

Comune di Sassari

(Provincia di Sassari)



Centrale di Fiume Santo Realizzazione nuovo gruppo

Lithos S.r.l. - Via Municipale, 92 - Tissi (SS) - tel./fax 0792678014 - cell. 3463514050 - e-mail geo.lithos@gmail.com

Tavola:

A_01

Elaborato:

Relazione geologica e geotecnica

Pratica:

Revisione:

Data:

Giu. 2021

Committente:

 **FIUME SANTO**
Fiume Santo S.p.A.

Consulenza:

Lithos S.r.l.
Dott. geol. Alessandro Muscas

**ORDINE DEI GEOLOGI**
REGIONE SARDEGNA
SEZIONE A
N. 210 Dott. Geol. ALESSANDRO MUSCAS

INDICE

1	PREMESSA	2
2	INQUADRAMENTO GEOGRAFICO.....	4
3	INDAGINI ESEGUITE, PROVE IN SITU E DI LABORATORIO	5
3.1	CAMPAGNA SONDAGGI GEOGNOSTICI	5
3.1.1	<i>Sondaggi geognostici fase 1</i>	5
3.1.2	<i>Sondaggi geognostici fase 2</i>	10
3.2	RISULTATI DELLE PROVE IN SITU E DI LABORATORIO	12
3.2.1	<i>Premessa</i>	12
3.2.2	<i>Prove S.P.T.</i>	12
3.2.3	<i>Prove penetrometriche dinamiche</i>	13
3.2.4	<i>Prove penetrometriche statiche (CPT)</i>	13
3.2.5	<i>Analisi di laboratorio</i>	14
3.2.6	<i>Parametri geotecnici fase I</i>	16
3.2.7	<i>Parametri geotecnici fase II</i>	18
3.3	INDAGINI GEOFISICHE – FASE 3	19
4	RELAZIONE GEOLOGICA.....	20
4.1	INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO	20
4.1.1	<i>Inquadramento geomorfologico</i>	24
4.1.2	<i>Inquadramento idrogeologico</i>	24
4.2	MODELLO GEOLOGICO	26
4.2.1	<i>Caratterizzazione geologica</i>	26
5	RELAZIONE GEOTECNICA.....	28
5.1	MODELLO GEOTECNICO DEL SOTTOSUOLO	28
6	RELAZIONE SISMICA.....	29
6.1	SISMICITÀ STORICA	29
6.2	AZIONE SISMICA DI PROGETTO.....	30
6.2.1	<i>Categoria di Sottosuolo</i>	31
6.2.2	<i>Condizioni topografiche</i>	32
7	CONCLUSIONI	33

ALLEGATI

INDAGINI GEOTECNICHE QUINTO GRUPPO – ANNO 2010

- A_02 - STRATIGRAFIE E DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA
- A_03 - CERTIFICATI PROVE DI LABORATORIO
- A_04 - CERTIFICATI PROVE IN SITU
- A_06 - DETTAGLI DEI SONDAGGI GEOGNOSTICI
- A_07 - COORDINATE SONDAGGI E PROVE IN SITU
- B_01 – INQUADRAMENTO GEOLOGICO – IDROGEOLOGICO
- B_02 – UBICAZIONE SONDAGGI, PROVE IN SITU E PIEZOMETRI

INDAGINI REALIZZAZIONE NUOVO GRUPPO - MAGGIO 2021

- A_02 – REPORT GEOFISICO
- B_01 – SEZIONI GEOTECNICHE

1 PREMESSA

Su commissione di Fiume Santo S.p.A. è stato condotto uno studio geologico, geotecnico e geofisico in seno alla realizzazione di un nuovo impianto per la produzione di energia da ubicare all'interno della centrale elettrica di Fiume Santo, in una area compresa tra i gruppi 3-4 e la collina gessi.

L'area oggetto d'intervento è stata già sottoposta a indagine, tra il 2009 e il 2010, per la progettazione del "Quinto gruppo" a carbone. Il nuovo impianto previsto sostituisce il suddetto progetto ricalcando in toto le medesime aree d'ingombro pertanto, il presente studio integra la documentazione di carattere geologico e geotecnico del sito, fin qui prodotta dagli scriventi, per fornire un adeguato supporto alla progettazione preliminare così come previsto dalla normativa vigente (**D.M. 17 gennaio 2018 – NTC 2018** - «*Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni*»).

A tal fine sono state eseguite, nel mese di maggio 2021, una serie di indagini geofisiche finalizzate alla caratterizzazione sismica del sito di progetto tramite la ricostruzione dei modelli sismo-stratigrafici del sottosuolo e la determinazione della Categoria di Sottosuolo.

I lavori d'indagine, suddivisi in varie fasi temporali, possono essere così riassunti:

- Durante la prima fase sono stati realizzati n° 10 sondaggi verticali a carotaggio continuo spinti alla profondità di 40 metri dal piano campagna e distribuiti come da planimetria allegata. Tutti i sondaggi non prevedevano condizionamenti con piezometri pertanto, una volta ultimati, sono stati riempiti con apposita miscela cementizia fino a bocca foro. Nel corso dei sondaggi sono stati prelevati campioni per analisi di laboratorio geotecnico (indagine svolta tra il 04/05/2009 e il 17/06/2009);
- La seconda fase ha previsto l'esecuzione di n° 1 sondaggio geognostico verticale a carotaggio continuo spinto alla profondità di 40 metri dal piano campagna e di n° 3 sondaggi geognostici verticali a carotaggio continuo fino a 13 metri ciascuno e che sono stati attrezzati a piezometro per le letture freaticometriche. Esecuzione di n° 5 prove penetrometriche statiche (CPT) e n° 8 prove penetrometriche dinamiche (DPH) le cui caratteristiche sono state esplicitate nel capitolo dedicato. anche nella seconda fase sono stati prelevati campioni da sottoporre a prove di laboratorio al fine di raffinare i dati stratigrafici, effettuare correlazioni e ottenere un profilo geomeccanico affidabile (indagine svolta tra il 16/12/2009 e il 25/01/2010).
- Nella terza campagna d'indagini sono stati svolti una serie di rilievi geofisici; In particolare sono state realizzate indagini di tipo sismico sviluppate secondo due allineamenti principali e paralleli con andamento NE-SW che hanno attraversato in

senso longitudinale tutta l'area di progetto. Ogni allineamento è stato realizzato dal concatenamento di più stendimenti sismici in tecnica tomografica da 24 geofoni e lunghezza di 62,50 m ciascuno. In sovrapposizione ai suddetti stendimenti sono stati effettuati due rilievi in tecnica M.A.S.W con determinazione parametro sismico $V_{s,eq}$ in accordo con le NTC 2018.

A causa della forte eterogeneità laterale delle diverse unità litostratigrafiche rinvenute, in ragione dei modelli deposizionali che le hanno messe in posto determinando un'ampia variabilità dei loro reciproci contatti, non è stato ritenuto significativo effettuare una interpolazione litostratigrafica tra i vari sondaggi, ma si ritengono validi i riscontri geologici sulla verticale dei sondaggi stessi. Per quanto riguarda la ricostruzione del modello geotecnico preliminare è stata operata una correlazione tra le indagini di tipo puntuale con quelle di tipo geofisico accorpare le diverse litologie appartenenti a ranghi differenti e non omogenei in tre diverse unità geotecniche aventi caratteristiche di addensamento/consistenza simili.

2 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

L'area della *Centrale Termoelettrica di Fiume Santo*, di proprietà della **FIUME SANTO S.p.A.**, ricade all'interno dei limiti amministrativi del Comune di Sassari (SS) ed è inclusa nel Foglio I.G.M. in scala 1:25.000 al Foglio n°440 sez II "Pozzo S.Nicola". Nella Carta Tecnica Regionale in scala 1:10.000 l'area in studio ricade nel foglio n°440160.

La Centrale è inserita nel Sito di Interesse Nazionale con la denominazione "aree industriali di Porto Torres", come indicato dall'art. 14 della Legge 31 luglio 2002, n. 179 "Disposizioni in materia ambientale" riferita alla Legge 9 dicembre 1998, n. 426 "Nuovi interventi in campo ambientale".

L'area dove sorge l'impianto industriale in oggetto si trova all'interno dell'Area di Sviluppo Industriale di Sassari – Porto Torres – Alghero (A.S.I.) ed in particolare nel territorio definito "Area per impianti termoelettrici" che ricade nel Comune di Sassari compreso, geograficamente, fra lo *Stagno di Pilo* e la foce del *Fiume Santo*.

Il nuovo impianto per la produzione di energia sarà ubicato all'interno della centrale elettrica in una area compresa tra i gruppi 3-4 e la collina gessi. Vedi figura seguente.



Figura 1 – Ubicazione area d'intervento su ortofoto

3 INDAGINI ESEGUITE, PROVE IN SITU E DI LABORATORIO

3.1 CAMPAGNA SONDAGGI GEOGNOSTICI

3.1.1 Sondaggi geognostici fase 1

La campagna di indagini geognostiche ha previsto l'esecuzione di n° 10 sondaggi geognostici a carotaggio continuo così di seguito dettagliati:

SONDAGGIO: PS1 VERTICALE – ROTAZIONE A CAROTAGGIO CONTINUO

Esecuzione di n° 1 sondaggio spinto fino alla profondità di 40 m dal p.c. con l'utilizzo di un carotiere semplice fino alla profondità di 14,30 metri e poi di un carotiere doppio fino a fine foro, con corona in vidia, di diametro pari a 101.0 mm

Rivestimenti metallici provvisori realizzati fino alla profondità di 14,50 m dal p.c.

Nessuna installazione

Prova SPT

	Profondità dal p.c.	Valori misurati
SPT1	– 4,30 m	6-12-13
SPT2	– 8,30 m	6-9-10

Campionamento

Campione	Profondità dal p.c.
PS 01-C1	9,50/9,80 m
PS 01-C2	13,00/13,40 m

Utilizzo di n° 8 cassette catalogatrici per la conservazione dei terreni attraversati.

N° 8 Foto a colori delle cassette catalogatrici.

