



Engineering & Construction



GRE CODE

GRE.EEC.R.00.IT.P.18314.00.016.00

PAGE

1 di/of 23

TITLE:AVAILABLE LANGUAGE: IT

# IMPIANTO FOTOVOLTAICO "SIMAXIS 02" Comuni di Simaxis (OR) e Ollastra (OR)

**LOTTO 1: 5,7 MWAC**

**LOTTO 2: 4,5 MWAC**

**PROGETTO DEFINITIVO**

## RELAZIONE IDROGEOLOGICA, GEOLOGICA E GEOTECNICA

File: GRE.EEC.R.00.IT.P.18314.00.016.00-Relazione idrogeologica, geologica e geotecnica.docx

00	20/10/2023	Prima emissione	A. SANTAMBROGIO	S. DE CARO	G. PROSPERI
REV.	DATE	DESCRIPTION	PREPARED	VERIFIED	APPROVED

### GRE VALIDATION

<i>E. Pazzola</i>	<i>D. Braccia</i>	<i>Stantec</i>
COLLABORATORS	VERIFIED BY	VALIDATED BY

PROJECT / PLANT <b>Simaxis 02</b>	GRE CODE																			
	GROUP	FUNCTION	TYPE	ISSUER	COUNTRY	TEC	PLANT			SYSTEM	PROGRESSIVE	REVISION								
	GRE	EEC	R	0	0	I	T	P	1	8	3	1	4	0	0	0	1	6	0	0

CLASSIFICATION	Public	UTILIZATION SCOPE	Progetto definitivo per autorizzazione
----------------	--------	-------------------	--

This document is property of Enel Green Power S.p.a.. It is strictly forbidden to reproduce this document, in whole or in part, and to provide to others any related information without the previous written consent by Enel Green Power S.p.a.

## INDEX

1.0	INTRODUZIONE.....	3
1.1	DESCRIZIONE DEL PROPONENTE .....	3
1.2	CONTENUTI DELLA RELAZIONE.....	3
2.0	INTRODUZIONE.....	4
3.0	INQUADRAMENTO GEOLOGICO .....	5
4.0	INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO .....	7
5.0	INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO E IDROLOGICO .....	8
6.0	PIANO DI ASSETTO IDROGEOLOGICO – PAI .....	10
7.0	INQUADRAMENTO GEOTECNICO E ASSETTO STRATIGRAFICO LOCALE .....	13
7.1	Stratigrafia e parametri geotecnici di progetto .....	13
8.0	ANALISI SISMICA DEL TERRITORIO .....	15
8.1	Inquadramento macrosismico .....	15
8.2	Zonazione sismo genetica .....	16
8.3	Sismicità storica e pericolosità sismica del territorio comunale .....	17
8.4	Definizione della sismicità dell’area.....	19
8.5	Verifica della liquefazione dei terreni.....	22
9.0	CONCLUSIONI.....	23

## 1.0 INTRODUZIONE

Stantec S.p.A., in qualità di Consulente Tecnico, è stata incaricata da Enel Green Power Solar Energy S.r.l. di redigere il progetto definitivo per la realizzazione di un nuovo impianto per la produzione di energia da fonte rinnovabile solare tramite un sistema di conversione fotovoltaico.

Si tratta di un impianto agrivoltaico (o agrovoltaico, o agro-fotovoltaico), che come definito dalle Linee guida Ministeriali in materia di impianti agrivoltaici, rappresenta un impianto fotovoltaico che adotta soluzioni volte a preservare la continuità delle attività di coltivazione agricola e pastorale sul sito di installazione. Si tratta di un impianto che costituisce soluzioni virtuose e migliorative rispetto alla realizzazione di impianti fotovoltaici standard.

L'impianto sarà realizzato con pannelli fotovoltaici installati su tracker monoassiali a terra all'interno di un'area prevalentemente agricola localizzata nei comuni di Simaxis (OR) ed Ollastra (OR), in Sardegna.

