3	812

Per i dettagli grafici si rimanda alle tavole CER-SRCA-PC-9001 Type 1 Drive, Type 2 Regular e Type 3 Reinforced.

<b>GONNOSFANADIGA LTD</b>	<i>Impianto Solare Termodinamico da 55 MWe "GONNOSFANADIGA"</i>	
	<i>Relazione di calcolo delle fondazioni principali</i>	

## 3.2. FONDAZIONI DELLA POWER-BLOCK

La Power Block occupa una superficie esigua rispetto al campo solare.

Di seguito si descrivono le fondazioni dei principali elementi della power block, gli altri non hanno particolari caratteristiche ed avranno un impatto piuttosto modesto.

Le fondazioni con delle particolarità si limitano ai **serbatoi dei sali fusi**, alla **turbina a vapore** e al **sistema di raffreddamento**.

Per il **sistema di raffreddamento** ad aria si prevede una fondazione superficiale di dimensioni 70x50x1 metri.

Di seguito, si riportano maggiori dettagli per le fondazioni dei serbatoi dei sali fusi e della turbina a vapore.

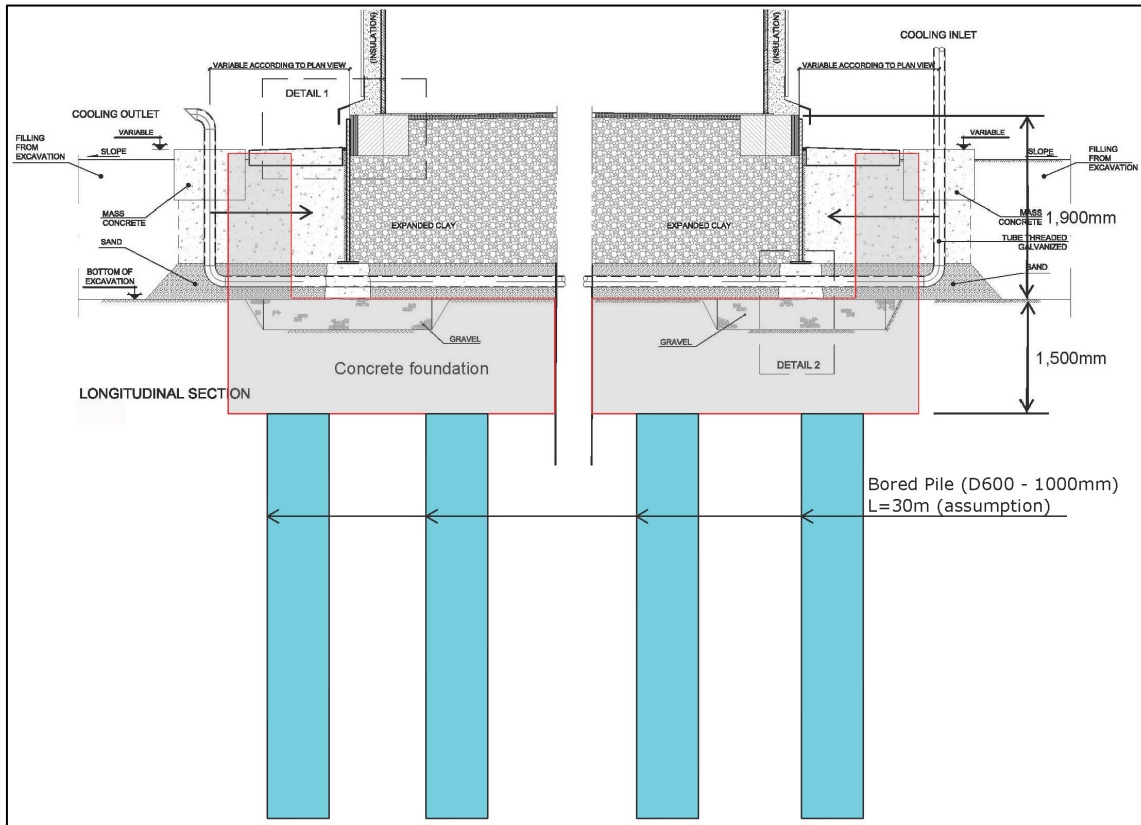
### 3.2.1. SERBATOI DEI SALI FUSI

Si riporta una sezione delle fondazioni di uno dei 2 serbatoi dei sali fusi, che è costituita da una platea in calcestruzzo profonda 1,5 m che poggia su 75 pali del diametro da definire nel range 0,6 - 1 m, e una lunghezza di circa 30 m.