SONDAGGIO: PS2 VERTICALE – ROTAZIONE A CAROTAGGIO CONTINUO

Esecuzione di n° 1 sondaggio spinto fino alla profondità di 40 m dal p.c. con l'utilizzo di un carotiere semplice fino alla profondità di 8,00 metri e poi di un carotiere doppio fino a fine foro, con corona in vidia, di diametro pari a 101.0 mm

Rivestimenti metallici provvisori realizzati fino alla profondità di 8,00 m dal p.c.

Nessuna installazione

Prova SPT

	Profondità dal p.c.	Valori misurati
SPT1	– 4,30	9-10-9

Campionamento

Campione	Profondità dal p.c.
PS 02-C1	39,30/39,60 m

Utilizzo di n° 8 cassette catalogatrici per la conservazione dei terreni attraversati.

N° 8 Foto a colori delle cassette catalogatrici.

SONDAGGIO: PS3 VERTICALE – ROTAZIONE A CAROTAGGIO CONTINUO

Esecuzione di n° 1 sondaggio spinto fino alla profondità di 40 m dal p.c. con l'utilizzo di un carotiere semplice fino alla profondità di 11,50 metri e poi di un carotiere doppio fino a fine foro, con corona in vidia, di diametro pari a 101.0 mm

Rivestimenti metallici provvisori realizzati fino alla profondità di 7,00 m dal p.c.

Nessuna installazione

Prova SPT

	Profondità dal p.c.	Valori misurati
SPT1	– 3,70 m	19-13-19

Campionamento

Campione	Profondità dal p.c.
PS 03-C1	11,20/11,60 m

Utilizzo di n° 8 cassette catalogatrici per la conservazione dei terreni attraversati.

N° 8 Foto a colori delle cassette catalogatrici.

SONDAGGIO: PS4 VERTICALE – ROTAZIONE A CAROTAGGIO CONTINUO

Esecuzione di n° 1 sondaggio spinto fino alla profondità di 40 m dal p.c. con l'utilizzo di un carotiere semplice fino alla profondità di 12,20 metri e poi di un carotiere doppio fino a fine foro, con corona in vidia, di diametro pari a 101.0 mm

Rivestimenti metallici provvisori realizzati fino alla profondità di 14,50 m dal p.c.

Nessuna installazione

Prova SPT

	Profondità dal p.c.	Valori misurati
SPT1	– 4,50 m	10-6-7

Campionamento

Campione	Profondità dal p.c.
PS 04-C1	8,50/8.90 m
PS 04-C2	9,00/9,70 m

Utilizzo di n° 8 cassette catalogatrici per la conservazione dei terreni attraversati.

N° 8 Foto a colori delle cassette catalogatrici.

SONDAGGIO: PS5 VERTICALE – ROTAZIONE A CAROTAGGIO CONTINUO

Esecuzione di n° 1 sondaggio spinto fino alla profondità di 40 m dal p.c. con l'utilizzo di un carotiere semplice fino alla profondità di 40,00 metri, con corona in vidia, di diametro pari a 101.0 mm

Rivestimenti metallici provvisori realizzati fino alla profondità di 15,00 m dal p.c.

Nessuna installazione

Prova SPT

	Profondità dal p.c.	Valori misurati
SPT1	– 4,00 m	9-11-12

Campionamento

Campione	Profondità dal p.c.
PS 0-C1	6,50/7,00 m
PS 5-C2	20,00/20,30 m
PS 05-C3	21,60/21,90 m

Utilizzo di n° 8 cassette catalogatrici per la conservazione dei terreni attraversati.

N° 8 Foto a colori delle cassette catalogatrici.

SONDAGGIO: PS6 VERTICALE – ROTAZIONE A CAROTAGGIO CONTINUO

Esecuzione di n° 1 sondaggio spinto fino alla profondità di 40 m dal p.c. con l'utilizzo di un carotiere semplice fino alla profondità di 25,00 metri e poi di un carotiere doppio fino a fine foro, con corona in vidia, di diametro pari a 101.0 mm

Rivestimenti metallici provvisori realizzati fino alla profondità di 9,00 m dal p.c.

Nessuna installazione

Nessuna esecuzione di prova *SPT*

Campionamento

Campione	Profondità dal p.c.
PS 06-C1	4,00/4,40 m
PS 06-C2	4,70/5,00 m
PS 06-C3	9,00/9,30 m
PS 06-C4	12,00/12,30 m

Utilizzo di n° 8 cassette catalogatrici per la conservazione dei terreni attraversati.

N° 8 Foto a colori delle cassette catalogatrici.

SONDAGGIO: PS7 VERTICALE – ROTAZIONE A CAROTAGGIO CONTINUO

Esecuzione di n° 1 sondaggio spinto fino alla profondità di 40 m dal p.c. con l'utilizzo di un carotiere semplice fino alla profondità di 20,20 metri e poi di un carotiere doppio fino a fine foro, con corona in vidia, di diametro pari a 101.0 mm

Rivestimenti metallici provvisori realizzati fino alla profondità di 9,00 m dal p.c.

Nessuna installazione

Nessuna esecuzione di prova *SPT*

Campionamento

Campione	Profondità dal p.c.
PS 07-C1	4,70/5,00 m
PS 07-C2	11,55/12,00 m
PS 07-C3	16,25/16,50 m

Utilizzo di n° 8 cassette catalogatrici per la conservazione dei terreni attraversati.

N° 8 Foto a colori delle cassette catalogatrici.

SONDAGGIO: PS8 VERTICALE – ROTAZIONE A CAROTAGGIO CONTINUO

Esecuzione di n° 1 sondaggio spinto fino alla profondità di 40 m dal p.c. con l'utilizzo di un carotiere semplice utilizzato da 17,00 a 33,00 metri circa e un carotiere doppio per i metri intermedi e fino a fine foro, con corona in vidia, di diametro pari a 101.0 mm

Rivestimenti metallici provvisori realizzati fino alla profondità di 17,00 m circa dal p.c.

Nessuna installazione

Nessuna esecuzione di prova *SPT*

Campionamento

Campione	Profondità dal p.c.
PS 08-C1	2,65/3,00 m
PS 08-C2	4,00/4,30 m
PS 08-C3	12,00/12,30 m
PS 08-C4	14,60/14,90 m
PS 08-C5	39,00/39,40 m

Utilizzo di n° 8 cassette catalogatrici per la conservazione dei terreni attraversati.

N° 8 Foto a colori delle cassette catalogatrici.

SONDAGGIO: PS9 VERTICALE – ROTAZIONE A CAROTAGGIO CONTINUO

Esecuzione di n° 1 sondaggio spinto fino alla profondità di 40 m dal p.c. con l'utilizzo di un carotiere semplice fino alla profondità di 20,20 metri e poi di un carotiere doppio fino a fine foro, con corona in vidia, di diametro pari a 101.0 mm

Rivestimenti metallici provvisori realizzati fino alla profondità di 9,00 m dal p.c.

Nessuna installazione

Nessuna esecuzione di prova *SPT*

Campionamento

Campione	Profondità dal p.c.
PS 09-C1	4,00/4,35 m
PS 09-C2	6,20/6,50 m
PS 09-C3	7,60/7,90 m
PS 09-C4	20,20/20,50 m
PS 09-C5	23,40/23,70 m
PS 09-C6	37,50/37,80 m
PS 09-C7	39,50/39,80 m

Utilizzo di n° 8 cassette catalogatrici per la conservazione dei terreni attraversati.

N° 8 Foto a colori delle cassette catalogatrici.

SONDAGGIO: PS10 VERTICALE – ROTAZIONE A CAROTAGGIO CONTINUO

Esecuzione di n° 1 sondaggio spinto fino alla profondità di 40 m dal p.c. con l'utilizzo di un carotiere semplice fino alla profondità di 20,20 metri e poi di un carotiere doppio fino a fine foro, con corona in vidia, di diametro pari a 101.0 mm

Rivestimenti metallici provvisori realizzati fino alla profondità di 7,50 m dal p.c.

Nessuna installazione

Prova SPT

	Profondità dal p.c.	Valori misurati
SPT1	– 4,00 m	13-15-17

Campionamento

Campione	Profondità dal p.c.
PS 10-C1	6,00/6,30 m
PS 10-C2	6,55/7,00 m
PS 10-C3	11,60/11,90 m
PS 10-C4	17,10/17,30 m

Utilizzo di n° 8 cassette catalogatrici per la conservazione dei terreni attraversati.

N° 8 Foto a colori delle cassette catalogatrici.

3.1.2 Sondaggi geognostici fase 2

La campagna di indagini geognostiche ha previsto l'esecuzione di n° 4 sondaggi geognostici a carotaggio continuo così di seguito dettagliati:

Sondaggio: SN01 verticale – rotazione a carotaggio continuo

Esecuzione di n° 1 sondaggio spinto fino alla profondità di 40 m dal p.c. con l'utilizzo di un carotiere semplice fino alla profondità di 16,70 metri e dopo i 23,00 metri fino a fondo foro e di un carotiere doppio da 16,70 metri a 23,00 metri, con corona in vidia, di diametro pari a 101.0 mm

Rivestimenti metallici provvisori realizzati fino alla profondità di 15,00 m dal p.c.

Nessuna installazione

Campionamento

Campione	Profondità dal p.c.
SN01-C1	4.50/5.50 m
SN01-C2	7.70/8.60 m
SN01-C3	10.00/11,00 m
SN01-C4	13,50/14,50 m
SN01-C5	27,50/28,50 m

Utilizzo di n° 8 cassette catalogatrici per la conservazione dei terreni attraversati.

N° 8 Foto a colori delle cassette catalogatrici.

Sondaggio: SNPz1 verticale – rotazione a carotaggio continuo

Esecuzione di n° 1 sondaggio spinto fino alla profondità di 13 m dal p.c. con l'utilizzo di un carotiere semplice fino a fondo foro con corona in vidia, di diametro pari a 101.0 mm

Rivestimenti metallici provvisori realizzati fino alla profondità di 13,00 m dal p.c.