L'impianto fotovoltaico sarà configurato in N.2 lotti di impianto:

- Lotto N.1 costituito da N. 12.460 moduli fotovoltaici per una potenza complessiva di 7.227 kWp e per una potenza nominale di 5,7 MW;
- Lotto N.2 costituito da N. 9.072 moduli fotovoltaici per una potenza complessiva di 5.262 kWp e per una potenza nominale di 4,5 MW.

Per la connessione è stata presentata un'unica domanda di connessione ai sensi del Par. B.8.9 dell'allegato B alla Guida per le Connessioni alla rete elettrica di E-Distribuzione. Verranno pertanto previste connessioni separate per ciascun lotto – ognuno con il proprio POD – ciascuna con un nuovo punto di connessione in MT (15 kV) per il quale sarà necessaria la costruzione di una nuova cabina di consegna.

### 1.1 DESCRIZIONE DEL PROPONENTE

Enel Green Power Solar Energy S.r.l., in qualità di soggetto proponente del progetto, è una società del Gruppo Enel che si occupa dello sviluppo e della gestione delle attività di generazione di energia da fonti rinnovabili.

### 1.2 CONTENUTI DELLA RELAZIONE

Il presente elaborato costituisce la relazione geologica a supporto della documentazione tecnico-descrittiva per il progetto di costruzione dell'impianto agrivoltaico "Simaxis 2".

La presente relazione ha l'obiettivo di illustrare lo studio geologico e geotecnico preliminare realizzato e finalizzato a fornire un'indicazione del contesto geologico di base, dei principali aspetti geomorfologici, delle condizioni di stabilità dei versanti ed una caratterizzazione di massima dei tipi litologici che verranno interessati dalle opere di fondazione per l'edificazione dell'impianto.

L'analisi in oggetto al presente elaborato si è basata su dati e studi di origine bibliografica ed ha affrontato e approfondito i seguenti temi:

- Inquadramento del contesto geotecnico-strutturale.
- Assetto geomorfologico e idrogeologico insieme ad una valutazione preliminare sulle condizioni di pericolosità dell'area.
- Ricostruzione della stratigrafia locale mediante la consultazione della letteratura disponibile.
- Caratterizzazione fisico-meccanica dei terreni, tramite la rielaborazione di tutti i dati disponibili tramite la consultazione di lavori, eseguiti nelle vicinanze, sugli stessi materiali, al fine di stimare preliminarmente le caratteristiche geotecniche.
- Analisi di pericolosità sismica del territorio in esame, secondo quanto previsto dalla normativa tecnica di settore

## 2.0 INTRODUZIONE

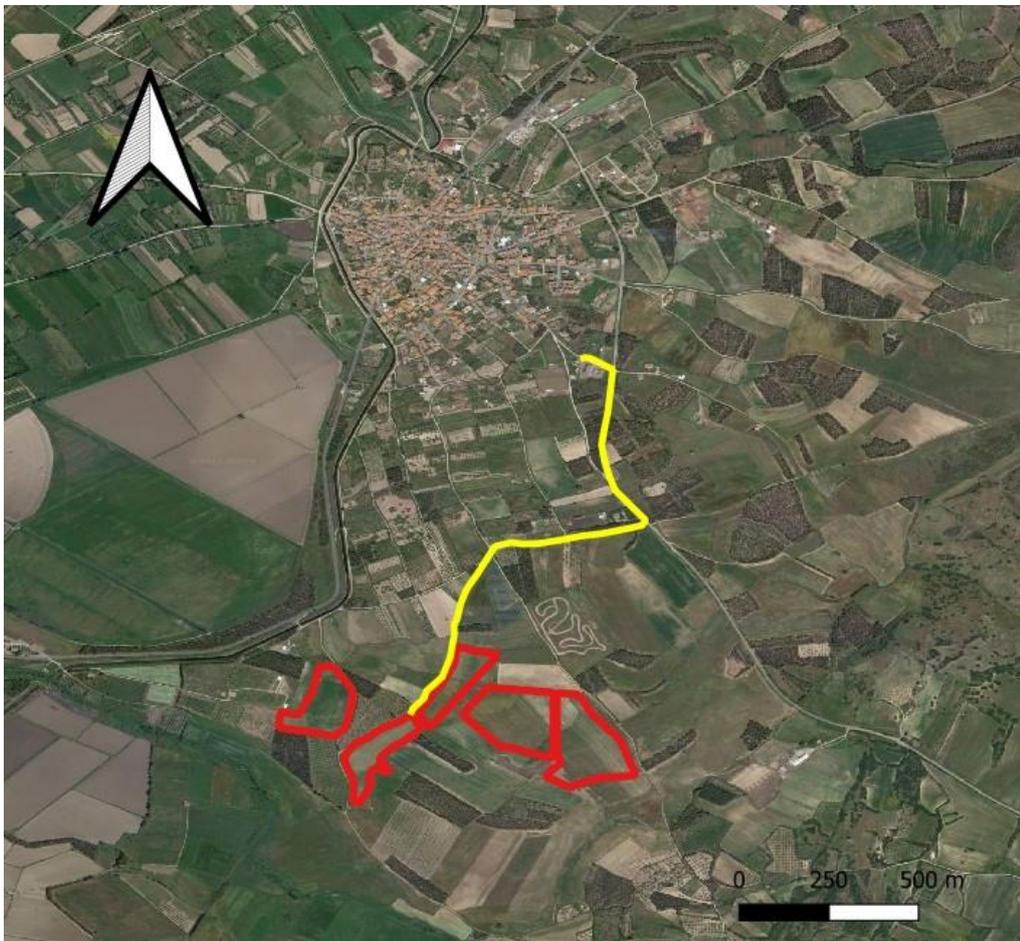
Il sito di progetto è localizzato a 0,85 km a Sud della località Ollastra e a N-E del comune di Simaxis, in provincia di Oristano, su un'area complessiva di circa 21 ha.