Al di sopra della platea, e al di sotto di uno strato di circa 1,9 m di argilla espansa, è posizionato un tubo metallico che consente l'aerazione necessaria al raffreddamento, date le elevate temperature dei sali in esso contenuti.

Si sottolinea che i dati esposti sono il risultato di un calcolo cautelativo a favore di sicurezza.





**Figura 5: Fondazione del serbatoio di accumulo**

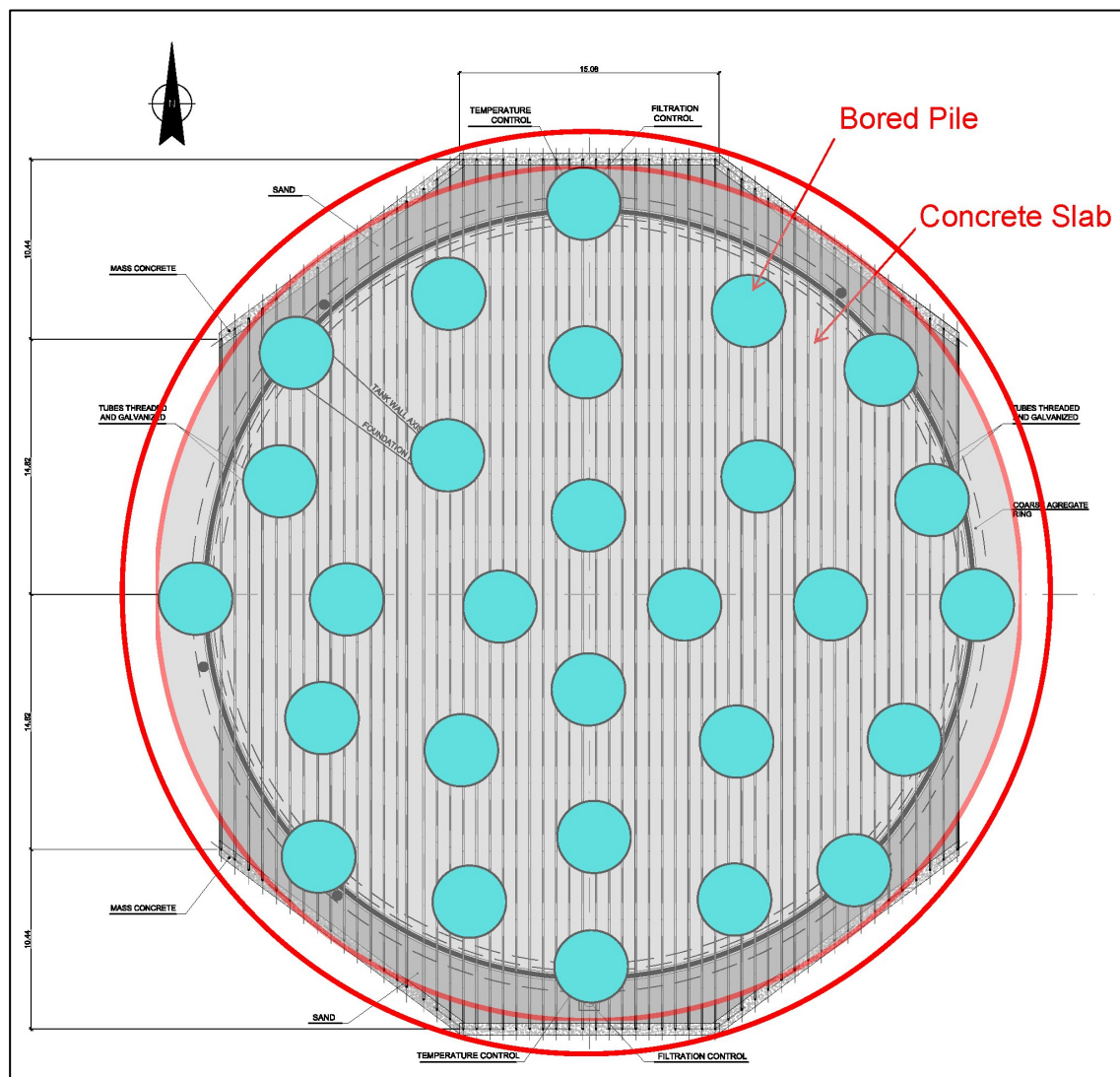



Figura 6: pianta della fondazione dei serbatoi (il numero dei pali rappresentato in figura è puramente indicativo)

<b>GONNOSFANADIGA LTD</b>	<i>Impianto Solare Termodinamico da 55 MWe "GONNOSFANADIGA"</i>	
	<i>Relazione di calcolo delle fondazioni principali</i>	

### 3.2.2. TURBINA A VAPORE

Per effettuare una prima definizione delle fondazioni della turbina a vapore, sono stati sviluppati calcoli statici e dinamici usando modelli ad elementi finiti 3D, tenendo conto dello smorzamento del sottosuolo e del calcestruzzo.

Sono stati calcolati le deformazioni statiche della fondazione ed i limiti di movimento differenziale tra i punti di appoggio della macchina.

Si è inoltre verificato il calcolo dinamico delle frequenze naturali e velocità di diversi punti di fondazione sotto un carico armonico.

Il modello ad elementi finiti 3D è creato usando elementi volumetrici ("mattoni") con otto nodi. Le frequenze naturali del sistema sono calcolate con un'analisi modale.

La verifica delle velocità è stata effettuata mediante analisi temporale con carico rotante.

Il sottosuolo è modellato da molle con rigidità equivalente.

Per tener conto di un'ampia gamma di variazioni nelle caratteristiche del terreno sono stati fatti diversi calcoli, dividendo e moltiplicando rigidità del suolo per un fattore di 1,5.