Installazione piezometro:

Cieco da 0,00 metri a 2,00 metri dal p.c.

Fessurato da 2,00 metri a 13,00 dal p.c.

Campionamento

Campione	Profondità dal p.c.
SNPz1-C1	5.00/6.00 m
SNPz1-C2	9.50/9.90 m

Utilizzo di n° 3 cassette catalogatrici per la conservazione dei terreni attraversati.

N° 3 Foto a colori delle cassette catalogatrici.

Sondaggio: SNPz2 verticale – rotazione a carotaggio continuo

Esecuzione di n° 1 sondaggio spinto fino alla profondità di 13 m dal p.c. con l'utilizzo di un carotiere semplice fino a fondo foro con corona in vidia, di diametro pari a 101.0 mm

Rivestimenti metallici provvisori realizzati fino alla profondità di 13,00 m dal p.c.

Installazione piezometro:

Cieco da 0,00 metri a 2,00 metri dal p.c.

Fessurato da 2,00 metri a 13,00 dal p.c.

Campionamento

Campione	Profondità dal p.c.
SNPz2-C1	6.10/6.50 m
SNPz2-C2	8.25/8.40 m
SNPz2-C3	8.40/8.55 m
SNPz2-C4	11.00/11.50 m

Utilizzo di n° 3 cassette catalogatrici per la conservazione dei terreni attraversati.

N° 3 Foto a colori delle cassette catalogatrici.

Sondaggio: SNPz3 verticale – rotazione a carotaggio continuo

Esecuzione di n° 1 sondaggio spinto fino alla profondità di 13 m dal p.c. con l'utilizzo di un carotiere semplice fino a fondo foro con corona in vidia, di diametro pari a 101.0 mm

Rivestimenti metallici provvisori realizzati fino alla profondità di 13,00 m dal p.c.

Installazione piezometro:

Cieco da 0,00 metri a 2,00 metri dal p.c.

Fessurato da 2,00 metri a 13,00 dal p.c.

Campionamento

Campione	Profondità dal p.c.
SNPz3-C1	5.00/6.00 m
SNPz3-C2	9.50/9.90 m

Utilizzo di n° 3 cassette catalogatrici per la conservazione dei terreni attraversati.

N° 3 Foto a colori delle cassette catalogatrici.

3.2 RISULTATI DELLE PROVE IN SITU E DI LABORATORIO**3.2.1 Premessa**

Per la caratterizzazione geotecnica dei terreni investigati sono state eseguite diverse tipologie di prove: prove in sito di tipo SPT in foro, prove penetrometriche dinamiche e prove penetrometriche statiche e analisi di laboratorio su campioni prelevati durante le fasi di perforazione sia nella prima fase che nella seconda fase.

Sono state effettuate inoltre, durante la seconda fase della campagna indagini, n° 8 prove penetrometriche dinamiche (DPSH) e n° 5 prove penetrometriche statiche (CPT) distribuite così come evidenziato nella planimetria in allegato.

3.2.2 Prove S.P.T.

La prova S.P.T. consiste nel misurare la resistenza alla penetrazione nel terreno di una punta conica di diametro pari a 51 mm, con angolo al vertice di 60°, infissa nel terreno mediante percussione su un'apposita testa di battuta, da parte di un maglio del peso di 63,5 kg, lasciato cadere da un'altezza di 76 cm.

La procedura operativa consiste nel misurare il numero di colpi di maglio necessari a far avanzare la punta per tre tratti, ciascuno della lunghezza di 15 cm. Il numero di colpi corrispondente all'avanzamento dei primi 15 cm non viene computato, in quanto il terreno è potenzialmente disturbato dalle operazioni di carotaggio. Nei calcoli viene invece considerata la somma dei valori relativi ai 2 avanzamenti successivi (N_{spt}). Se il numero di colpi per ogni avanzamento è superiore a 50, la prova viene conclusa (prova a "rifiuto"). La prova S.P.T., attraverso delle correlazioni empiriche, fornisce un'indicazione sul grado di addensamento dei terreni e sulla sua deformabilità; per la determinazione dei parametri geotecnici di riferimento relativi agli orizzonti indagati con le prove in foro, verranno applicate quindi le seguenti correlazioni:

Densità relativa D_r : Terzaghi e Peck (1948) (T&P) e Gibbs e Holtz (1957) (G&H).

Angolo di attrito ϕ' : Japan Road Association (1990) $\rightarrow \phi' = [(15 \cdot N_{spt})^{1/2}] + 15$

3.2.3 Prove penetrometriche dinamiche

La prova penetrometrica dinamica DPSH (Dynamic Probing Super Heavy) consiste nella misura della resistenza alla penetrazione di una punta conica di dimensioni standard, infissa per battitura nel terreno, per mezzo di un idoneo dispositivo di percussione.

Viene registrato il numero di colpi necessari per l'infissione ogni 20 cm di affondamento. L'attrezzatura è composta da una batteria di aste lunghe 1 metro e un diametro di 32 mm alla cui estremità inferiore è collegata una punta conica avente angolo di apertura di 60°, e da un maglio battente di 63.5 kg che viene fatto cadere da un'altezza di 75 cm.

Le informazioni che la prova fornisce sono di tipo continuo, poiché le misure di resistenza alla penetrazione vengono eseguite durante tutta l'infissione. Il campo di utilizzazione della prova è molto vasto, potendo essere eseguita praticamente in tutti i tipi di terreno, anche se viene tendenzialmente effettuata su terreni a granulometria grossolana. La dinamica fornisce una valutazione qualitativa del grado di addensamento e di consistenza dei terreni attraversati.

La loro elaborazione, interpretazione e visualizzazione grafica consente di “catalogare e parametrizzare” il suolo attraversato con un'immagine in continuo, che permette anche di avere un raffronto sulle consistenze dei vari livelli attraversati e una correlazione diretta con sondaggi geognostici per la caratterizzazione stratigrafica.

Le prove penetrometriche dinamiche sono state d'ausilio per la determinazione di unità geotecniche basate sulla parametrizzazione fisico meccanica dei terreni interessati dall'opera in progetto e come elementi di correlazione stratigrafica con sondaggi geognostici posizionati in fase di pianificazione della campagna indagini.

I dati ricavati dall'analisi e dall'interpretazione dei dati d'infissione hanno contribuito alla ricostruzione dei profili geotecnici dei sondaggi pianificate nella seconda fase e hanno sicuramente rafforzato e, in generale, confermato sia i dati di laboratorio che le caratteristiche fondamentali delle rilevanze stratigrafiche dei sondaggi geognostici della prima fase delle indagini.

3.2.4 Prove penetrometriche statiche (CPT)

La prova consiste essenzialmente nella misura della resistenza alla penetrazione di una punta conica di dimensioni e caratteristiche standard, infissa ad una velocità costante di 2 cm/s nel terreno attraverso un martinetto idraulico che esercita la spinta necessaria su una batteria di aste, alla cui estremità è collegata la punta. Lo sforzo per l'infissione della punta è misurato mediante manometri collegati al martinetto.

Le misure di resistenza vengono eseguite ed annotate ogni 20 cm. La punta “tipo Begemann” è costituita da una parte conica terminale, con angolo di apertura del cono di 60° e diametro di apertura del cono di 37.5 mm, attraverso il quale si misura la resistenza di

punta Rp o qc, e da un manicotto, con una superficie laterale di 150 cmq, con cui è possibile misurare la resistenza di attrito laterale locale Rl o fs.

La prova CPT (Cone Penetration Test) è standardizzata dall'ASTM (D3441) e compresa nella "Raccomandazione" ISSMFE per la standardizzazione delle prove penetrometriche in Europa (1989).

Le particolari caratteristiche litostratigrafiche dell'area interessata dal progetto non hanno permesso un corretto e funzionale impiego delle prove statiche, nonostante siano state effettuate secondo le metodologie standard. I particolari intervalli d'impiego di tali prove non sono stati compatibili con la natura granulare dei terreni, in particolare la presenza di ghiaia e ciottoli nella matrice limo-argillosa non hanno permesso il superamento dei primi livelli di terreno. Per questo motivo anche l'elaborazione e la successiva interpretazione dei dati d'infissione non sono stati ritenuti sufficientemente affidabili e aderenti con i modelli geo-litologici presenti.

3.2.5 Analisi di laboratorio

Le analisi di laboratorio hanno permesso una puntuale ricostruzione dei profili stratigrafici laddove prevedevano analisi granulometriche, raffinando i dati descrittivi di campagna e le descrizioni visive all'apertura dei campioni e la determinazione e il completamento del quadro geotecnico mediante la parametrizzazione fisica del materiale estruso.

In generale per i campioni prelevati sono state previste le seguenti prove:

- Apertura di campione indisturbato, contenuto in fustella cilindrica, mediante estrusione, compreso il riconoscimento e la descrizione del campione di roccia sciolta o lapidea
- Apertura di campione disturbato o semidisturbato, riconoscimento e descrizione del campione
- Determinazione del contenuto naturale d'acqua allo stato naturale
- Determinazione del peso dell'unità di volume allo stato naturale mediante fustella tarata di diametro 38 mm.
- Analisi granulometrica per setacciatura (Boll. Uff. C.N.R. n°23 - 1971) e classifica (C.N.R. UNI 10006).
- Determinazione dei limiti di liquidità e plasticità (Boll. Uff. C.N.R. UNI 10014).
- Prova di costipamento AASHTO modificata

In particolare per alcuni campioni, così come in evidenza dai certificati di prova nell'allegato al presente lavoro, in base alle litologie incontrate, sono state eseguite le seguenti prove di laboratorio:

- Prova di taglio diretto (con scatola di Casagrande in condizione consolidata-drenata (CD) con rilievo e diagrammazione tensioni/deformazioni. (ASTM D3080-90)
- Prova edometrica con diagrammazione pressione/indice dei vuoti. (ASTM D2435)
- Prova triassiale non consolidata non drenata (UU) con diagrammazione sforzo/deformazione. (ASTM 2850-87)

Per la restituzione dei valori relativi ai fattori di capacità portante di seguito riportati facendo riferimento ai singoli livelli discretizzati dal punto di vista geotecnico, si è fatto riferimento alle equazioni più utilizzate per la stima degli stessi.

$$N_q = e^{\pi \cdot \text{tg} \phi} \text{tg}^2 \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\phi}{2} \right)$$

$$N_c = (N_q - 1) \cdot \text{ctg} \phi$$

$$N_\gamma = 2 \cdot (N_q - 1) \cdot \text{tg} \phi$$

dove N_γ , N_c , N_q sono quantità adimensionali, detti fattori di capacità portante, funzioni dell'angolo di resistenza al taglio ϕ e della forma della superficie di rottura considerata.