L'area si trova a circa 25 m s.l.m. alle seguenti coordinate geografiche:

Latitudine	Longitudine
39° 56' 09" N	8° 44' 09" E

**Tabella 2-1: Coordinate dell'impianto in progetto.**

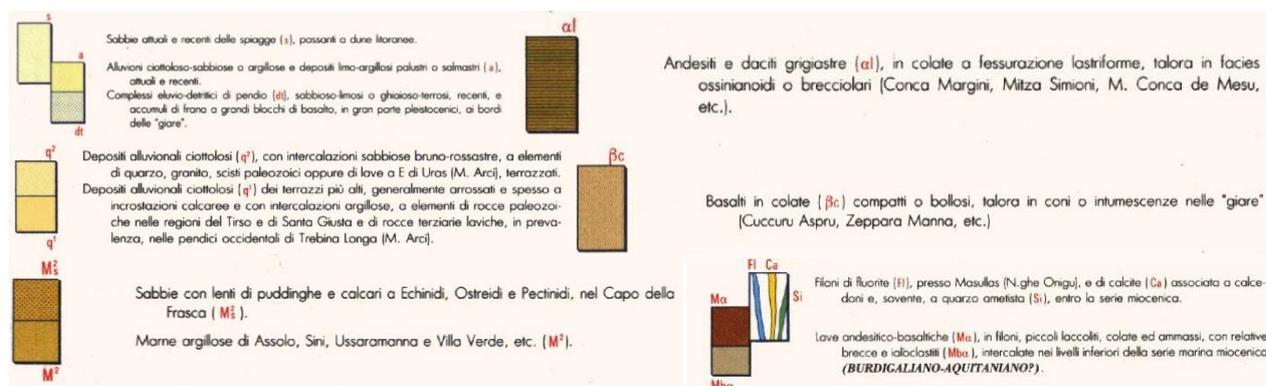
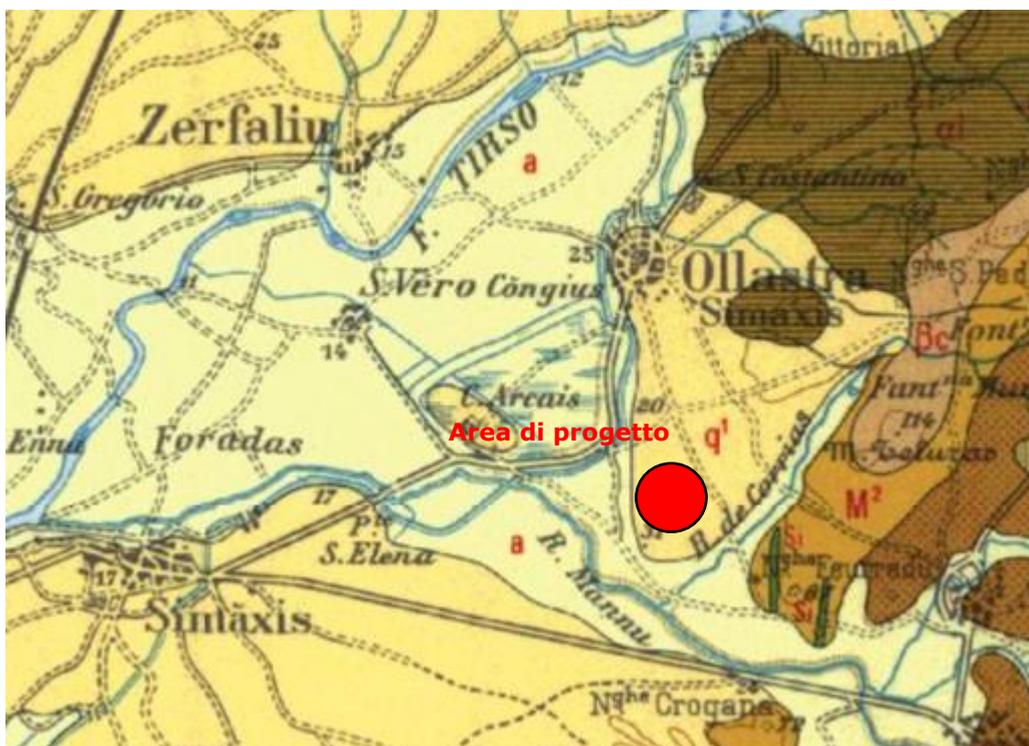
In Figura 2-1 si riporta un inquadramento su immagine satellitare con le aree dedicate all'impianto fotovoltaico.



