

Proponente

FLUMINI MANNU

FLUMINI MANNU LIMITED

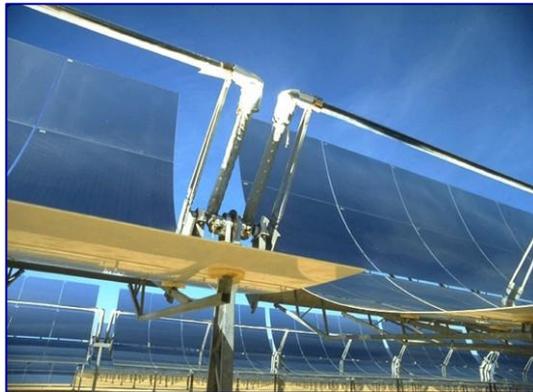
Sede Legale: Bow Road 221 - Londra - Regno Unito
Filiale Italiana: Corso Umberto I, 08015 Macomer (NU)

Provincia di Cagliari

Comuni di Villasor e Decimoputzu

Nome progetto

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



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

e-mail: info@energogreen.com

Rev.	Data	Descrizione	Codice di Riferimento
0	11/2014	Emissione per Istanza di VIA	RELCALCFOND001
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 Flumini Mannu (CA)*
- 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.p.A.: "Rapporto Preliminare di Sicurezza"*
- Enviroware srl, Dott. Roberto Bellasio: "Studio d'impatto atmosferico dei riscaldatori ausiliari dell'impianto solare termodinamico "Flumini Mannu"*
- Geotechna Srl: "Relazione Geologica", " Relazione Geotecnica" e "Studio di compatibilità idraulica"*
- Progetto Engineering srl: "Progetto elettrico definitivo"*

FLUMINI MANNU	Impianto Solare Termodinamico da 55 MWe "FLUMINI MANNU"	
	Relazione di calcolo delle fondazioni principali	

INDICE

1. PREMESSA	3
2. CARATTERISTICHE DEL TERRENO	4
3. FONDAZIONI	5
3.1. FONDAZIONI DEL CAMPO SOLARE	5
3.1.1. <i>Carichi</i>	7
3.1.2. <i>Parametri del Terreno</i>	9
3.1.3. <i>Risultati</i>	9
3.2. FONDAZIONI DELLA POWER-BLOCK.....	12
3.2.1. <i>Serbatoi dei Sali Fusi</i>	13
3.2.2. <i>Turbina a Vapore</i>	15
3.2.2.1. Prerequisiti	15
3.2.2.2. Controllo delle pressioni di Appoggio	16
4. DISMISSIONE DELLE OPERE DI FONDAZIONE	19
5. STIMA DEGLI IMPATTI GENERATI DELLE OPERE DI FONDAZIONE	22
5.1. FONDAZIONI DEL CAMPO SOLARE	22
5.1.1. <i>Fondazioni della Power-block</i>	23
6. ALLEGATI	25

FLUMINI MANNU	<i>Impianto Solare Termodinamico da 55 MWe "FLUMINI MANNU"</i>	
	<i>Relazione di calcolo delle fondazioni principali</i>	

INDICE FIGURE

Figura 1: rappresentazione di un SCE sorretto a sinistra da un pilone di supporto e a destra da un pilone centrale.....	6
Figura 2: Definizione delle categorie di esposizione (Figura 3.3.2 del DM 14.01.08).....	8
Figura 3: Fondazione del serbatoio di accumulo	13
Figura 4: pianta della fondazione dei serbatoi (il numero dei pali rappresentato in figura è puramente indicativo).....	14
Figura 5: Fondazione Turbina a Vapore - Prospetto	18
Figura 6: Fondazione Turbina a Vapore - Pianta	18
Figura 7: Trivella di perforazione e rivestimento intorno alla cassaforma esistente.....	19
Figura 8: Sollevamento con gru dell'intera cassaforma	20
Figura 9: Riduzione della cassaforma in pezzi più piccoli per facilitare il successivo trattamento e trasporto.....	20
Figura 10: Inserimento nel foro di materiale di riempimento	21

INDICE TABELLE

Tabella 1: Valori dei parametri $v_{b,0}$, a_0 e k_a (Tabella 3.3.I del DM 14.01.08).....	7
Tabella 2: Classi di rugosità del terreno (Tabella 3.3.III del DM 14.01.08)	8
Tabella 3: Parametri per la definizione del coefficiente di esposizione (Tabella 3.3.II del DM 14.01.08)	8

FLUMINI MANNU	<i>Impianto Solare Termodinamico da 55 MWe "FLUMINI MANNU"</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 "Flumini Mannu".

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 della campagna di indagine geologica e geotecnica eseguita 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 ("*Solar Field And Turbine Foundations Calculations*") è stata redatta da partner progettuali esteri in lingua inglese; nella presente relazione si riportano estratti di tale report tradotti in italiano.

Per completezza, l'elaborato nella lingua originale è allegato alla presente.

2. CARATTERISTICHE DEL TERRENO

Come descritto ampiamente nella relazione geologica/geotecnica redatta dalla Geotechna Srl del Dott. Mauro Pompei, il sedime di intervento si inserisce in un contesto geologicamente dominato da terreni di origine sedimentaria, riconducibili a differenti fasi alluvionali succedutesi nel Quaternario, e legati prevalentemente all'azione di trasporto e deposizione fluviale.

Le indagini eseguite hanno, infatti, evidenziato la presenza di alluvioni ghiaioso-sabbiose, da moderatamente addensate ad addensate in cui si intercalano livelli di sabbie da ghiaiose a limose e limi sabbiosi talora fortemente argillosi fino ad argille limose consistenti.

Nel seguito vengono descritte esclusivamente le unità litologiche più significative ai fini applicativi che interessano e per ciascuna indicati i parametri geotecnici necessari per i calcoli di verifica geotecnica:

A]	Suolo		[Attuale]
B]	Ghiaia ciottoloso-sabbiosa in matrice limo-argillosa		[Olocene]
C]	{ C1] Limo sabbioso-argilloso		[Olocene]
	{ C2] Argilla limosa		[Olocene]
D]	{ D1] Sabbia ghiaiosa		[Olocene]
	{ D2] Sabbia limosa		[Olocene]

STRATO	SPESSORE	PARAMETRI GEOTECNICI						
		PUV	PUV'	c'	c _u	φ	E _{cl}	E _{cd}
A	0,40÷0,50							
<i>Inadatto come substrato di fondazione</i>								
B	3,40÷6,40	21,5÷23,5	11,5÷13,5	0,05÷0,40	-	33÷45	200÷300	-
C1	0,70÷3,70	21,0÷22,0	11,0÷12,0	0,20÷0,40	0,60÷2,20	29÷31	-	50÷80
C2	1,00÷5,10	21,0÷22,0	-	-	0,70÷2,00	18÷20	-	40÷60
D1	0,40÷1,00	21,0÷22,0	11,0÷12,0	0,20÷0,30	-	32÷34	270÷300	-
D2	2,00	20,0÷21,0	10,0÷11,0	0,20÷0,40	-	32÷34	150÷180	-

TABELLA 30 – Riepilogo dei principali parametri geotecnici cautelativamente assegnati ai diversi litostrati
P.U.V. in kN/m³, c e c_u in daN/cm², φ in ° e E_{cl} e E_{cd} in daN/cm²

FLUMINI MANNU	<i>Impianto Solare Termodinamico da 55 MWe "FLUMINI MANNU"</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 Flumini

FLUMINI MANNU	<i>Impianto Solare Termodinamico da 55 MWe "FLUMINI MANNU"</i>	
	<i>Relazione di calcolo delle fondazioni principali</i>	

Mannu, corrisponde a circa 37 m/s a 3,865 metri dal suolo, che è l'altezza dell'asse di rotazione del collettore.