Per i fattori N_c ed N_q , relativi rispettivamente alla coesione e al sovraccarico, esistono equazioni teoriche, mentre per il fattore N_γ , che tiene conto dell'influenza del peso del terreno, la cui determinazione richiede un procedimento numerico per successive approssimazioni, esistono solo formule empiriche approssimanti.

Confrontando le equazioni proposte da vari Autori per il calcolo dei fattori di capacità portante si osserva un accordo quasi unanime per i fattori N_c e di N_q , mentre per il fattore N_γ sono state proposte soluzioni diverse. Nel presente lavoro sarà preso in considerazione quello proposto da Hansen che pur non discostandosi molto da quelli proposti da Meyerhof e da Vesic, rimane leggermente più basso.

In base ai risultati della campagna di indagini geognostiche e delle analisi di laboratorio sui campioni prelevati, è stato quindi possibile eseguire una caratterizzazione geotecnica dei terreni investigati per ogni singolo sondaggio eseguito.

I dati stratigrafici a disposizione ed i risultati delle prove effettuate in situ ed in laboratorio confermano una natura abbastanza omogenea dei terreni per i quali sono stati ricavati i profili geotecnici riportati nel seguente capitolo.

3.2.6 Parametri geotecnici fase I

SONDAGGIO PS1	γ_{nat} (t/m ³)	ϕ' (°)	C' (kPa)	D _{R(G&H)} (%)	C _U (kPa)
00,00 – 09,00	1,70	--	29,4	35 -65	
09,00 – 14,30	1,80	22 - 26	35,0	--	177,95
14,30 – 38,40	2,00	>35	--	--	--
38,40 – 40,00	2,20	>35	--	--	--

SONDAGGIO PS2	γ_{nat} (t/m ³)	ϕ' (°)	C' (KPa)	D _{R(G&H)} (%)	C _U (KPa)
00,00 – 07,00	1,85	22 - 27	20,0	35 -65	--
07,00 – 38,70	2,20	--	--	--	--
38,70 – 40,00	1,90	22 - 25	19,7	--	--

SONDAGGIO PS3	γ_{nat} (t/m ³)	ϕ' (°)	C' (KPa)	D _{R(G&H)} (%)	C _U (KPa)
00,00 – 11,50	1,85	20 - 22	49,0	65 - 85	--
11,50 – 16,50	2,30	>35	--	--	--
16,50 – 18,50	1,90	22 - 35	--	--	--
18,50 – 40,00	2,00	>35	--	--	--

SONDAGGIO PS4	γ_{nat} (t/m ³)	ϕ' (°)	C' (KPa)	D _{R(G&H)} (%)	C _U (KPa)
00,00 – 05,00	1,80	18 - 22	24,5	15 - 35	--
05,00 – 15,00	1,80	28 - 30	7,0	--	145,68
15,00 – 35,00	2,00	30	--	--	--
35,00 – 40,00	1,75	25 - 32	--	--	--

SONDAGGIO PS5	γ_{nat} (t/m ³)	ϕ' (°)	C' (KPa)	D _{R(G&H)} (%)	C _U (KPa)
00,00 – 04,00	1,85	27 – 29	24,5	35 – 65	--
04,00 – 10,40	1,90	23 – 29	11,4	--	65,15
10,40 – 40,00	1,95	25 - 30	23,0	--	--

SONDAGGIO PS6	γ_{nat} (t/m ³)	ϕ' (°)	C' (kPa)	D _{R(G&H)} (%)	C _U (kPa)
00,00 – 01,00	1,85	18 - 22	3 – 5	--	--
01,00 – 03,70	1,85	18 - 23	20,0	--	--
03,70 – 05,00	1,90	25 - 30	74,0	--	--
05,00 – 25,00	2,00	25 - 32	50,0	--	--
25,00 – 40,00	2,20	35 - 40	--	--	--

SONDAGGIO PS7	γ_{nat} (t/m ³)	ϕ' (°)	C' (kPa)	D _{R(G&H)} (%)	C _U (kPa)
00,00 – 02,00	1,80	18 – 22	3 – 5	--	--
02,00 – 05,00	1,85	18 – 25	10,86	--	--
05,00 – 20,00	1,70	23 – 37	14,0	--	210,18
20,00 – 40,00	2,20	35 - 40	--	--	--

SONDAGGIO PS8	γ_{nat} (t/m ³)	ϕ' (°)	C' (kPa)	D _{R(G&H)} (%)	C _U (kPa)
00,00 – 01,00	1,80	18 – 22	3 – 5	--	--
01,00 – 16,80	1,80	22 – 26	30,52	--	--
16,80 – 33,30	1,90	23 – 37	--	--	--
33,30 – 40,00	1,95	25 - 28	45,40	--	--

SONDAGGIO PS9	γ_{nat} (t/m ³)	ϕ' (°)	C' (kPa)	D _{R(G&H)} (%)	C _U (kPa)
00,00 – 01,20	1,85	18 – 22	3 – 5	--	--
01,20 – 22,00	1,85	20 – 32	22,88	--	--
22,00 – 40,00	1,90	27 - 32	11,27	--	--

SONDAGGIO PS10	γ_{nat} (t/m ³)	ϕ' (°)	C' (kPa)	D _{R(G&H)} (%)	C _U (kPa)
00,00 – 03,00	1,80	18 – 22	3 – 5	65 – 85	--
03,00 – 06,00	1,85	27 – 30	10,0	--	--
06,00 – 08,00	1,85	27 – 32	20,13	--	169,08
08,00 – 10,00	2,20	>35	--	--	--
10,00 – 12,00	1,90	26 – 30	11,27	--	--
12,00 – 23,00	1,80	18 – 26	14,56	--	--
23,00 – 40,00	2,00	30 - 35	--	--	--

3.2.7 Parametri geotecnici fase II

SONDAGGIO SN01	γ_{nat} (t/m ³)	ϕ' (°)	C' (kPa)	D _{R(G&H)} (%)	C _U (kPa)
00,00 – 02,50	2,00	26 – 30	30,0	35 - 65	--
02,50 – 06,60	1,90	28 – 35	25,0	35 - 65	--
06,60 – 07,40	1,90	30 – 35	15,0	--	--
07,40 – 09,00	1,90	18 – 25	30,0	35 - 65	--
09,00 – 12,00	2,00	28 – 35	30,0	35 - 65	--
12,00 – 15,50	2,00	28 – 35	30,0	35 - 65	--
15,50 – 22,60	1,90	23 – 37	--	--	--
22,60 – 23,50	1,90	20 – 25	35,0	--	--
23,50 – 33,00	1,90	28 – 32	30,0	--	--
33,00 – 40,00	1,95	28 – 35	26,0	--	--

SONDAGGIO SNPz01	γ_{nat} (t/m ³)	ϕ' (°)	C' (kPa)	D _{R(G&H)} (%)	C _U (kPa)
00,00 – 04,30	1,90	26 - 30	30	35 - 65	--
04,30 – 08,50	1,70	26 - 30	30	35 - 65	--
08,50 – 09,20	1,90	25 -30	30	--	--
09,20 – 09,90	1,85	--	--	--	--
09.90 – 13,00	1,80	18 - 25	30	--	--

SONDAGGIO SNPz02	γ_{nat} (t/m ³)	ϕ' (°)	C' (kPa)	D _{R(G&H)} (%)	C _U (kPa)
00,00 – 05,30	2,00	22 – 28	30,0	--	--
05,30 – 07,00	1,90	18 - 25	30,0	--	--
07,00 – 09,30	1,65	18 – 20	30,0	--	--
09,30 – 12,00	2,00	18 – 25	--	--	--
12,00 – 13,00	1,90	18 - 25	30,0	--	--

SONDAGGIO SNPz03	γ_{nat} (t/m ³)	ϕ' (°)	C' (kPa)	D _{R(G&H)} (%)	C _U (kPa)
00,00 – 00,80	2,00	25 – 33	24,5	35 – 65	--
00,80 – 03,40	2,00	25 – 35	25,0	35 – 65	--
03,40 – 04,30	1,90	25 – 35	30,0	35 – 65	--
04,30 – 05,30	1,95	26 – 34	25,0	35 – 65	--
05,30 – 07,20	1,85	20 – 28	25,0	35 – 65	--
07,20 – 13,00	1,65	20 - 28	25,0	--	--

3.3 INDAGINI GEOFISICHE – FASE 3

Nelle giornate del 22 e 23 maggio 2021 è stata eseguita una campagna di indagini geofisiche finalizzata alla caratterizzazione sismica del sito di progetto tramite la ricostruzione dei modelli sismo-stratigrafici del sottosuolo e la determinazione della Categoria di Sottosuolo definita dal valore di $V_{s,eq}$, secondo quanto stabilito nelle “Norme tecniche per le costruzioni” del D.M. del 17 gennaio 2018.

Nello specifico sono state svolte le seguenti indagini sismiche:

- N. 2 profili sismici Masw (Multi-channel Analysis of Surface Waves) monodimensionali con elaborazione profilo in onde S;
- N. 12 profili sismici a rifrazione in tecnica tomografica con acquisizione in onde P;
- N. 3 stazioni di misura in sismica passiva H.V.S.R. (Horizontal to Vertical Spectral Ratio);

Per tutti i dettagli si rimanda alla consultazione del report geofisico allegato.