Inoltre, sono stati eseguiti contemporaneamente due tipi di calcoli: il primo basato su metodi tradizionali per valutare le caratteristiche statiche e dinamiche, il secondo utilizzando modelli bidimensionali al fine di dimensionare l'acciaio di rinforzo e di calcolare gli effetti dinamici della struttura (frequenze naturali, punti di velocità di fondazione, ecc.).

#### 3.2.2.1. Prerequisiti

Di seguito sono elencati i requisiti per la definizione della fondazione della turbina a vapore, oltre ai calcoli necessari al suo dimensionamento.

##### 1. Assestamento e Deformazioni

La rotazione massima tra due supporti congiunti della fondazione dovuta ad assestamenti del terreno non deve superare il valore di 1/1000.

Le deformazioni  $W$  dovute a carichi accidentali su tre supporti (1,2,3) di apparecchiature adiacenti, e in posizione parallela all'asse principale, deve soddisfare le seguenti condizioni:

$$W_1 - 2W_2 + W_3 < 1,0 \text{ mm}$$

Le deformazioni  $W$  dovute ai carichi diretti su tre supporti (1,2,3) di apparecchiature adiacenti, e posizionati perpendicolarmente alla dorsale deve soddisfare le seguenti condizioni:

$$W_1 - 2W_2 + W_3 \leq 0,4 \text{ mm}$$

La flessione dovuta ai carichi accidentali (straordinari) non deve essere superiore a tre volte il valore massimo di quella dovuta a carichi non accidentali (ordinari).

## 2. Carichi Dinamici

### Velocità:

Per ogni elemento in movimento rotatorio si applica una forza centrifuga pari a  $F = \frac{G \cdot n}{15000}$ , dove G è il peso di velocità del rotore, n è la velocità di rotazione in condizioni di lavoro in rpm.

Il carico viene applicato al baricentro del rotore.