**Figura 2-1: Inquadramento su ortofoto con aree per l'impianto (in rosso) e cavidotto (in giallo).**

### 3.0 INQUADRAMENTO GEOLOGICO

L'area in esame ricade all'interno del foglio geologico n. 217 "Oristano" della cartografia geologica d'Italia edita dall'ISPRA alla scala 1:100.000; nella **Figura 3-1** si riporta uno stralcio con l'ubicazione delle aree in studio.



**Figura 3-1: stralcio carta geologica n. 217 "Oristano", scala 1:100 000 – ISPRA con legenda ("per concessione ed uso da parte di ISPRA - Dipartimento per il Servizio Geologico d'Italia").**

La storia geologica della Sardegna occidentale è abbastanza complessa sul piano geodinamico e tettonico, in quanto è caratterizzata dalla migrazione del blocco sardo-corso, l'apertura dell'Oceano ligure-provenzale, una fase intermedia di rifting e una terminale che vide l'apertura del Mar Tirreno.

L'area di studio, in particolare, è sita in una piccola porzione al confine tra la "Fossa sarda" e il Nord del Graben del Campidano. La Fossa sarda occupa una vasta porzione della Sardegna occidentale e si sviluppa dal Golfo di Cagliari al Golfo dell'Asinara (Vardabasso, 1962). Essa si è generata durante l'Oligocene superiore - Miocene inferiore a seguito di un regime tettonico distensivo (Cherchi & Montadert, 1982) che ha generato il "Rift sardo", una struttura di debolezza legata all'apertura del Mediterraneo occidentale (Casula et alii, 2001), da cui la Fossa si sviluppò.

Questa fase di tettonica distensiva è strettamente correlata ad un'intensa attività magmatica che ha prodotto corpi magmatici effusivi ed esplosivi con composizioni variabili tra il mafico e il sialico durante il Cattiano -Burdigaliano (Beccaluva et alii,1987;Lecca et alii,1997), quando cessa la rotazione del blocco sardo-corso.