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 (tuboforma) infissa nel terreno per battitura, a perdere.

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).

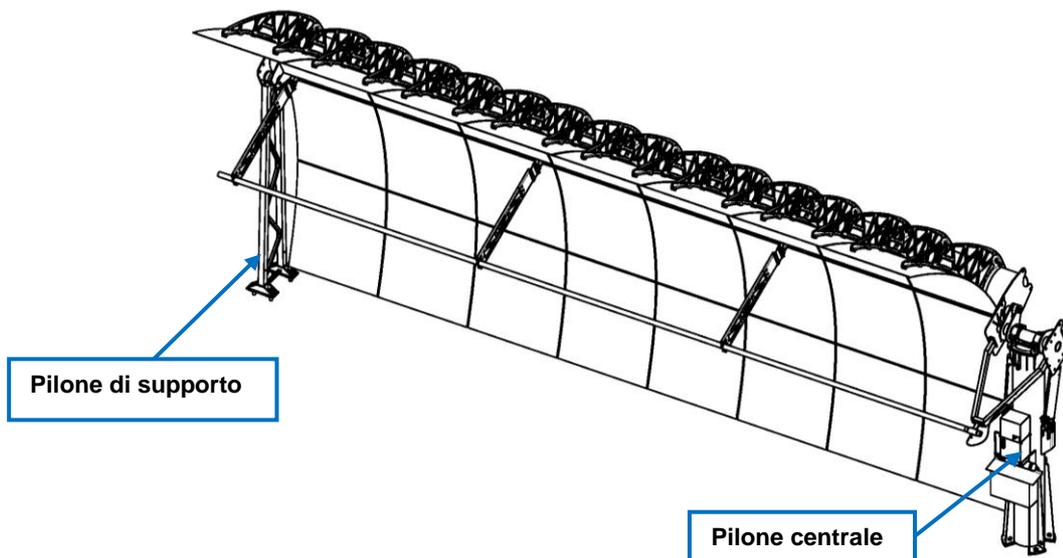


Figura 1: rappresentazione di un SCE sorretto a sinistra da un pilone di supporto e a destra da un pilone centrale

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.

FLUMINI MANNU	<i>Impianto Solare Termodinamico da 55 MWe "FLUMINI MANNU"</i>	
	<i>Relazione di calcolo delle fondazioni principali</i>	

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 (3,8 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.I 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.

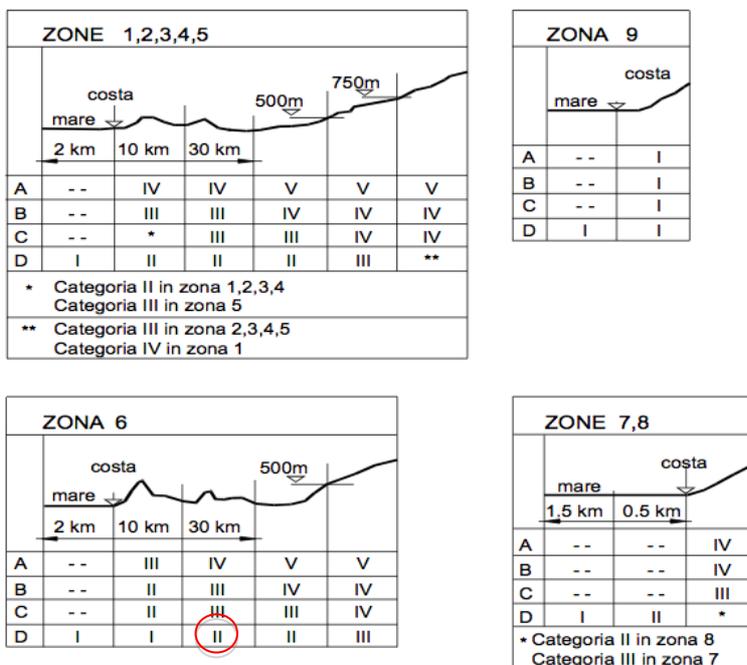


Figura 2: Definizione delle categorie di esposizione (Figura 3.3.2 del DM 14.01.08)

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)

FLUMINI MANNU	<i>Impianto Solare Termodinamico da 55 MWe "FLUMINI MANNU"</i>	
	<i>Relazione di calcolo delle fondazioni principali</i>	

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 definiti 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.

	SOIL LAYERS			
	A	B (PUV)	B (PUV')	C
c =	0,005 MPa	0,005 MPa	0,005 MPa	0,020 MPa
ϕ =	10,00 °	33,00 °	33,00 °	29,00 °
γ =	18,00 kN/m ³	21,50 kN/m ³	11,50 kN/m ³	11,00 kN/m ³
Z inf=	0,50 m	1,50 m	3,90 m	100,00 m

C = Cohesion

ϕ = Friction angle

g = Soil Density (attending to the phreatic level and the saturation of soil, PUV or PUV' are used)

Z inf = depth at the bottom of each layer

Layer A = Suolo (not valid for foundation but considered due to its weight)

Layer B = Ghiaie in matrice sabbioso-limoso-argillosa (it is divided in two layers attending to the phreatic level, aprox 1.5 m deep)

Layer C = Limo sabbioso-argilloso

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

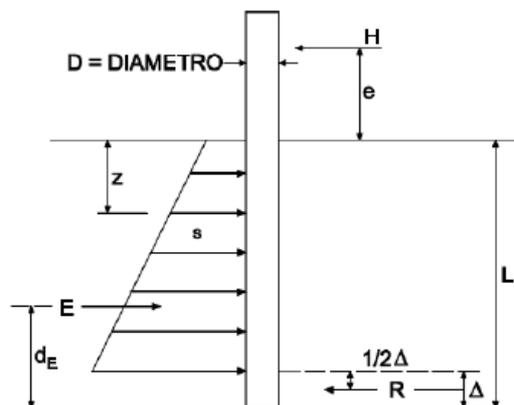
L'Eurocodice 7 propone un'idea generale per il calcolo di pali.

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

FLUMINI MANNU	Impianto Solare Termodinamico da 55 MWe "FLUMINI MANNU"	
	Relazione di calcolo delle fondazioni principali	

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.

- Pressione orizzontale del terreno



HIPOTESIS ADMISIBILE:

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

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

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

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 Δ 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.

FLUMINI MANNU	Impianto Solare Termodinamico da 55 MWe "FLUMINI MANNU"	
	Relazione di calcolo delle fondazioni principali	

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).