4 RELAZIONE GEOLOGICA

4.1 INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO

Al fine di definire un inquadramento che risultasse adeguato alla scala di dettaglio del presente lavoro, è stata impiegata la Carta Geologica di Base della Sardegna in scala 1:25.000 che definisce, in maniera particolareggiata, i litotipi presenti nell'area di interesse e a cui fanno riferimento le sigle delle formazioni e le descrizioni litostratigrafiche generali.

L'inquadramento geologico generale è stato in seguito raffinato e maggiormente dettagliato con il rilevamento geologico in sito e l'esecuzione di indagini di tipo diretto e indiretto. I risultati di tali rilievi hanno permesso di restituire un quadro geologico, geotecnico e idrogeologico locale funzionale alla progettazione.

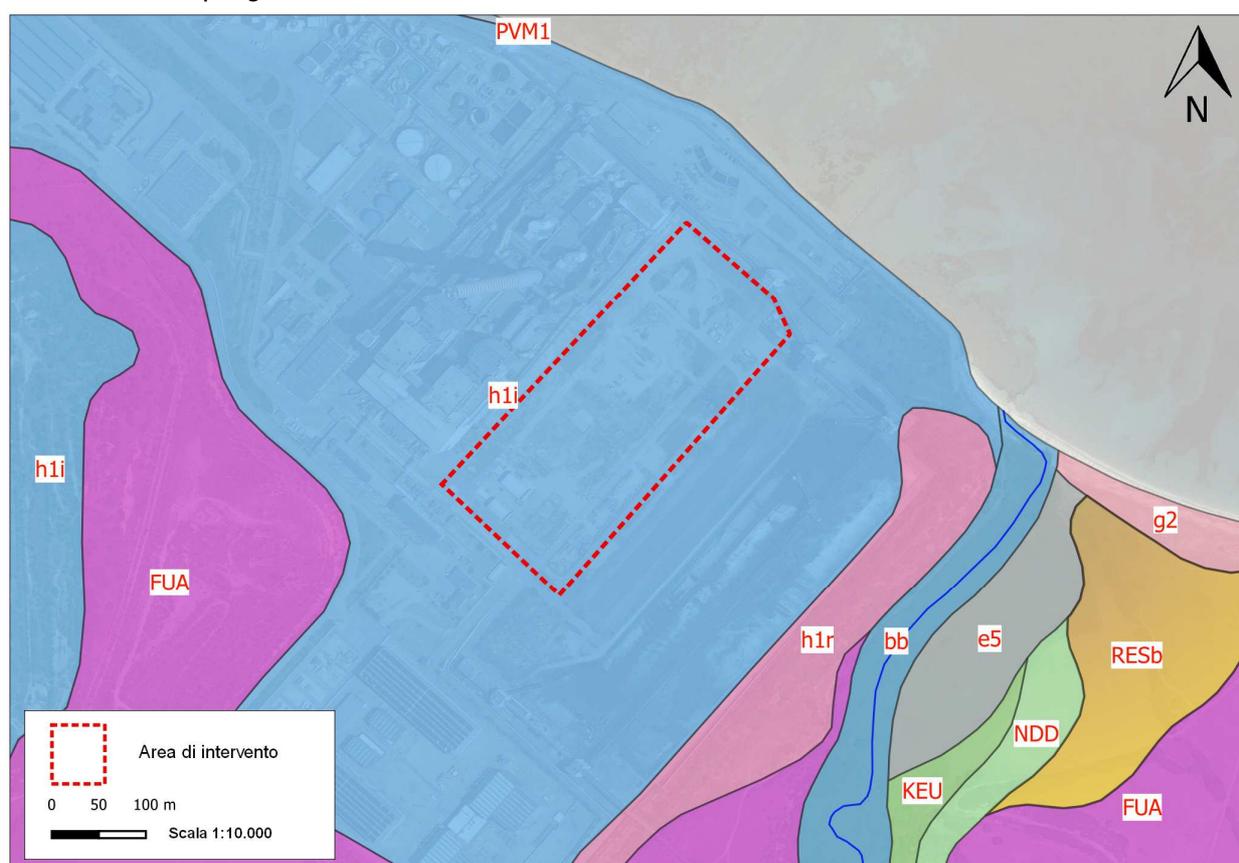


Figura 2 – Inquadramento geologico su ortofoto fonte (RAS – anno 2008) – LEGENDA: **KEU** - Marne grigio-giallognole con subordinati calcari marnosi; argille varicolori gessifere. TRIAS SUP. (Longobardico Sup.- ?Retico); **NDD** - Formazione Di Campanedda. Calcari oolitici, oncolitici e bioclastici, marne e calcari marnosi; calcari grigio-bluastri con lenti di selce. LIAS, **RESb** - Litofacies nella Formazione Di Mores. Arenarie e conglomerati a cemento carbonatico, fossiliferi e bioturbati. Intercalazioni di depositi sabbioso-arenacei quarzoso-feldspatici a grana medio-grossa, localmente ricchi in ossidi di ferro (ArdaraMores). Ambiente litorale. Burdigaliano Sup.; **FUA** - Formazione Di Fiume Santo. Argille arrossate con livelli e lenti di conglomerati a ciottoli di basamento paleozoico, vulcaniti e calcari mesozoici. Ambiente fluviale. Tortoniano-Messiniano; **bb** - Depositi alluvionali. Sabbie con subordinati limi e argille. Olocene; **h1r** - Depositi antropici. Materiali di riporto e aree bonificate; **h1i** - Depositi antropici Materiali di riporto.

Di seguito sono riportati i litotipi presenti nell'area vasta direttamente o indirettamente connessi con le stratigrafie provenienti dai sondaggi nell'area del nuovo impianto e la loro distribuzione areale.

Depositi Quaternari dell'area Continentale

Depositi Olocenici dell'area Continentale

Ambiente Continentale - Sedimenti Alluvionali

bb - Depositi alluvionali. Sabbie con subordinati limi e argille. OLOCENE

Tali depositi alluvionali affiorano lungo il corso di Fiume Santo e sono costituiti da sedimenti, per lo più sabbiosi. Sabbie più o meno grossolane caratterizzano le alte energie in corrispondenza dei tratti più incisi, mentre ritroviamo sedimenti con caratterizzazione granulometriche più fini nelle zone di allagamento, lontano dal corso del fiume vero e proprio, dove dominano i limi sabbiosi e le argille limose.

Ambiente Continentale - Sedimenti Lacustri

e5 - Depositi palustri. Limi ed argille limose talvolta ciottolose, fanghi torbosi con frammenti di molluschi. OLOCENE

Tali depositi palustri affiorano in una piccola porzione nella porzione di territorio retrostante la piccola spiaggia di Fiume Santo, proprio alla foce del fiume stesso.

Ambiente Continentale - Sedimenti Eolici

d - Depositi eolici. Sabbie di duna ben classate. OLOCENE

Sono sedimenti ben classati facenti parte di più o meno ampie porzioni di retro spiaggia, all'interno dell'area inquadrata.

Ambiente Continentale - Sedimenti Litorali

g2 - Depositi di spiaggia. Sabbie e ghiaie, talvolta con molluschi, etc. OLOCENE

Fanno parte dei depositi spiaggia attuali composti da sabbie da medie a grossolane e ghiaie.

Successione Vulcano-Sedimentaria Oligo-Miocenica

Successione Sedimentaria Oligo-Miocenica della Sardegna Centro-Settentrionale

Successione Sedimentaria Oligo-Miocenica del Logudoro-Sassarese

FUA - FORMAZIONE DI FIUME SANTO. Argille arrossate con livelli e lenti di conglomerati a ciottoli di basamento paleozoico, vulcaniti e calcari mesozoici. Ambiente fluviale. TORTONIANO-MESSINIANO.

La formazione di Fiume Santo risulta arealmente diffusa ed è l'unica ad essere stata rinvenuta su tutti i carotaggi. Tale formazione determinata da spessori spesso ragguardevoli affiora appena al di sotto di esigue coperture quaternarie caratterizzate da sabbie limose e limi argillosi provenienti dall'alterazione del sottostante substrato e da porzioni di suolo.

La formazione in oggetto, puntualmente molto eterogenea, ha nel suo complesso un'uniformità stratigrafica "regionale" caratterizzata da granulometrie generalmente argillose con frazioni più o meno considerevoli di ghiaie e sabbie più o meno limose. Riscontri diretti nei sondaggi danno conferma alla letteratura di base in relazione alla presenza di livelli da centimetrici a metrici di conglomerati in matrice carbonatica, assai consistenti e raramente fratturati, costituiti da ciottoli di basamento paleozoico, calcari mesozoici e inconfondibili clasti di vulcaniti rossastre dall'aspetto pomiceo.

Le argille di Fiume Santo presentano spessori importanti nella porzione sud dell'area d'inquadramento e sono talvolta in contatto stratigrafico laterale di tipo erosivo con i calcari mesozoici sottostanti.

RESb - Litofacies nella FORMAZIONE DI MORES. Arenarie e conglomerati a cemento carbonatico, fossiliferi e bioturbati. Intercalazioni di depositi sabbioso-arenacei quarzoso-feldspatici a grana medio - grossa, localmente ricchi in ossidi di ferro (Ardara-Mores). Ambiente litorale. BURDIGALIANO SUP.

La formazione di Mores, caratterizzata da arenarie e conglomerati a cemento carbonatico, non è stata intercettata nei sondaggi. Tale formazione di ambiente litoraneo affiora sicuramente nella zona costiera nella porzione caratterizzata dalla zona industriale del petrolchimico, in destra idrografica del Fiume Santo. Altre evidenze sono state riscontrate a ovest del rilievo di Monte Elva.

Complesso Vulcanico Oligo-Miocenico della Sardegna Centro-Settentrionale

Distretto Vulcanico di Capo Marargiu

CZS - UNITÀ DI CANDELAZZOS. Depositi di flusso piroclastico in facies ignimbratica, pomiceo-cineritici, prevalentemente non saldati, di colore grigio-violaceo. BURDIGALIANO.

Tale unità vulcanica non risulta presente nelle immediate vicinanze dell'area oggetto di studio, ma rimane marginalmente presente, come da dati bibliografici, in piccole porzioni a est di Minciaredda e nella zona costiera, ai margini della spiaggia di Fiume Santo.