Tra il Miocene superiore e il Pliocene si assistette ad una nuova fase di rifting con l'apertura del Tirreno meridionale come bacino di retroarco e alla messa in posto di corpi silicoclastici e carbonatici associati a prodotti vulcanici (Carmignani et alii, 2001).

Dal Pleistocene Medio la Sardegna acquisisce stabilità tettonica, e si iniziano a verificarsi le variazioni climatiche e le oscillazioni del livello del mare che ne hanno definito l'attuale morfologia e nell'Olocene, si assiste alla deposizione di sedimenti alluvionali, eolici e di versante. Il materiale eroso, trasportato a valle dalle acque superficiali, subì accumulo e seppellimento nel Graben del Campidano sino all'esaurimento dello spazio d'accomodamento. La continua subsidenza nel Campidano e la mancanza di pendenze adeguate, hanno permesso la formazione e la conservazione di vaste zone depresse, come l'anello attorno al Golfo di Oristano e quello attorno al Golfo di Cagliari.

Nell'entroterra invece, il corso del fiume Tirso e l'impostazione del reticolo fluviale, gli oxbow lakes, i meandri abbandonati e i terrazzi fluviali testimoniano le differenti fasi evolutive dei corsi d'acqua, mentre le lagune costiere e gli stagni retrodunali sono le evidenze delle diverse fasi evolutive della linea di costa, entrambe legate a periodi di sedimentazione alternati a fasi di erosione.

Nel territorio comunale di Ollastra è possibile riconoscere due diversi tipi di paesaggio: il primo nel N-E prevalentemente collinare e talvolta montuoso e il secondo a S-O della città, che è sito nella piana alluvionale del Fiume Tirso e relativi affluenti. Quello di Simaxis è invece il tipico paesaggio di una pianura alluvionale, dove la topografia rispecchia le basse pendenze di un fiume che tende ad assumere un carattere meandriforme.

Per quanto riguarda le litologie, nell'area di Simaxis e Ollastra e zone limitrofe possono essere identificati, seguendo un criterio litostratigrafico, due principali unità: il ciclo vulcanico miocenico e i depositi quaternari non consolidati.

- La successione oligo-miocenica è costituita da basalti e colate laviche compatti o globosi, che presentano una massa di fondo con olivina, pirosseno e plagioclasio, eandesiti e daciti grigiastre che formano colate e livelli sub-orizzontali, alcune volte in facies assinianoidi o brecciolari. In alcune aree sono presenti anche alcuni filoni di fluorite, calcite e quarzo ametista, soprattutto a Sud dell'area indagata. Pochi chilometri ad Est dell'area di studio è presente una potente successione marnosa che giunge ad uno spessore massimo di 400 m.
- La successione quaternaria è invece costituita da depositi alluvionali ciottolosi di quarzo, litici di origine granitica e scisti paleozoici o lave, con intercalazioni di sabbie rosse, risalenti al Pleistocene. La potenza massima è di 20 m. Buona parte dell'area in oggetto è associata anche a depositi di sabbiosi e argillosi di ambienti lacustre/salmastro risalenti all'Olocene che hanno uno spessore limitato, non superiore a 5 m.

Grazie alla consultazione di dati di stratigrafie di pozzo (database "indagini di sottosuolo - ISPRA") è stata ricostruita una stratigrafia di sottosuolo presso l'area dove si intende costruire l'impianto fotovoltaico:

- 0 - 3,00 m da p.c.: suolo/sedimenti fini.
- 3,00 - 42,00 m da p.c.: successioni di materiale fine argilloso.
- da 42,00 m da p.c.: basato.

## 4.0 INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO

Come osservabile dalla cartografia riportata in Figura 3-1, il sito è caratterizzata dalla presenza di depositi sabbiosi e argillosi, talvolta ghiaiosi, di origine alluvionale formatisi tra il Pleistocene e l'Olocene. Questi depositi sono formano dei terrazzi fluviali, dovuti alla migrazione dell'alveo del fiume Tirso in una fase trasgressiva.