Le ampiezze calcolate con questi carichi non devono superare, in qualsiasi punto corrispondente della fondazione, valori della velocità principale.

$$V_{RMS} = \sqrt{\frac{v_x^2 + v_y^2 + v_z^2}{2}}$$

Dove  $v_x$ ,  $v_y$ ,  $v_z$  sono le ampiezze delle componenti del vettore velocità.

Un valore di  $V_{RMS} = 1,0$  mm/s indica il funzionamento normale.

### Frequenze naturali:

Le frequenze naturali della fondazione devono essere al di fuori della gamma di 0,8-1,2 volte la velocità di funzionamento di ciascuno dei rotori.

### 3.2.2.2. Controllo delle pressioni di appoggio

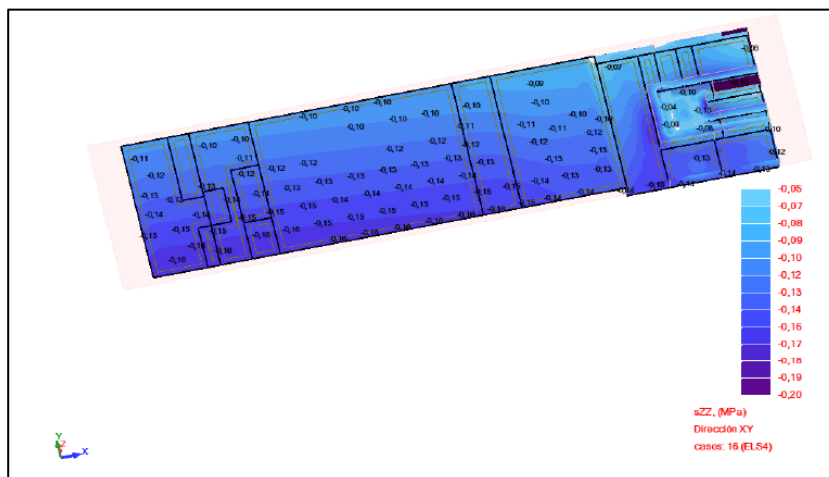
Il programma utilizzato calcola la reazione del terreno in diverse situazioni limite.

Le situazioni di carico peggiori sono:

1. Massima sollecitazione nel servizio ELS 4 ( $\text{MN/m}^2$ )

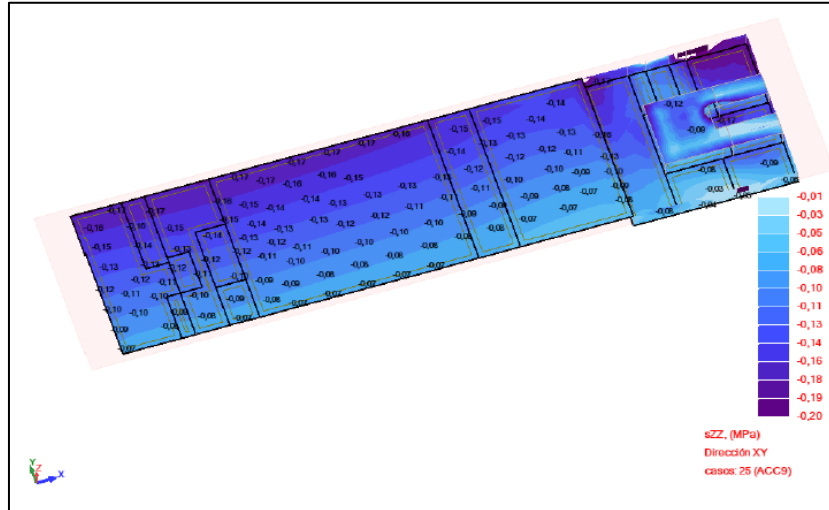
Il massimo valore è di  $160 \text{ kN/m}^2$

Le sollecitazioni estreme ottenute per casi accidentali sono quelle del caso ACC9