Successioni Sedimentarie e Vulcaniche Mesozoiche e Tardo-Paleozoiche Della Sardegna Settentrionale

Successione Sedimentaria Mesozoica della Sardegna Settentrionale

NRR - FORMAZIONE DI MONTE NURRA. Dolomie e calcari dolomitici, calcari bioclastici, calcari selciferi, calcari marnosi e marne, con intercalazioni di arenarie quarzose. Alla base calcari e dolomie scure di ambiente lacustre a carofite. DOGGER.

La Formazione di Monte Nurra è diffusamente presente nell'area vasta ed è stata intercettata da alcuni sondaggi nel sito d'intervento. Spesso le dolomie e i calcari dolomitici appaiono fortemente fratturati e alterati, soprattutto quanto si ritrovano in alternanza con i calcari marnosi e le marne con cui risultano in continuità stratigrafica.

La potenza di questa formazione è importante e come in evidenza dalle stratigrafie dei sondaggi realizzati nell'area vasta, raggiunge spessori superiori ai 25-30 metri. Spesso la parte superiore delle dolomie e dei calcari dolomitici appare fortemente alterata.

La formazione presenta permeabilità per fessurazione e più o meno limitati fenomeni di carsismo in relazione alle evidenze nei sondaggi, in cui l'estruso, spesso fratturato presenta cavità per dissoluzione e successivi riempimenti silicoclastici. I contatti stratigrafici laterali con le formazioni alluvionali mioceniche sono stati interpretati come eventi deposizionali successivi e, necessariamente, pilotati dall'assetto strutturale e tettonico dei calcari e delle dolomie mesozoiche interessate da sistemi di faglie dirette a testimonianza della tettonica distensiva plio-pleistocenica.

Medesimo assetto strutturale è stato ipotizzato sia nella zona immediatamente a ovest di Minciaredda, che nella zona centrale del Carbondotto, laddove i sondaggi restituiscono evidenze di passaggi litologici drastici. Anche alcuni contatti con la formazione del Keuper (KEU) risultano spiegabili, in prossimità dell'alveo di Fiume Santo, con un assetto strutturale contraddistinto da faglie come conseguenza di tettonica distensiva.

NDD - FORMAZIONE DI CAMPANEDDA. Calcari oolitici, oncolitici e bioclastici, marne e calcari marnosi; calcari grigio-bluastri con lenti di selce. LIAS.

La formazione calcarea di Campanedda, affiora con spessori importanti nelle vecchie zone di cava immediatamente a nord di Monte Elva. Non è stata però intercettata dalle perforazioni nell'area di progetto. Le caratteristiche sedimentarie della Formazione liassica la rendono particolarmente riconoscibile laddove presente, per l'inconfondibile presenza delle "tessiture" oolitiche.

KEU - KEUPER AUCT. Marne grigio-giallognole con subordinati calcari marnosi; argille varicolori gessifere. TRIAS SUP. (LONGOBARDICO SUP. - ?RETICO).

È la formazione più antica rinvenuta nell'area. Evidenze della presenza delle marne grigio giallognole e dei subordinati strati calcarei le ritroviamo su alcuni sondaggi all'interno dell'area d'interesse. Sono stati ipotizzati contatti di ordine tettonico con le dolomie e i calcari dolomitici della Formazione della Nurra, proprio in questa porzione di territorio, che ne hanno ribassato alcune porzioni verso ovest.

Basamento Metamorfico Paleozoico

Non risulta presente in affioramento nella zona oggetto di studio il basamento cristallino.

4.1.1 Inquadramento geomorfologico

Da un punto di vista morfologico l'area può essere definita come plano-collinare a debole pendenza parzialmente modificata dagli interventi antropici; vaste superfici, infatti, sono state rese piane da interventi di scavo e riporto di materiali sciolti che hanno interessato anche estese superfici.

Il *Fiume Santo* costituisce una importante incisione fluviale che, con andamento predominante S-N, dalle colline paleozoiche e mesozoiche si dirige verso il mare su cui confluisce a poca distanza dall'area in studio. Questo corso d'acqua, strutturatosi lungo una importante linea di faglia, separa, da un punto di vista morfologico ed idrogeologico, il settore est, ove è presente l'area del petrolchimico, dal settore ovest ove sorge la centrale termoelettrica.

4.1.2 Inquadramento idrogeologico

La valutazione di tutti i dati litostratigrafici e idrogeologici raccolti nel corso delle varie fasi di indagine e dei diversi monitoraggi sulla rete piezometrica della centrale elettrica ha consentito di ricostruire il modello concettuale dell'assetto idrogeologico delle coperture sedimentarie della serie miocenico - quaternaria in corrispondenza del sito della Centrale Termoelettrica di Fiume Santo.

Lo studio ha evidenziato l'estrema variabilità ed eterogeneità delle unità litologiche e conseguentemente di quelle idrogeologiche presenti nel sottosuolo dello Stabilimento e la complessità dei reciproci rapporti stratigrafici. Ciò è confermato peraltro dalla osservazione effettuata a livello generale dell'area e dallo studio in particolare dei litotipi esistenti nel sito in cui la Centrale è inserita.

Si evidenzia pertanto una certa variabilità ed eterogeneità nelle conducibilità idrauliche nelle loro componenti orizzontali e verticali, in stretta correlazione con le caratteristiche delle unità litologiche e idrogeologiche presenti nel sottosuolo dell'area studiata e la complessità dei reciproci rapporti stratigrafici. In termini idrogeologici, con riferimento dunque alle caratteristiche di permeabilità delle diverse unità litologiche, l'assetto idrogeologico del sito può essere schematizzato come una successione più o meno continua di livelli impermeabili, costituiti da limi e argille, alternata a livelli permeabili discontinui, costituiti da sabbie e ghiaie a permeabilità medio-alta, laddove insistono sedimenti alluvionali attuali e antichi.

La circolazione idrica è stata riscontrata nei livelli argillosi e limosi, indicando la presenza di aquitardi piuttosto che di acquiferi veri e propri, come appare confermato dalle prove rapide di pompaggio svuotamento-risalita, effettuate nei piezometri impostati in tali litologie che, a fronte di uno svuotamento pressoché istantaneo, hanno mostrato tempi di recupero estremamente lunghi.

Anche le capacità di ricarica diretta sono limitate dalla debole permeabilità delle coperture quaternarie diffuse sul territorio così pure la correlata capacità di immagazzinamento e di ricarica, come confermato dai test effettuati nei piezometri impostati in tali coperture.

La generale circolazione idrica impostata su litologie lapidee, rinvenibili in profondità, permeabili per fratturazione e fenomeni di dissoluzione, mostra continuità laterali maggiormente definite e comunque capacità di trasmissione idraulica molto maggiore, anche in termini di distanze orizzontali.

Nelle formazioni calcaree e dolomitiche le falde acquifere, generalmente poco produttive, sono probabilmente impostate su livelli fessurati e comunque non riconducibili a un unico orizzonte produttivo.

Tutta l'area della centrale elettrica è oggetto di monitoraggio delle acque di falda mediante una vasta rete di piezometri superficiali e profondi. Inoltre, il sito di progetto confina, sul lato settentrionale, col barrieramento idraulico (MISO – Messa in sicurezza operativa delle acque di falda) realizzato mediante pozzi in emungimento.

I diversi monitoraggi piezometrici, eseguiti dagli scriventi, mostrano una direzione di deflusso al di sotto dell'area di progetto diretta da sud-ovest verso nord-est e quote assolute variabili da + 4,00 a +1,00 m sul livello del mare. La soggiacenza dal piano campagna pertanto si attesta tra – 3,00 e – 6,00 m.

Nell'immagine seguente si riporta uno stralcio della carta delle isofreatiche dove è stato evidenziato, con colore rosso, il perimetro del nuovo impianto in progetto.