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

Dove:

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

D= diametro del palo.

Per questo calcolo non si è tenuto in considerazione lo strato A.

- Conclusioni

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

Il diametro è di 1,2 m per tutti i pali.

Le lunghezze sono le seguenti:

	REGULAR	REINFORCED	DRIVE
Total length (m)	5	6.3	6.7

Essendo il campo solare costituito da 180 loops (o stringhe), ciascuno formato da 4 SCA (Solar Collector Assembly) ognuno a sua volta composto da 14 SCE (Solar Collector Elements), ed avendo ogni coppia di SCA n.29 piloni di sostegno a cui corrispondono 29 pali di fondazione, si ha un numero complessivo di pali di fondazione pari a 10.440.

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 il 90% dei pali saranno del tipo normale, il 7% del tipo centrale e il 3% del tipo rinforzato.

Tipologia Palo	Diametro	Lunghezza	Numero
	[m]	[m]	
Regular (normali)	1,2	5	9.335
Drive (centrali)	1,2	6,7	720
Reinforced (rinforzati)	1,2	6,3	385

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

FLUMINI MANNU	<i>Impianto Solare Termodinamico da 55 MWe "FLUMINI MANNU"</i>	
	<i>Relazione di calcolo delle fondazioni principali</i>	

3.2. FONDAZIONI DELLA POWER-BLOCK

La Power Block occupa una superficie molto 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 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 ad uno strato di circa 1,9 m di argilla espansa, è posizionato un tubo metallico che consente l'aerazione al di sotto del serbatoio, necessaria date le elevate temperature dei sali in esso contenuti.