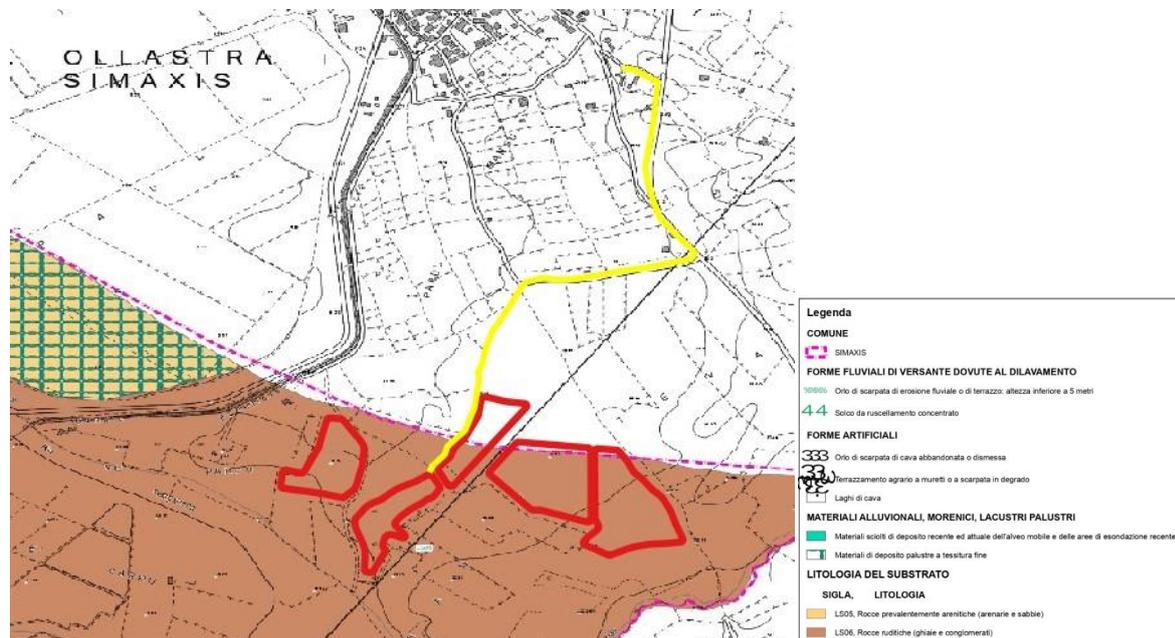
Il sito è infatti ubicato all'interno di un contesto territoriale la cui morfologia è stata fortemente influenzata dall'attività del fiume Tirso, responsabile della deposizione di sedimenti terrigeni e della formazione di una pianura alluvionale, in cui le litologie prevalenti sono ghiaie e sabbie (Figura 4-1) passanti a limi e argille. Inoltre, a pochi chilometri di distanza, presso Siapiccia, è anche possibile osservare una paleo-conoide alluvionale generata da affluenti del Tirso.

La topografia dell'area è in generale pianeggiante con una zona di moderato rilievo che non supera i 100 m s.l.m. ad Est di Ollastra, per poi addolcirsi verso Ovest.

In alcune aree, sono identificabili conoidi alluvionali e crevasse splay, seppur di dimensioni limitate, indice del fatto che il fiume in passato aveva raggiunto regimi idrici importanti. Attualmente, nel tratto montano, il Tirso presenta una portata solida limitata a seguito di grossi argini artificiali. Assieme agli altri fiumi, mette in evidenza un drenaggio con andamento NE-SO, perpendicolare alla costa, per la presenza di rilievi che si addolciscono gradualmente.

La pianura alluvionale del Tirso, attualmente abbastanza antropizzata per l'attività agricola e la costruzione di canali artificiali, raggiunge i 3 km di larghezza e preserva ancora la traccia di paleo alvei, mettendo in luce come il fiume in passato tendeva ad assumere un tracciato rettilineo;