2. Massima sollecitazione per carichi accidentali

Il valore massimo è di 170 kN/m<sup>2</sup>

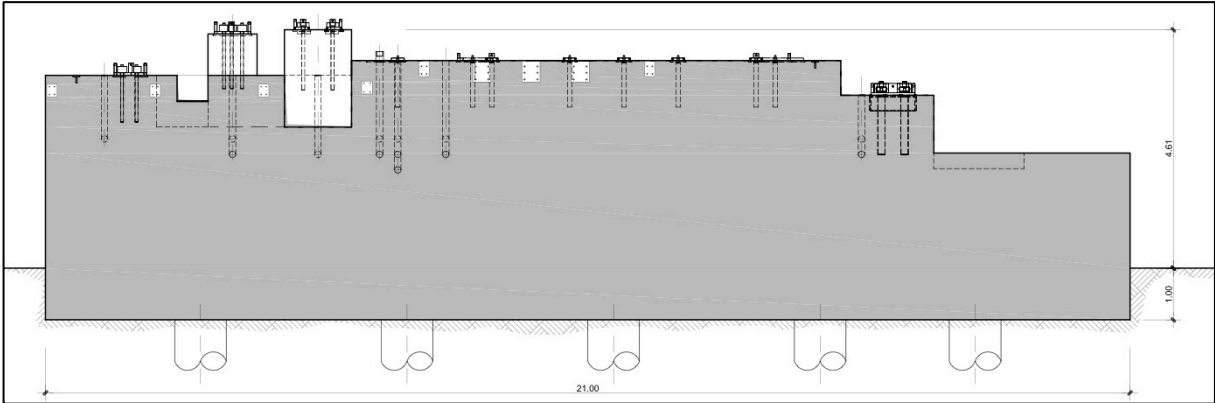


La relazione geologico-geotecnica a disposizione afferma che il substrato bna si contraddistingue per un addensamento molto elevato, una buona resistenza al taglio, una non trascurabile coesione e una limitata compressibilità, che consente di applicare pressioni di contatto dell'ordine di 2 - 4 daN/cm<sup>2</sup> senza manifestazioni di rottura del terreno e con l'attesa di modesti cedimenti.

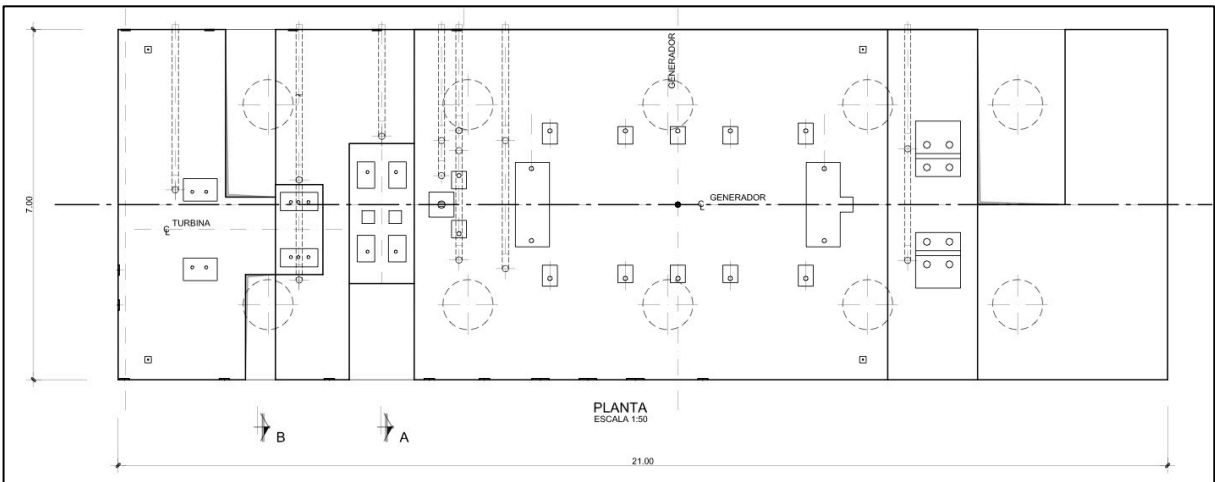
Nonostante ciò, visto che la turbina è molto sensibile ai cedimenti differenziali, che potrebbero causare il suo collasso generale, si prevede di migliorare il terreno attraverso pali di ghiaia o pali di calcestruzzo, se ciò sarà richiesto da uno studio geotecnico più dettagliato.