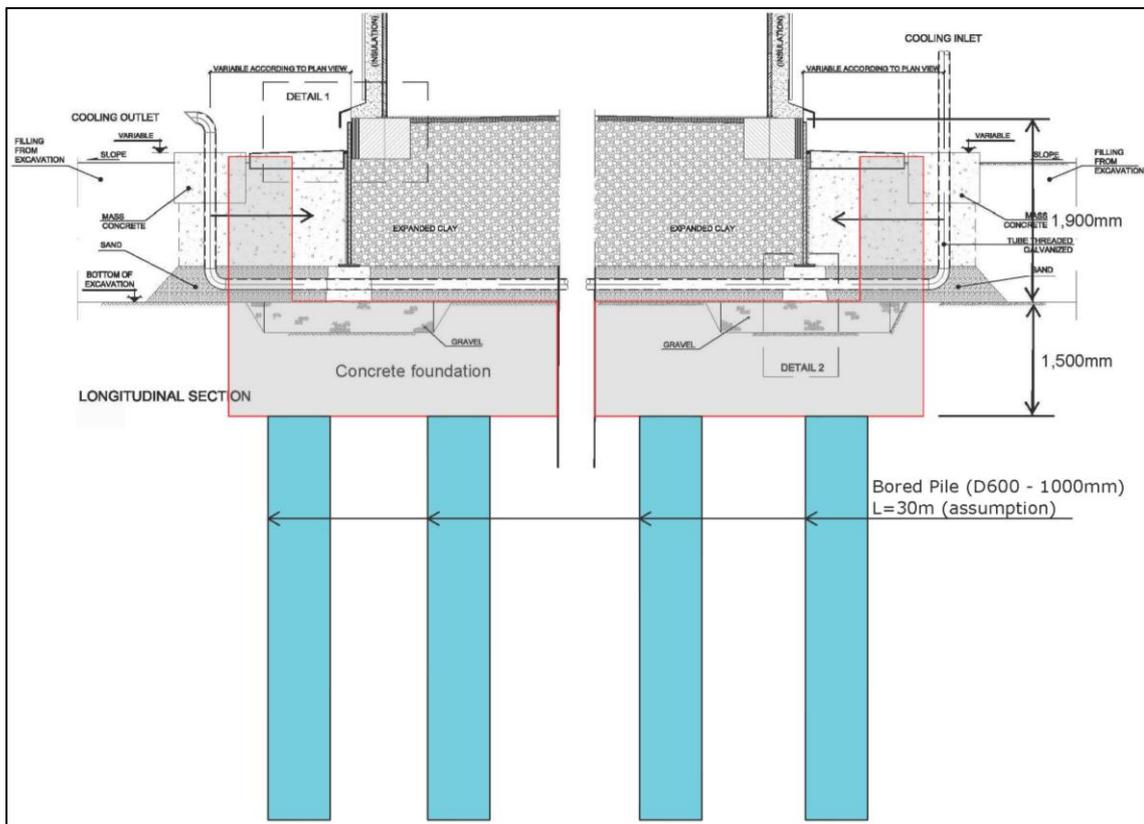


Figura 3: Fondazione del serbatoio di accumulo

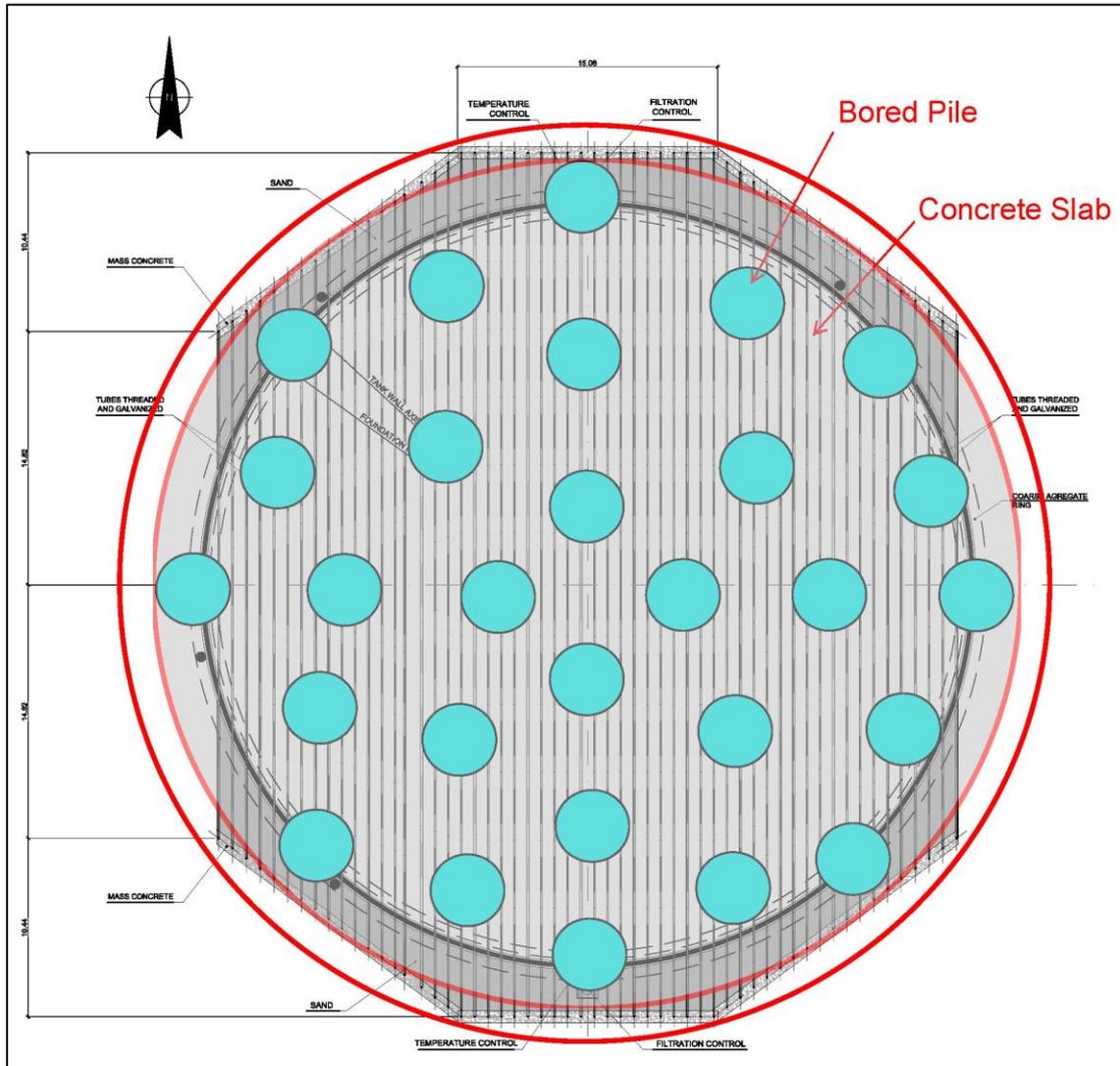


Figura 4: pianta della fondazione dei serbatoi (il numero dei pali rappresentato in figura è puramente indicativo)

FLUMINI MANNU	<i>Impianto Solare Termodinamico da 55 MWe "FLUMINI MANNU"</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 una 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

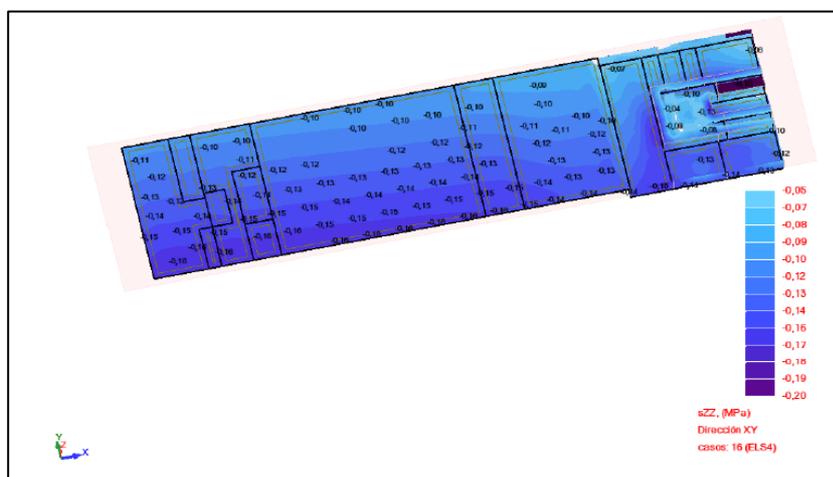
Il programma utilizzato calcola la reazione del terreno in diverse situazioni limite.

Le situazioni di carico peggiori sono:

1. Massima sollecitazione nel servizio ELS 4 (MN/m^2)

Il massimo valore è di 160 kN/m^2

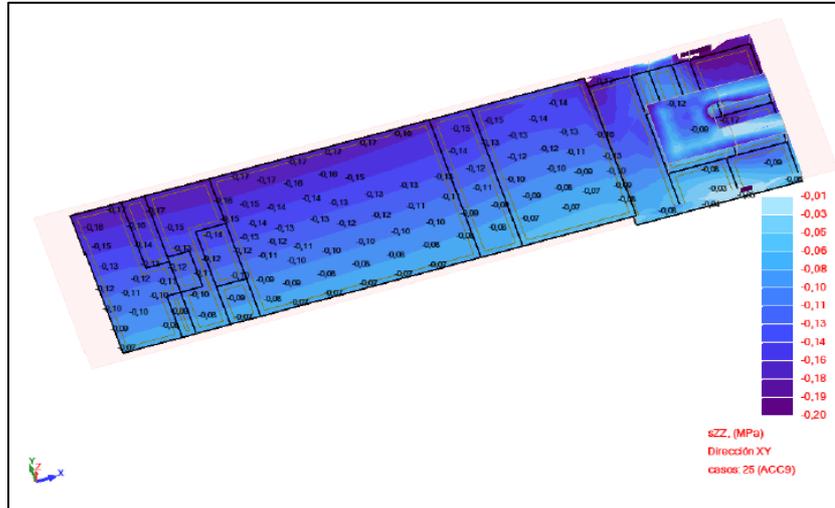
Le sollecitazioni estreme ottenute per casi accidentali sono quelle del caso ACC9



FLUMINI MANNU	<i>Impianto Solare Termodinamico da 55 MWe "FLUMINI MANNU"</i>	
	<i>Relazione di calcolo delle fondazioni principali</i>	

2. Massima sollecitazione per carichi accidentali

Il valore massimo è di 170 kN/m²



La relazione geologico-geotecnica a disposizione afferma che con questo livello di sollecitazioni il bulbo delle tensioni non raggiungerà lo strato C:

“In tal caso per pressioni di contatto contenute, ovvero non superiori a 2 daN/cm², il bulbo delle tensioni sarà collocato interamente all’interno dei depositi dello Strato B, pertanto non verranno interessati da deformazioni verticali gli strati a prevalente frazione argillosa [Strato C], caratterizzati da una maggiore compressibilità e da un cedimento di tipo edometrico ovvero scontabile a medio-lungo termine.”

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 una fondazione mista per la turbina formata da una platea composta interrata di 1 metro e poggiante 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.