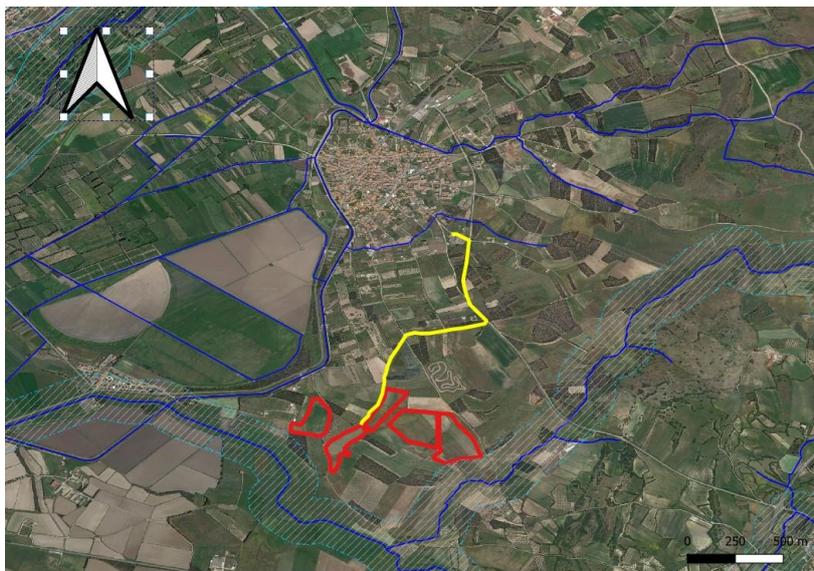
Infine, la presenza di litologie marnose ad Est di Ollastra, suggerisce una certa erodibilità, caratteristica che ha influenzato la topografia e l'altitudine di quelle aree, che è infatti più dolce rispetto a alle aree che si sviluppano ad Est delle aree con litologia marnosa.



**Figura 4-1: ubicazione dell'impianto in relazione alla geomorfologia nell'area del comune di Simaxis; da "Comune di Simaxis".**

## 5.0 INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO E IDROLOGICO

L'idrografia superficiale è costituita da alcuni torrenti che drenano le acque del versante occidentale del Monte Grighini che confluiscono in parte nel Rio Cuccu, da NE, e Mannu, da SE, fino al confine comunale con Simaxis. I torrenti che scendono lungo il versante del Grighini e alimentano il Rio Sant'Elena sono tutti caratterizzati da bacini imbriferi di limitata estensione e da regimi di tipo torrentizio (Figura 5-1), strettamente legati all'andamento delle precipitazioni.



**Figura 5-1: reticolo idrografico nell'area di Simaxis-Ollastra.**

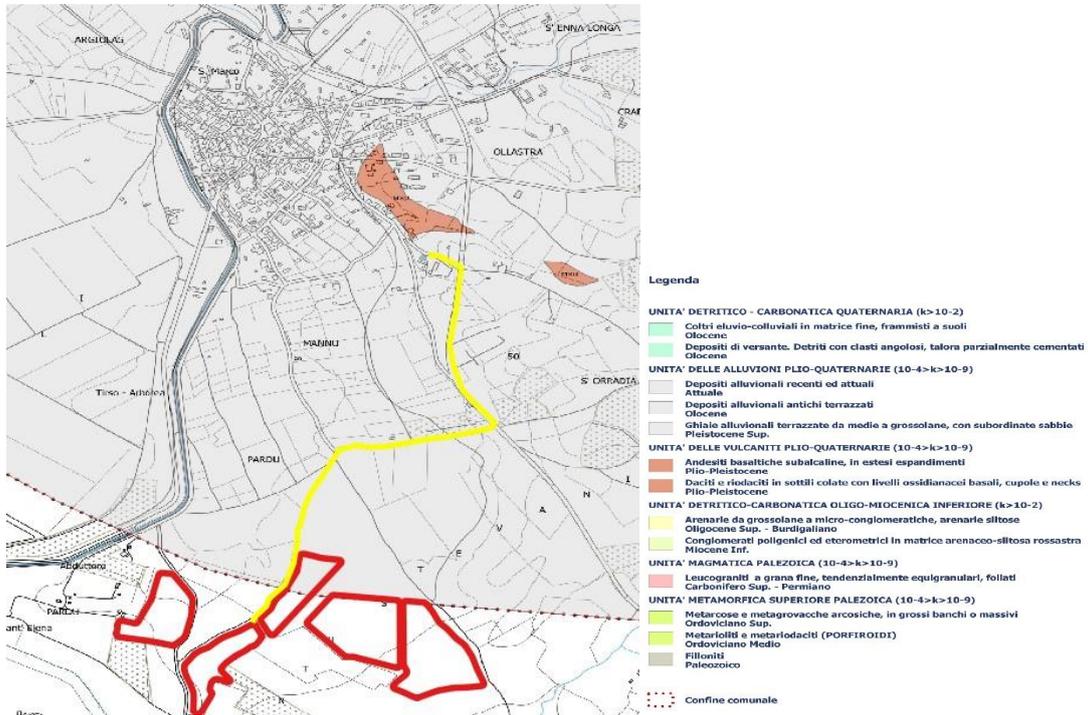
L'acquifero principale è costituito quasi esclusivamente da depositi sabbiosi contraddistinti da una permeabilità per porosità più o meno elevata, in ragione della quantità di frazione argillosa presente nella matrice (Figura 5-2); i sedimenti alluvionali recenti ospitano invece la parte sommitale della falda.