Dai calcoli effettuati si prevede, sempre in via cautelativa a favore di sicurezza, una fondazione mista per la turbina, formata da una platea composita interrata di 1 metro e poggiate su n. 10 pali di diametro pari a 1 metro e lunghezza pari a 30 metri.

Per dettagli si rimanda alla tavola CER-SRCA-PC-9003 "Steam Turbine Foundation".



**Figura 7: Fondazione Turbina a Vapore - Prospetto**



**Figura 8: Fondazione Turbina a Vapore - Pianta**

## 4. DISMISSIONE DELLE OPERE DI FONDAZIONE

Per quanto riguarda l'estrazione dei pali di fondazioni del campo solare, il metodo che sarà utilizzato consiste nel rivestimento del palo esistente con una trivella in grado di applicare un momento elevato, in modo che venga superato l'attrito tra la cassaforma e il terreno circostante.

Una volta che la trivella ha perforato tutta la lunghezza della cassaforma, una gru solleva quest'ultima che sarà poi tagliata in pezzi e smaltita.

Infine, nel foro viene inserito del materiale di riempimento.



*Figura 9: Trivella di perforazione e rivestimento intorno alla cassaforma esistente*



**Figura 10: Sollevamento con gru dell'intera cassaforma**




**Figura 11: Riduzione della cassaforma in pezzi più piccoli per facilitare il successivo trattamento e trasporto**





***Figura 12: Inserimento nel foro di materiale di riempimento***

<b>GONNOSFANADIGA LTD</b>	<i>Impianto Solare Termodinamico da 55 MWe "GONNOSFANADIGA"</i>	
	<i>Relazione di calcolo delle fondazioni principali</i>	

## **5. STIMA DEGLI IMPATTI GENERATI DELLE OPERE DI FONDAZIONE**

Le opere di fondazione dell'intero impianto solare termodinamico riguardano i collettori del campo solare e gli edifici ed attrezzature presenti nella power-block.

Dalla Relazione Geologica - Geotecnica si evince che nel sito in oggetto la falda si trova a profondità elevate, circa 30 m. Le fondazioni precedentemente descritte non interferiranno con la falda perché non la intercettano. Se durante lo studio geologico di dettaglio, fase esecutiva, si riscontrerà la presenza della falda a quote più superficiali, essa non subirà comunque impatti da parte delle fondazioni perché, come descritto, le stesse sono gettate all'interno di un tuboforma che consente il normale deflusso della falda verso valle aggirando i pali.

### **5.1. FONDAZIONI DEL CAMPO SOLARE**

Nel campo solare è previsto l'utilizzo di pali di fondazione per il sostegno dei collettori, aventi le caratteristiche descritte nei paragrafi precedenti.


Essendo il campo solare costituito da 175 loops o stringhe (n. 28 W-Loops più n. 147 Standard loops), ciascuno formato da 4 SCA (Solar Collector Assembly) ognuno a sua volta composto da 14 SCE (Solar Collector Elements), si ha un numero complessivo di pali di fondazione pari a 10.206.

Come già scritto nei paragrafi precedenti le dimensioni dei pali di fondazione dei piloni che sorreggono il campo solare sono:

- Palo di fondazione del pilone normale: Ø 1,2 m x H 5,0 m
- Palo di fondazione del pilone centrale: Ø 1,2 m x H 6,7 m
- Palo di fondazione del pilone rinforzato: Ø 1,2 m x H 6,3 m

Per il calcolo del volume del materiale di scavo, si consideri che l'88% dei pali saranno del tipo normale, l'8% del tipo rinforzato e il 4% del tipo normale.