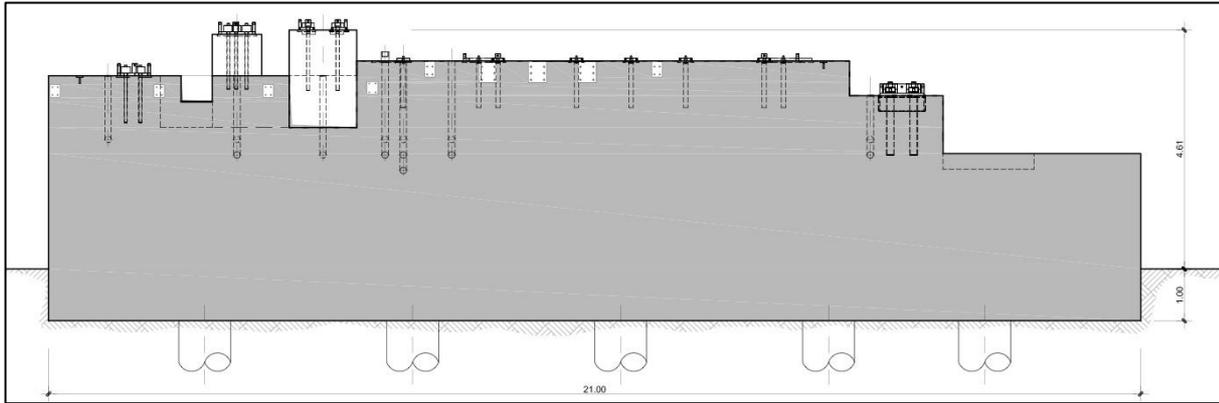


Figura 5: Fondazione Turbina a Vapore - Prospetto

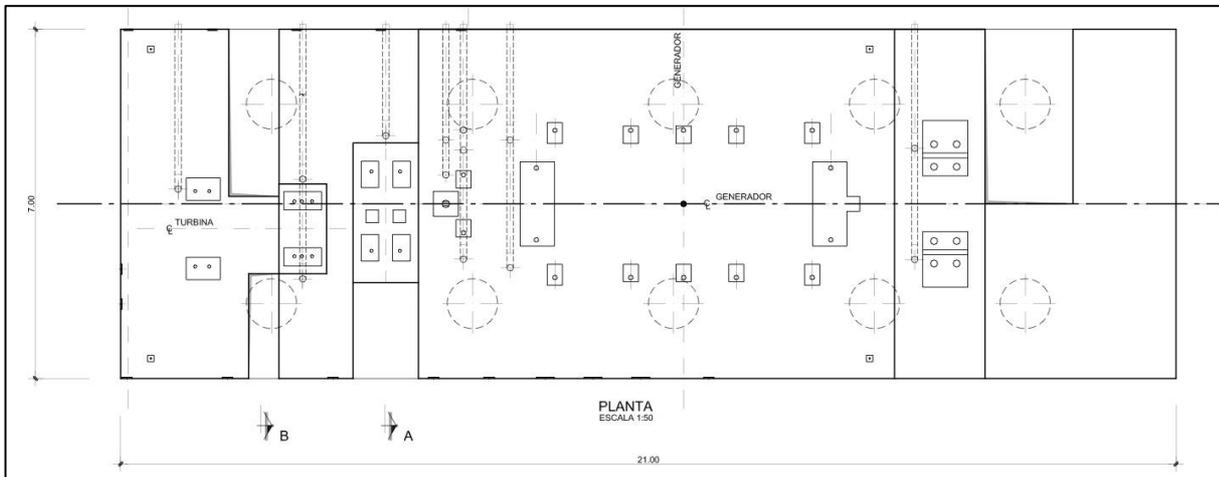


Figura 6: Fondazione Turbina a Vapore - Pianta

FLUMINI MANNU	<i>Impianto Solare Termodinamico da 55 MWe "FLUMINI MANNU"</i>	
	<i>Relazione di calcolo delle fondazioni principali</i>	

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 7: Trivella di perforazione e rivestimento intorno alla cassaforma esistente



Figura 8: Sollevamento con gru dell'intera cassaforma



Figura 9: Riduzione della cassaforma in pezzi più piccoli per facilitare il successivo trattamento e trasporto

FLUMINI MANNU	<i>Impianto Solare Termodinamico da 55 MWe "FLUMINI MANNU"</i>	
	<i>Relazione di calcolo delle fondazioni principali</i>	



Figura 10: *Inserimento nel foro di materiale di riempimento*

FLUMINI MANNU	<i>Impianto Solare Termodinamico da 55 MWe "FLUMINI MANNU"</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.

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 180 loops o stringhe, ciascuno formato da 4 SCA (Solar Collector Assembly) ognuno a sua volta composto da 14 SCE (Solar Collector Elements), ed avendo ogni coppia di SCA n.29 piloni di sostegno a cui corrispondono 29 pali di fondazione, si ha un numero complessivo di pali di fondazione pari a 10.440.

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 il 90% dei pali saranno del tipo normale, il 7% del tipo centrale e il 3% del tipo rinforzato.

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

Volume di scavo per le opere di fondazione del campo solare	~ 60.700 m³
---	-------------------------------

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.

FLUMINI MANNU	<i>Impianto Solare Termodinamico da 55 MWe "FLUMINI MANNU"</i>	
	<i>Relazione di calcolo delle fondazioni principali</i>	

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: 52.694 m²;

Area occupata da edifici nella power block: 2.084 m²;

Aree pavimentate: 35.365 m².

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 m³.

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

4292 m³ che approssimiamo a 5.000 m³.

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 m³ 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 m³.

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

FLUMINI MANNU	<i>Impianto Solare Termodinamico da 55 MWe "FLUMINI MANNU"</i>	
	<i>Relazione di calcolo delle fondazioni principali</i>	

Volume di scavo per le opere di fondazione dei principali elementi della power block (serbatoi di accumulo sali, turbina, sistema di raffreddamento)	~ 14.353 m³
Terreno da rimuovere per le opere di fondazione degli altri edifici della power block + aree pavimentate	~ 5.000 m³
Volume di scavo per il bacino di contenimento dei serbatoi dei sali fusi	~ 17.700 m³
Volume di scavo per il bacino di accumulo dell'acqua industriale	~ 30.000 m³
Totale	~ 67.000 m³

FLUMINI MANNU	<i>Impianto Solare Termodinamico da 55 MWe "FLUMINI MANNU"</i>	
	<i>Relazione di calcolo delle fondazioni principali</i>	

6. ALLEGATI

- Relazione:
 - “SOLAR FIELD AND TURBINE FOUNDATIONS CALCULATIONS”
- Tavole
 - 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”

SARDINIA CSP FLUMINI MANNU PROJECT



SOLAR FIELD AND TURBINE FOUNDATIONS CALCULATIONS



SARDINIA CSP - SOLAR FIELD AND TURBINE FOUNDATIONS CALCULATIONS

Control de firmas / Signature Control

Realizado / Revisado Written / Checked	Aprobado Approved
AC/IZ	PAZ
Fecha y Firma Date and Signature	Fecha y Firma Date and Signature
No precisa firma si está aprobado electrónicamente mediante ruta / Signature not needed if electronically approved by route	

Información del Documento	
Información del Documento	
Código Documento	CER-SRPM-NT-0005
Referencia	

SARDINIA CSP - SOLAR FIELD AND TURBINE FOUNDATIONS CALCULATIONS

TABLE OF CONTENTS

1	INTRODUCTION	5
2	OBJECT	6
3	SOIL CHARACTERISTICS	6
4	STEAM TURBINE FOUNDATIONS	6
4.1	Introduction	6
4.2	Requirements	7
4.3	Checking bearing pressures	8
5	FOUNDATIONS SOLAR FIELD PILES	10
5.1	Loads	10
5.2	Geotechnics	12
5.3	Results	12

SARDINIA CSP - SOLAR FIELD AND TURBINE FOUNDATIONS CALCULATIONS

1 INTRODUCTION

CHIYODA Corporation and SENER Ingeniería y Sistemas, S.A are jointly working in bidding process for the constructions of 55 MW thermal solar plant in Sardinia.



CHIYODA Corporation is a Japanese Company, with high experience in the petroleum refining, gas processing and petrochemical fields. Chiyoda has developed a demo plant with a loop with molten salts.