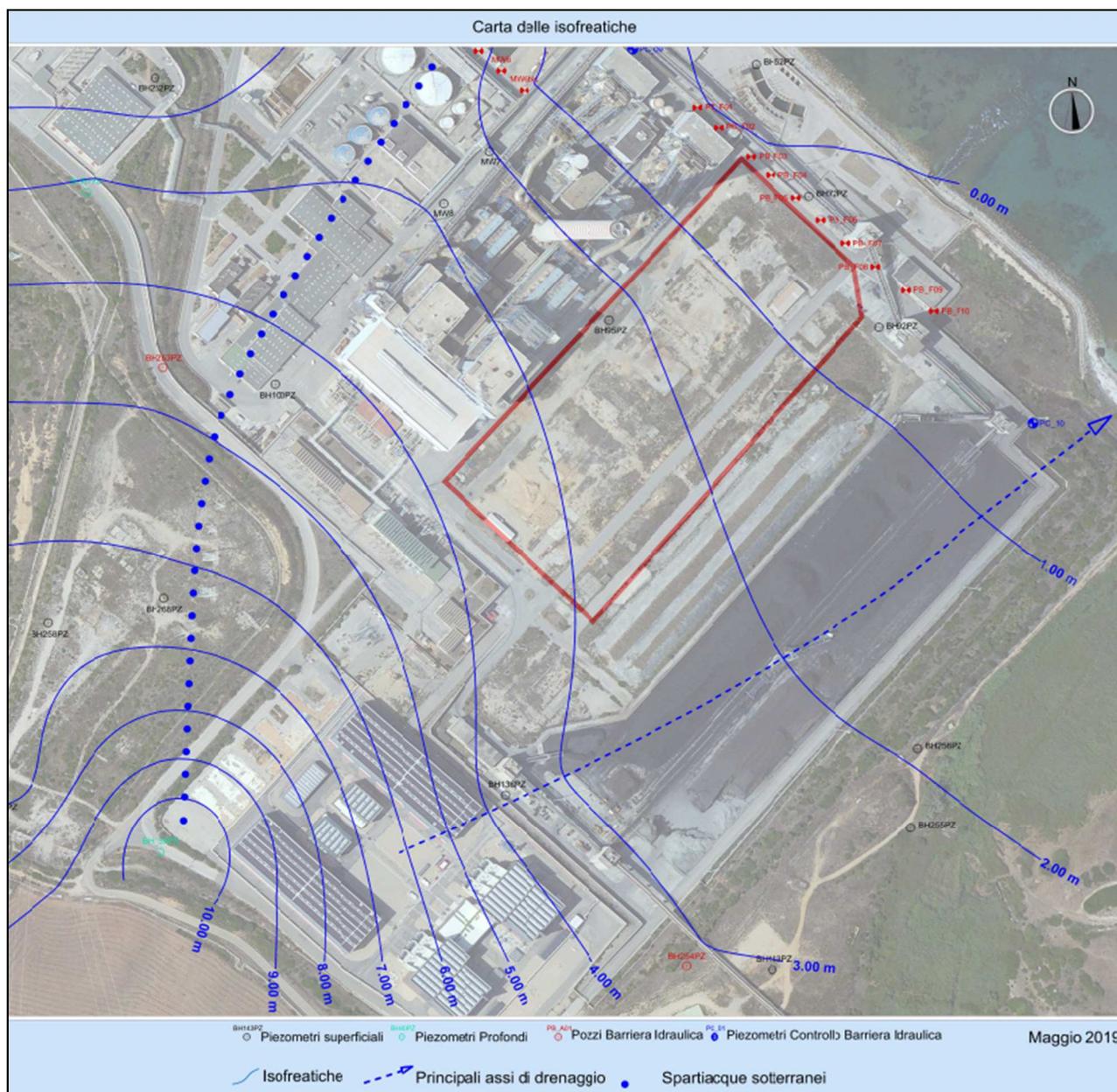


Figura 3 – Carta delle isofreatiche - "Rapporto annuale monitoraggio acque sotterranee maggio 2019 – Lithos Srl"

4.2 MODELLO GEOLOGICO

4.2.1 Caratterizzazione geologica

L'esame attento di tutti i log stratigrafici, riferiti alle diverse perforazioni nel sito, restituisce un quadro geologico complesso dell'area a fronte del rinvenimento di diverse unità litostatigrafiche relazionate da rapporti geometrici di difficile interpretazione.

Il numero e la disposizione dei carotaggi e delle prove in situ era stato commisurato sulla scorta delle precise esigenze progettuali scaturite in seno alla realizzazione del quinto gruppo. È evidente che una modellizzazione geologica accurata del sito potrà pertanto avvenire a valle di una specifica indagine da eseguire nei punti ove si prevedono le strutture principali, non ancora definite in maniera univoca in questa fase progettuale.

La caratterizzazione geologica seguente fa pertanto riferimento alle diverse tipologie di terreni attraversati dalle perforazioni caratterizzanti l'ambito areale oggetto del presente studio e giudicato dallo scrivente significativa dal punto di vista geologico.

Dall'alto verso il basso sono state individuate le seguenti unità litostratigrafiche:

- **Materiali di riporto.** Affiorano su tutta l'area e comprendono una porzione più superficiale, derivante dalle operazioni di bonifica dei suoli, caratterizzata da spessori inferiori al metro di materiali di cava di origine calcarea (Classe A2-6 ex CNR-UNI 10006) e una sottostante, prevalentemente granulare, derivante, probabilmente, da scavi in aree limitrofe a quella di progetto;
- **Formazione di Fiume Santo (FUA).** È stata intercettata su tutti i sondaggi ed è costituita da una formazione di origine alluvionale, puntualmente molto eterogenea, caratterizzata da granulometrie generalmente argillose con frazioni più o meno considerevoli di ghiaie e sabbie più o meno limose. Riscontri diretti nei sondaggi danno conferma alla letteratura di base in relazione alla presenza di livelli da centimetrici a metrici di conglomerati in matrice carbonatica, assai consistenti e raramente fratturati, costituiti da ciottoli di basamento paleozoico, calcari mesozoici e inconfondibili clasti di vulcaniti rossastre dall'aspetto pomiceo. Lo spessore della formazione è variabile da 10 m a oltre 40 m; è datata tortoniano-messiniano;
- **Unità carbonatica mesozoica.** Appartengono a quest'unità diversi litotipi costituiti da marne, arenarie, conglomerati e calcari dolomitici fratturati e carsificati.

5 RELAZIONE GEOTECNICA

5.1 MODELLO GEOTECNICO DEL SOTTOSUOLO

Al fine di ipotizzare una semplificazione concettuale del modello geotecnico dei terreni interessati dall'opera in progetto, si ritiene di poter separare il substrato lapideo, formato da calcari, calcari marnosi e conglomerati, dai terreni sovrastanti che comprendono litologie articolate con variazioni percentuali dei componenti granulometrici. In alcune zone tale terreno è stato movimentato per andare a formare colmamenti e riporti. Le caratteristiche geotecniche dei terreni sovrastanti il bedrock sono contraddistinti da spessori e parametri fisico meccanici differenti e che sono stati messi in evidenza e calcolati a seguito dei sondaggi effettuati durante diverse fasi operative.

Il complesso assetto geologico e strutturale del sito non permette la ricostruzione di un modello geotecnico univoco valido per tutto il volume significativo al di sotto dell'opera in progetto. Pertanto è stato ritenuto opportuno, in questa fase progettuale preliminare, discriminare il volume significativo sulla base delle correlazioni sismo-stratigrafiche ottenute dai rilievi geofisici recentemente eseguiti. Sono state quindi ricostruite due sezioni geotecniche, in sovrapposizione ai due stendimenti sismici a rifrazione, discriminando tre unità geotecniche principali in funzione del grado di addensamento e/o resistenza dei materiali.

Dall'alto verso il basso sono state identificate le seguenti unità geotecniche:

Unità geotecnica 1 – Terreni di riporto prevalenti generalmente costituiti da materiali granulari nelle porzioni superficiali e con subordinate frazioni di fini nelle porzioni inferiori. Stato di addensamento basso;

Unità geotecnica 2 – terreni limo-argillosi prevalenti con percentuali di ghiaie e sabbie variabili - Stato di addensamento medio;

Unità geotecnica 3 – terreni prevalentemente lapidei costituiti da calcari, marne, conglomerati e arenarie e in subordine terreni argillosi sovraconsolidati. Litotipi da poco a mediamente alterati e/o terreni molto addensati.

Si ritiene importante, altresì, mettere in evidenza l'importanza dei valori puntuali sulla verticale dei sondaggi geognostici effettuati e ricavati a seguito di prove in sito e di laboratorio e di correlazioni indirette che descrivono la caratterizzazione dei terreni ai vari livelli.

Si rimanda alla consultazione dei valori tabellati sondaggio per sondaggio nel capitolo dedicato, e in allegato i certificati di laboratorio e il dettaglio anche descrittivo delle relative perforazioni.

L'interazione tra i terreni e le opere di fondazione andrà valutata caso per caso in base alle scelte progettuali e ai possibili interventi di bonifica e miglioramento da adottare.

6 RELAZIONE SISMICA

6.1 SISMICITÀ STORICA

La caratterizzazione della sismicità di un territorio richiede, in primo luogo, un'approfondita e dettagliata valutazione della storia sismica, definita attraverso l'analisi di evidenze storiche e dati strumentali riportati nei cataloghi ufficiali.

La sismicità storica dell'area interessata dall'opera in progetto è stata analizzata consultando i cataloghi più aggiornati, considerando un intervallo temporale che va dal mondo antico all'epoca attuale.

La versione 3.0 del Database Macrosismico Italiano chiamata DBMI15 è stata rilasciata a gennaio 2021 dall'INGV e aggiorna e sostituisce la precedente versione.

DBMI v3.0 fornisce un set di dati di intensità macrosismica relativo ai terremoti italiani aggiornato alla finestra temporale 1000-2019. I dati provengono da studi di autori ed enti diversi, sia italiani che di paesi confinanti (Francia, Svizzera, Austria, Slovenia e Croazia).

I dati di intensità macrosismica (MDP, Macroseismic Data Point) sono raccolti e organizzati da DBMI per diverse finalità. La principale è fornire una base di dati per la determinazione dei parametri epicentrali dei terremoti (localizzazione e stima della magnitudo) per la compilazione del Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (CPTI). L'insieme di questi dati consente inoltre di elaborare le "storie sismiche" di migliaia di località italiane, vale a dire l'elenco degli effetti di avvertimento o di danno, espressi in termini di gradi di intensità macrosismica, osservati nel corso del tempo a causa di terremoti.

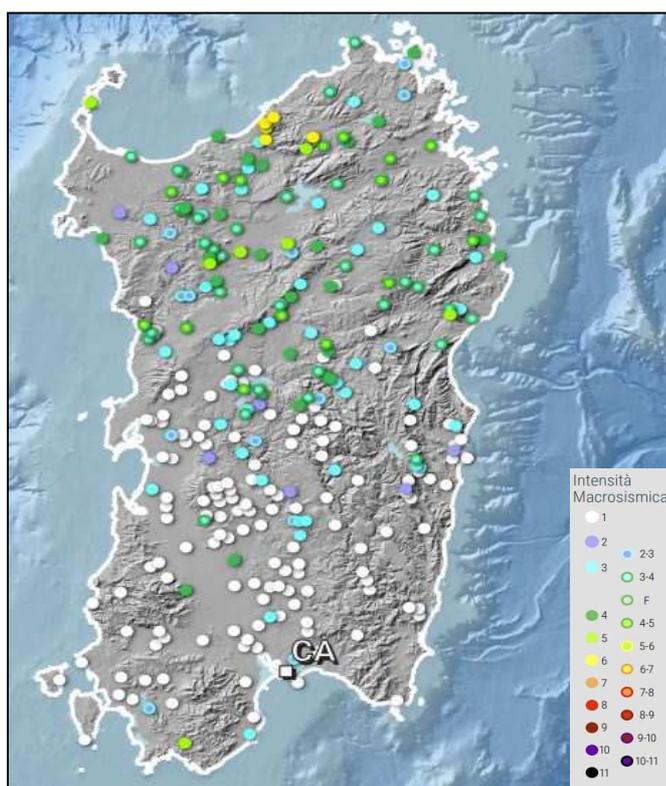


Figura 4 – Stralcio DBMI15 1000-2019 (Fonte INGV)

Nella figura 4 è mostrata una mappa delle localizzazioni dei terremoti storici presenti nel catalogo CPTI15 relativi alla Regione Sardegna, mentre nella figura seguente è riportato l'unico evento sismico misurato nel comune di Porto Torres.