Moltiplicando il volume di un singolo palo per la tipologia corrispondente si ottiene un volume di scavo pari a:

<b>GONNOSFANADIGA LTD</b>	<i>Impianto Solare Termodinamico da 55 MWe "GONNOSFANADIGA"</i>	
	<i>Relazione di calcolo delle fondazioni principali</i>	

Volume di scavo per le opere di fondazione del campo solare	<b>~ 59.660 m<sup>3</sup></b>
---	-------------------------------

Il volume del materiale di scavo verrà stoccato temporaneamente in prossimità dell'area di scavo della fondazione, e da qui nell'area provvisoria di cantiere; il materiale prelevato potrà poi essere interamente riutilizzato all'interno del cantiere.

La terra di scavo sarà riutilizzata senza trasformazioni preliminari all'interno dell'area di cantiere.

Non sarà quindi effettuato trasporto di materiali di scavo all'esterno del cantiere.

### **5.1.1. FONDAZIONI DELLA POWER-BLOCK**

Le fondazioni più rilevanti tra gli elementi che formano la power block sono quelle dei 2 serbatoi di accumulo dei sali fusi, della turbina a vapore e del sistema di raffreddamento ad aria.

Si riassumono i dati relativi alle aree occupate nella power-block:

Area power block complessiva: circa 45.078 m<sup>2</sup>;

Area occupata da edifici nella power block: circa 1.385 m<sup>2</sup>;

Aree pavimentate: circa 35.365 m<sup>2</sup>.


Su quest'ultimo tipo di area, ipotizzando che il terreno asportato sia di altezza pari a 10 cm, abbiamo una rimozione di terreno superficiale di circa 3.536 m<sup>3</sup>.

Stima preliminare totale del terreno da rimuovere nella power block + edificio guardiania + aree pavimentate + edificio amministrativo:

4921 m<sup>3</sup> che approssimiamo a 5.000 m<sup>3</sup>.


Da considerare, inoltre, che la "buca di contenimento" dei serbatoi di stoccaggio dei sali, dovrà essere effettuata sul terreno con una asportazione totale di circa 20.000 m<sup>3</sup> di materiale.

Va poi aggiunto il terreno da rimuovere per la realizzazione dei bacini di accumulo dell'acqua industriale per i consumi della centrale pari a circa 30.000 m<sup>3</sup>.

<b>GONNOSFANADIGA LTD</b>	<i>Impianto Solare Termodinamico da 55 MWe "GONNOSFANADIGA"</i>	
	<i>Relazione di calcolo delle fondazioni principali</i>	

Nella tabella seguente si riassumono i dati relativi ai volumi di terra da muovere, all'interno della power-block.

Volume di scavo per le opere di fondazione dei principali elementi della power block (serbatoi di accumulo sali, turbina, sistema di raffreddamento)	<b>~ 14.353 m<sup>3</sup></b>
Terreno da rimuovere per le opere di fondazione degli altri edifici della power block + aree pavimentate	<b>~ 5.000 m<sup>3</sup></b>
Volume di scavo per il bacino di contenimento dei serbatoi dei sali fusi	<b>~ 17.700 m<sup>3</sup></b>
Volume di scavo per il bacino di accumulo dell'acqua industriale	<b>~ 30.000 m<sup>3</sup></b>
<b>TOTALE</b>	<b>~ 67.000 m<sup>3</sup></b>

<b>GONNOSFANADIGA LTD</b>	<i>Impianto Solare Termodinamico da 55 MWe "GONNOSFANADIGA"</i>	
	<i>Relazione di calcolo delle fondazioni principali</i>	

## 6. ALLEGATI

- ELABORATI GRAFICI:
  - CER-SRCA-PC-9001-Sheet 01 "Solar field collectors pile foundations details – Type 1- Drive
  - CER-SRCA-PC-9001-Sheet 02 "Solar field collectors pile foundations details – Type 2- Regular
  - CER-SRCA-PC-9001-Sheet 03 "Solar field collectors pile foundations details – Type 3- Reinforced
  - CER-SRCA-PC-9002-Sheet 01 "Salt tank foundation plan view"
  - CER-SRCA-PC-9002-Sheet 02 "Salt tank foundation details"
  - CER-SRCA-PC-9003-Sheet 01 "Steam turbine foundation"