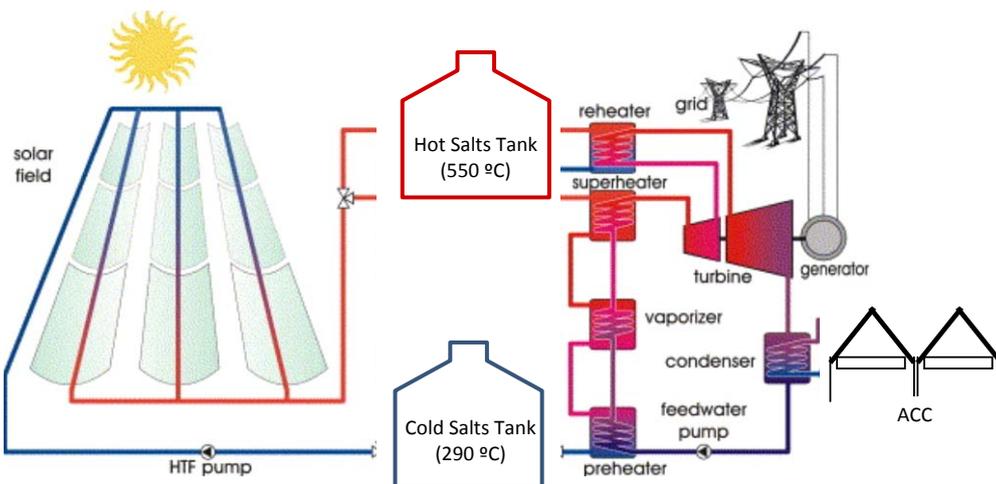


SENER Ingeniería y Sistemas, S.A. is an international EPC Company with headquarters in Spain, leader in investment, design and construction of CSP plants.

Project Description

The Flumini Mannu Project is a 55 MWe net power Concentrated Solar Power (CSP) plant using parabolic-trough technology to capture and concentrate the solar energy to heat molten salt fluid (HTF) used to generate steam which will be turbine in order to produce electricity.

In following figure shows the process flow diagram of a parabolic trough solar power plant is shown.



A CSP plant is based on the installation of a field of cylindrical parabolic elements, able to concentrate the solar radiation which they receive in the focus of its parabola, where a Heat Collector Element (HCE) are located; through the HCE circulates melted salts that are heated up from 290 °C to 550 °C by this contribution of energy, and are stored in a tank of hot salts. From this tank, hot salts are pumped to a steam generator, where steam is produced, that moves a conventional turbine-alternator, generating electricity that is exported to the network. The cooled salts coming out of the steam generator are stored in a tank, until they are pumped to the Solar Field.

The CSP includes the following main systems:

- Solar Field system
- Thermal Energy Storage (TES) system
- Steam Generation system
- Steam Turbine and water/steam system
- Auxiliary systems.

SARDINIA CSP - SOLAR FIELD AND TURBINE FOUNDATIONS CALCULATIONS

2 OBJECT

The purpose of this document is to present the basic calculation of the foundations of the solar field and turbine, at the Flumini Mannu solar plant

This preliminary design is aimed to identify the type of foundation of the various elements and their approximate size, estimated on the basis of available geotechnical information

3 SOIL CHARACTERISTICS

It is a continental deposit means fluvio-deltaic environment, which originated from the reworking of preexisting sediments mostly Miocene. Consists of:

Rimandando per i dettagli alle descrizioni contenute nel capitolo dedicato alla MODELLAZIONE GEOLOGICA, il sedime di intervento si inserisce in un contesto geologicamente dominato da terreni di origine sedimentaria, riconducibili a differenti fasi alluvionali succedutesi nel Quaternario, e legati prevalentemente all'azione di trasporto e deposizione fluviale. Le indagini eseguite hanno infatti evidenziato la presenza di alluvioni ghiaioso-sabbiose, da moderatamente addensate ad addensate in cui si intercalano livelli di sabbie da ghiaiose a limose e limi sabbiosi talora fortemente argillosi fino ad argille limose consistenti.

Rimandando per i dettagli alle descrizioni contenute nel capitolo dedicato alla MODELLAZIONE GEOLOGICA, nel seguito vengono descritte esclusivamente le unità litologiche più significative ai fini applicativi che interessano e per ciascuna indicati i parametri geotecnici necessari per i calcoli di verifica geotecnica:

A]	Suolo		[Attuale]
B]	Ghiaia ciottoloso-sabbiosa in matrice limo-argillosa		[Olocene]
C]	{ C1] Limo sabbioso-argilloso		[Olocene]
	{ C2] Argilla limosa		[Olocene]
D]	{ D1] Sabbia ghiaiosa		[Olocene]
	{ D2] Sabbia limosa		[Olocene]

STRATO	SPESSORE	PARAMETRI GEOTECNICI						
		PUV	PUV'	c'	c _u	φ	E _{el}	E _{ed}
A	0,40÷0,50	<i>Inadatto come substrato di fondazione</i>						
B	3,40÷6,40	21,5÷23,5	11,5÷13,5	0,05÷0,40	-	33÷45	200÷300	-
C1	0,70÷3,70	21,0÷22,0	11,0÷12,0	0,20÷0,40	0,60÷2,20	29÷31	-	50÷80
C2	1,00÷5,10	21,0÷22,0	-	-	0,70÷2,00	18÷20	-	40÷60
D1	0,40÷1,00	21,0÷22,0	11,0÷12,0	0,20÷0,30	-	32÷34	270÷300	-
D2	2,00	20,0÷21,0	10,0÷11,0	0,20÷0,40	-	32÷34	150÷180	-

TABELLA 30 – Riepilogo dei principali parametri geotecnici cautelativamente assegnati ai diversi litostrati
 P.U.V. in kN/m³, c e c_u in daN/cm², φ in ° e E_{el} e E_{ed} in daN/cm²

4 STEAM TURBINE FOUNDATIONS

4.1 Introduction

SARDINIA CSP - SOLAR FIELD AND TURBINE FOUNDATIONS CALCULATIONS

To make an initial definition of the Steam Turbine foundations, static and dynamic calculations were developed using 3D finite element models, taking into account the damping of the subsoil and the concrete. It is calculated the static deformation of the foundation and limits of differential movement between the support points of the machines. It is also checked the dynamic calculation of natural frequencies and velocities of different points of foundation under a harmonic load.

The 3D finite element model is created using type "brick" volumetric elements with eight nodes. The natural frequencies of the system are calculated with a modal analysis. Verification of the speeds was performed by temporal analysis with rotating load.

The subsoil is modeled by springs with equivalent stiffness. To take into account a wide range of variation in terrain features different calculations have been made, by dividing and multiplying soil stiffness by a factor of 1.5.

It have been performed simultaneously two types of calculations. The first one is based on traditional methods to evaluate the static and dynamic characteristics. The second one uses two-dimensional models to size the reinforcing steel and to calculate the dynamic effects of the structure (natural frequencies, speeds foundation points, etc.).

4.2 Requirements

This section lists the requirements to be met by the foundation of the steam turbine, apart from the stress calculations and reinforcement.