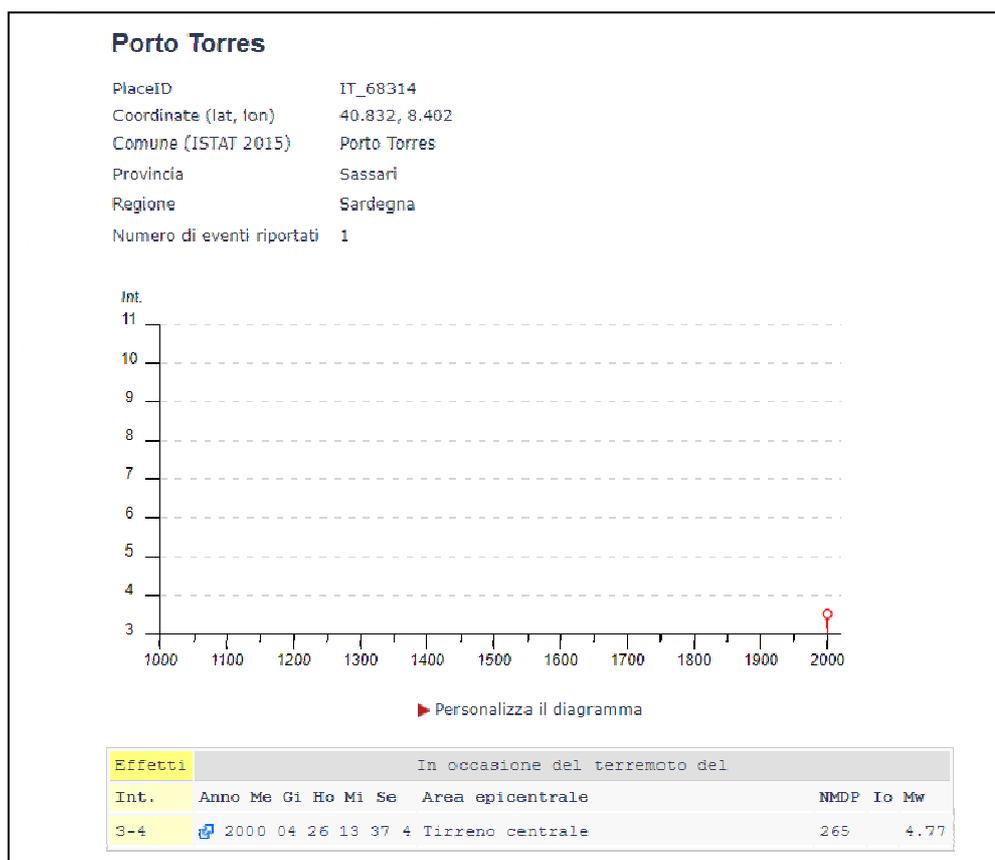


Figura 5 – Terremoto registrato nel comune di Porto Torres (anno 2000) con epicentro nel tirreno centrale (DBMI 15 Rev3)

In generale, dalla consultazione di questo catalogo si evidenzia che l'area interessata dal progetto presenta una sismicità storica molto bassa. Il catalogo CPTI15 riporta solo un evento di magnitudo $M_w=4,77$ con epicentro nel Tirreno centrale, che ha prodotto in terraferma effetti di modestissima intensità.

In conclusione, la distribuzione dei terremoti storici nell'area di interesse del progetto, estratti dal catalogo CPTI15 e dal database DBMI15, dimostra che la zona in studio è caratterizzata da un livello di sismicità molto basso, sia dal punto di vista della frequenza di eventi, che dei valori di magnitudo.

6.2 AZIONE SIMICA DI PROGETTO

Le Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC) adottano un approccio prestazionale alla progettazione delle strutture nuove e alla verifica di quelle esistenti. Nei riguardi dell'azione sismica l'obiettivo è il controllo del livello di danneggiamento della costruzione a fronte dei terremoti che possono verificarsi nel sito di costruzione. L'azione sismica sulle costruzioni è quindi valutata da una "pericolosità sismica di base", in condizioni ideali di sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale (di categoria A nelle NTC).

L'azione sismica così individuata viene poi variata per tener conto delle modifiche prodotte dalle condizioni locali stratigrafiche del sottosuolo effettivamente presente nel sito di costruzione e dalla morfologia della superficie. Tali modifiche caratterizzano la risposta sismica locale.

6.2.1 Categoria di Sottosuolo

In base a quanto attualmente esposto delle “Norme tecniche per le costruzioni” del D.M. 17 gennaio 2018, che aggiornano e sostituiscono il precedente D.M. del 14 gennaio 2008, è necessario determinare le azioni sismiche di progetto tramite specifiche analisi di sito o mediante un approccio semplificato che si basa sul calcolo della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio ($V_{s,eq}$) partendo dal piano di posa delle fondazioni.

Il valore di $V_{s,eq}$ (in m/s) viene calcolato secondo la seguente espressione:

$$V_{s,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{s,i}}}$$

dove h_i e $V_{s,i}$ indicano lo spessore (in m) e la velocità delle onde di taglio (per deformazioni di taglio $\gamma < 10^{-6}$) dello strato i -esimo, per un totale di N strati presenti al disopra del substrato sismico (con $V_s > 800$ m/s), fino ad un H massimo di 30 m (V_{s30}).

L'indagine sismica ha permesso quindi di ricostruire i seguenti profili sismo-stratigrafici necessari per il calcolo delle $V_{s,eq}$:

PROFILO MASW SM_01		
STRATO	SPESSORE medio (h_i)	VELOCITÀ media (V_s)
1	0,90 m	250 m/s
2	2,10 m	352 m/s
3	3,90 m	348 m/s
4	4,00 m	505 m/s
5	4,90 m	781 m/s
6	n.d.	>800 m/s

PROFILO MASW SM_02		
STRATO	SPESSORE medio (h_i)	VELOCITÀ media (V_s)
1	1,40 m	190 m/s
2	2,50 m	200 m/s
3	4,20 m	306 m/s
4	5,40 m	403 m/s
5	9,30 m	764 m/s
6	n.d.	>800 m/s

Dai i dati sopra elencati si evince la presenza di un substrato sismico ($V_s > 800$ m/s) affiorante entro i primi 30.0 m di profondità e quindi, considerando in via cautelativa il piano di

posa delle fondazioni coincidente con il piano campagna, sono stati ricavati i seguenti valori di velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio:

PROFILO MASW SM_01 $V_{s,eq}$ ($V_{s15,8 m}$) = 452 m/s

PROFILO MASW SM_02 $V_{s,eq}$ ($V_{s22,8 m}$) = 385 m/s

Pertanto, sulla base di questo valore e secondo quanto stabilito dal DM del 17 gennaio 2018, è possibile assegnare al terreno di progetto la seguente categoria di profilo stratigrafico del suolo di fondazione:

Categoria di sottosuolo B: Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.

6.2.2 Condizioni topografiche

Il sito in esame è ubicato in corrispondenza di una zona pianeggiante pertanto, in base a quanto previsto dal DM del 14 gennaio 2018, Tabella 3.2.III, l'area può essere classificata nella seguente categoria topografica:

Categoria Topografica "T1"

7 CONCLUSIONI

Lo studio geologico, l'analisi dei dati geologico - tecnici a disposizione e le indagini sismiche eseguite hanno permesso la ricostruzione delle litologie e delle caratteristiche meccaniche dei primi 40 metri dei terreni del volume significativo su cui insistono le opere in progetto.

L'insieme dei dati raccolti nelle varie fasi d'indagine restituisce un quadro geologico complesso dell'area a fronte del rinvenimento di diverse unità litostratigrafiche relazionate da rapporti geometrici di difficile interpretazione. Il numero e la disposizione di carotaggi e prove in situ, commisurato sulla scorta delle precedenti esigenze progettuali relative alla realizzazione del quinto gruppo, non permette l'elaborazione di un modello geologico di riferimento accurato per tutto il sito di progetto. Si ritengono comunque esaustivi, per questa fase preliminare, i dati di carattere puntuale raccolti lungo la verticale di ogni sondaggio/prova in situ al fine di fornire utili indicazioni per le successive fasi progettuali. La caratterizzazione geologica presentata fa pertanto riferimento alle diverse tipologie di terreni attraversati dalle perforazioni caratterizzanti l'ambito areale oggetto del presente studio e giudicato dallo scrivente significativa dal punto di vista geologico.

Il complesso assetto geologico e strutturale del sito non permette la ricostruzione di un modello geotecnico di riferimento rappresentativo dell'intero volume significativo al di sotto dell'opera in progetto. Pertanto è stato ritenuto opportuno, in questa fase progettuale preliminare, discriminare i terreni di fondazione sulla base delle correlazioni sismo-stratigrafiche ottenute dai rilievi geofisici recentemente eseguiti. Sono state quindi ricostruite due sezioni geotecniche, in sovrapposizione ai due stendimenti sismici a rifrazione, discriminando tre unità geotecniche principali in funzione del grado di addensamento e/o resistenza dei materiali.

Sulla base delle considerazioni sopra espresse, si ritiene necessario un approfondimento d'indagine di carattere geologico e geotecnico a valle di una corretta definizione delle opere in progetto in relazione alla loro specifica ubicazione e geometria.

Si tenga presente che la tipologia, l'ampiezza dell'indagine e le relative considerazioni sono strettamente subordinate al tipo e alle dimensioni delle opere in progetto, e pertanto non devono essere generalizzate per interventi di altra natura.

Si resta a disposizione per ulteriori chiarimenti o integrazioni.