4.2.1 Settlements and deformations.

It is checked that the maximum rotation of the foundation due to settlements between two supports joint team does not exceed the value of 1/1000.

The W deformations due to live loads on three supports (1,2,3) adjacent equipment, and positioned parallel to the major axis must satisfy the following condition:

$$w_1 - 2 w_2 + w_3 < 1.0 \text{mm}$$

The W deformations due to live loads on three supports (1,2,3) adjacent equipment, and positioned perpendicular to the spine must satisfy the following condition:

$$w_1 - 2 w_2 + w_3 < 0.4 \text{mm}$$

The Deflection due to extraordinary charges must not exceed three times the maximum value for non-accidental live loads.

4.2.2 Dynamic Checks

Speeds:

For each element in rotational movement applies a centrifugal force equal to $F = (G \times n) / 15000$, where G is the weight of rotor speed, n is the rotation speed at working conditions in r.p.m.. The load is applied at the center of gravity of the rotor. The amplitudes calculated with these loads must not exceed at any point of the foundation the corresponding values of the main speed.

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

Where v_x , v_y , v_z are the amplitudes of the components of the velocity vector. A value of $V_{rms} = 1.0 \text{ mm / s}$ indicates normal operation.

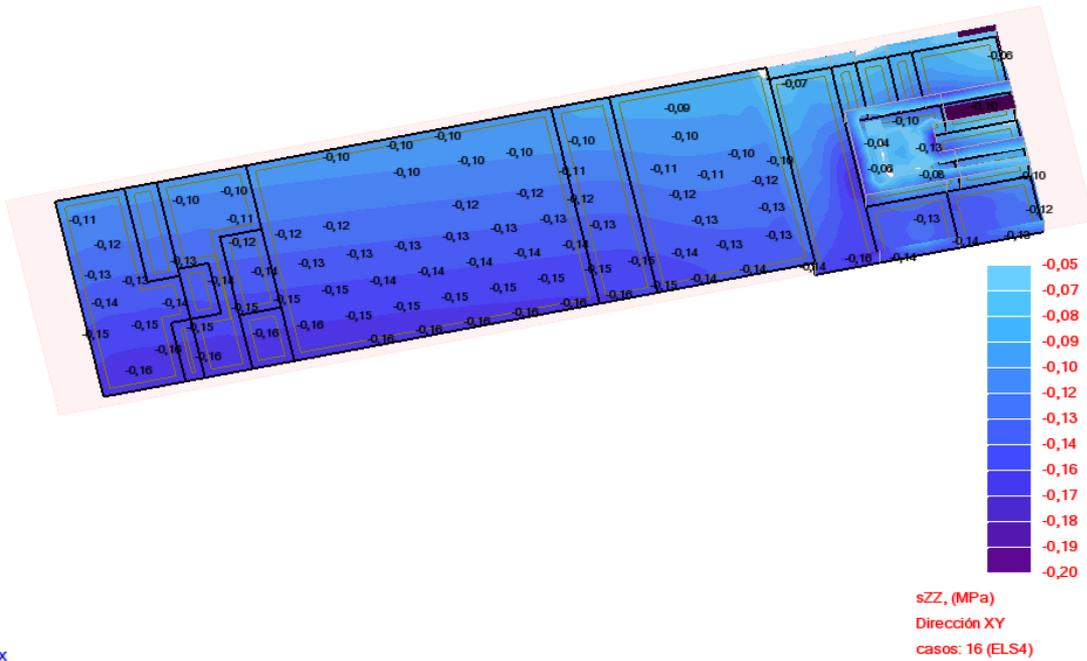
Natural Frequencies:

SARDINIA CSP - SOLAR FIELD AND TURBINE FOUNDATIONS CALCULATIONS

The natural frequencies of the foundation must be outside the range of 0.8 to 1.2 times the speed of operation of each of the rotors.

4.3 Checking bearing pressures

The computer program calculates the reaction stress of the ground for different limit situations. The worst stress situation for the combination ELS 4 are:

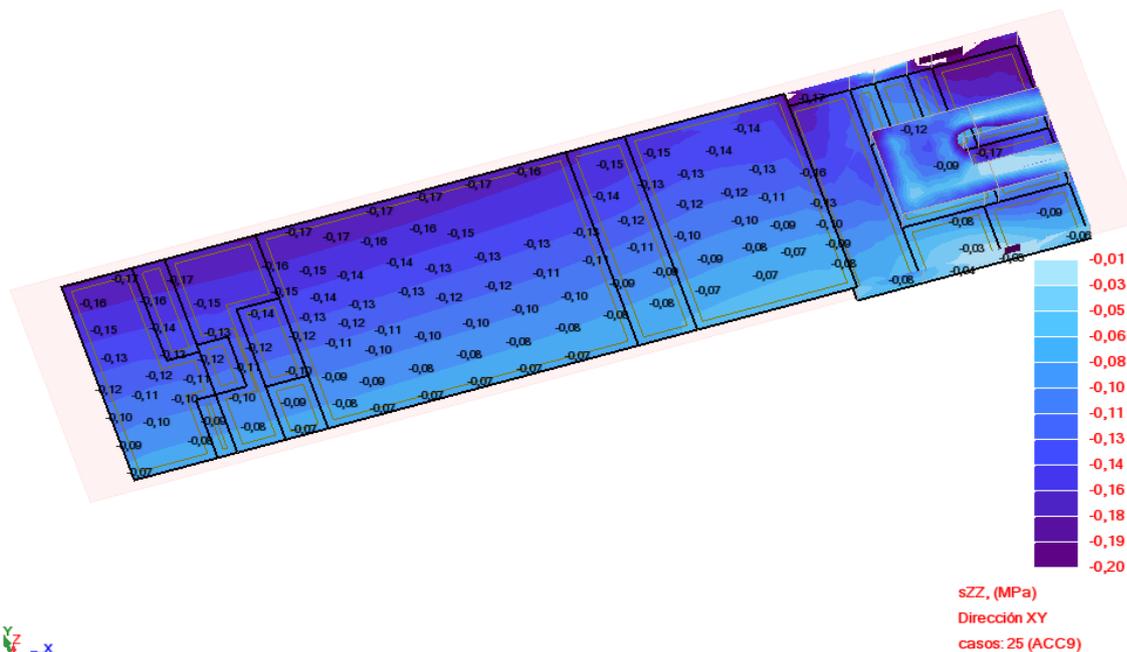


Maximum stresses in service ELS4 (MN / m2)

The maximum value is 160kN / m2.

The extremely stresses obtained for accidental cases are obtained for the case ACC9

SARDINIA CSP - SOLAR FIELD AND TURBINE FOUNDATIONS CALCULATIONS



Maximum stresses for accidental cases (MN / m2)

The maximum value is 170kN / m2.

With this stress levels, and although the studies determines that the bulb will not reach the C stratum, due to the sensitivity of this element to differential settlement that could cause the general failure of the turbine, it is proposed to improve the ground by gravel or concrete piles, if this is required by the more detailed geotechnical study

“In tal caso per pressioni di contatto contenute, ovvero non superiori a 2 daN/cm2, il bulbo delle tensioni sarà collocato interamente all'interno dei depositi dello Strato B, pertanto non verranno interessati da deformazioni verticali gli strati a prevalente frazione argillosa [Strato C], caratterizzati da una maggiore compressibilità e da un cedimento di tipo edometrico ovvero scontabile a medio-lungo termine.”

SARDINIA CSP - SOLAR FIELD AND TURBINE FOUNDATIONS CALCULATIONS

5 FOUNDATIONS SOLAR FIELD PILES

5.1 Loads

In order to obtain the loads for the collector foundations, it is necessary the definition of the design wind gust speed at the axis height of the collector (3.8 meters)

According the Italian legislation the parameters are described as follow.



Tabella 3.3.I - Valori dei parametri $v_{b,0}$, a_0 , k_a

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

SARDINIA CSP - SOLAR FIELD AND TURBINE FOUNDATIONS CALCULATIONS

Tabella 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 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.

In order to determine the exposure coefficient the following table are necessary.

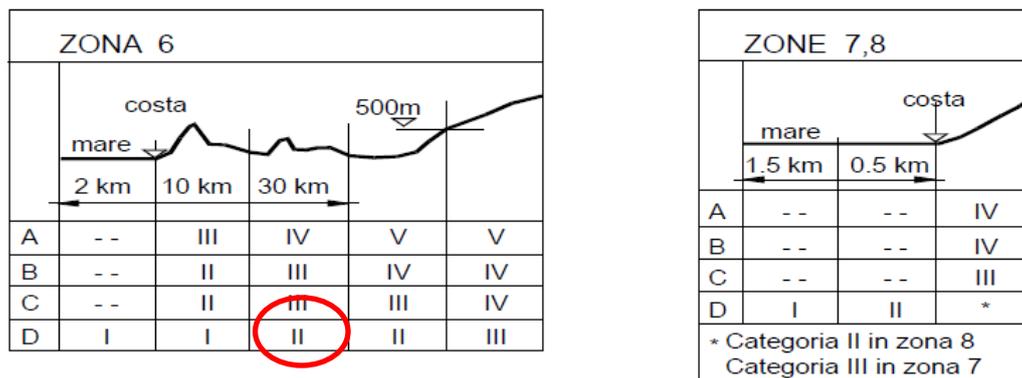


Figura 3.3.2 - Definizione delle categorie di esposizione

SARDINIA CSP - SOLAR FIELD AND TURBINE FOUNDATIONS CALCULATIONS

Tabella 3.3.II – Parametri per la definizione del coefficiente di esposizione

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

Taking into account the exposure site II, the design wind gust speed is 37.57 m/s at the axis height of the collector.

On the other hand, the aerodynamic coefficients has to be obtained according the following documents.

- "Wind tunnel test of Parabolic Trough Solar Collectors" NREL
- Internal Wind tunnel tests and Computational fluid dynamics analysis.

5.2 Geotechnics

The characteristics of soil are defined in the geotechnical report implemented by Geotechna S.r.l. The table abovementioned summarizes the data for each soil layer. Piles have been calculated employing the pessimistic values shown in the table; in other words, the lower values for each parameter:

	SOIL LAYERS			
	A	B (PUV)	B (PUV')	C
c =	0,005 MPa	0,005 MPa	0,005 MPa	0,020 MPa
ϕ =	10,00 °	33,00 °	33,00 °	29,00 °
γ =	18,00 kN/m ³	21,50 kN/m ³	11,50 kN/m ³	11,00 kN/m ³
Z inf=	0,50 m	1,50 m	3,90 m	100,00 m

C = Cohesion

ϕ = Friction angle

g = Soil Density (attending to the phreatic level and the saturation of soil, PUV or PUV' are used)

Z inf = depth at the bottom of each layer

Layer A = Suolo (not valid for foundation but considered due to its weight)

Layer B = Ghiaie in matrice sabbioso-limoso-argillosa (it is divided in two layers attending to the phreatic level, aprox 1.5 m deep)

Layer C = Limo sabbioso-argilloso

5.3 Results

CODE: -Eurocode 7 (EN 1997-1:2004). Section 7. Pile foundations. - European CODE

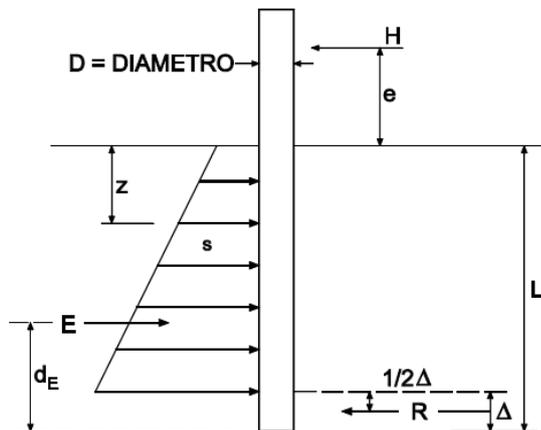
SARDINIA CSP - SOLAR FIELD AND TURBINE FOUNDATIONS CALCULATIONS

CTE (“Código Técnico de Edificación” - CTE-DEB-SE-C). - Spanish CODE

Eurocode 7 facilitates a general idea for the calculation of piles. The same design basis is showed in the Spanish code but theory is fully developed.

As appears from external loads and soil parameters, piles have to be designed mainly for resisting the horizontal force (and the moment that produces) and avoid head displacements higher than 10 mm.

Lateral earth pressure



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:

$$H = E - R$$

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

Soil must resist the lateral force (H) produced by the parabolic trough. Geotechnical Engineering develops a model to solve the problem: a soil distributed law that increases with depth (s) - Passive stresses - and the reaction at the base (it is assumed that all the reaction is concentrated in a small length so it is a point force (R)).

Equilibrium equation must be reached: $H = E$ (total force for the distributed law) - R. Moment at the base must be 0 (zero).

Solution:

We obtain the value of Δ that makes the moment at the base 0 so that the safety factor, which is the ratio between the horizontal force (H) that can be applied without soil collapse and the horizontal force needed is 3 times or higher for the length chosen in data base.

Displacements: Short pile analysis

SOURCE: “Geotecnia y cimientos. Tomo III”. Author: Jose Antonio Jimenez Salas. Page 197.

I.S.B.N.:84-7207-017-4

SARDINIA CSP - SOLAR FIELD AND TURBINE FOUNDATIONS CALCULATIONS

When the ratio length/diameter of the pile is lower than 8, the displacements must be calculated employing the short pile analysis: geotechnical specialists have developed a theory for these semi-deep-foundations in which the deformation depends on the soil and pile characteristics.

In this case we do use the horizontal ballast coefficient to obtain displacements; both the horizontal displacement and the rotation (inclination).

$$K_h = 0.75 \times E / D$$

Where:

E = Modulus of elasticity (depending on the soil layer, ranging from 20 to 30 MPa)

D = Pile diameter

The soil layer A is not considered for the calculation.

Conclusion

The adverse combination for the piles is the self-weight + wind in all cases. The diameter is 1.2 m for all piles.

The lengths are the following:

	REGULAR	REINFORCED	DRIVE
Total length (m)	5	6.3	6.7