Il flusso naturale della falda freatica diretto dalle retrostanti zone collinari verso Est e verso l'asta fluviale del Tirso è stato perturbato dagli interventi antropici riconducibili alla realizzazione di canali a servizio dell'attività agricola. Inoltre, l'andamento delle isofreatiche e l'anomalo livello statico misurato, indicano che il canale d'irrigazione sia alimentante per la falda freatica. Naturalmente, durante i periodi piovosi della stagione invernale, può accadere che la falda freatica sia alimentata anche dai vari corsi d'acqua, invertendo in tal modo il consueto deflusso delle acque sotterranee.

Misurazioni eseguite in pozzi nell'area di progetto, hanno fornito indicazioni di massima relativamente all'idrostratigrafia di sito: un acquifero spesso 2,00 m con il tetto ad una profondità di 73,00 m dal p.c. e un livello statico della piezometria a 30,00 m. Questi dati, suggeriscono il fatto che l'acquifero sia in pressione, in quanto l'acqua di falda si trova ad una profondità minore, rispetto al tetto dell'acquifero.

Le aree circostanti, invece, presentano una o due falde, come mostrato dalle seguenti stratigrafie di pozzo:

- Ad Ollastra città, vi sono due falde, una a 15,00 m e l'altra a 27,00 m dal p.c. La prima è spessa 2,00 m, la seconda 0,50 m.
- Ad Est di Ollastra la falda ha una profondità di 70,00 m dal p.c. e uno spessore di 3,00 m e il livello statico della piezometria a 50,00 m.
- Ad Est di Simaxis un primo pozzo mostra due falde. Una con tetto a 10,00 m dal p.c. e spessore 12,00 m, mentre la seconda con tetto a 25,00 m dal p.c. e spessore 2,00 m.



**Figura 5-2: ubicazione del cavidotto in relazione alle unità idrogeologiche del comune di Ollastra; da "Comune di Ollastra".**

## 6.0 PIANO DI ASSETTO IDROGEOLOGICO – PAI

Il PAI si configura come lo strumento di pianificazione territoriale con cui l’Autorità di Bacino si propone di determinare un assetto territoriale che assicuri condizioni di equilibrio e compatibilità tra le dinamiche idrogeologiche e la crescente antropizzazione del territorio ed ottenere la messa in sicurezza di insediamenti ed infrastrutture esistenti e lo sviluppo compatibile delle attività future. Il confronto successivo all’adozione, in sede di conferenze programmatiche, secondo l’iter previsto dalla L.365/00, ha permesso poi di tarare le soluzioni proposte rispetto alle attese di sviluppo delle popolazioni del bacino.

Il PAI persegue il miglioramento dell’assetto idrogeologico del bacino attraverso interventi strutturali (a carattere preventivo e per la riduzione del rischio) e disposizioni normative per la corretta gestione del territorio, la prevenzione di nuove situazioni di rischio, l’applicazione di misure di salvaguardia in casi di rischio accertato. Ciò secondo tre linee di attività:

- il Rischio idraulico (aree inondabili delle piane alluvionali),
- il Rischio geologico (dissesti di versante e movimenti gravitativi),
- l’efficienza dei bacini montani in termini di difesa idrogeologica.

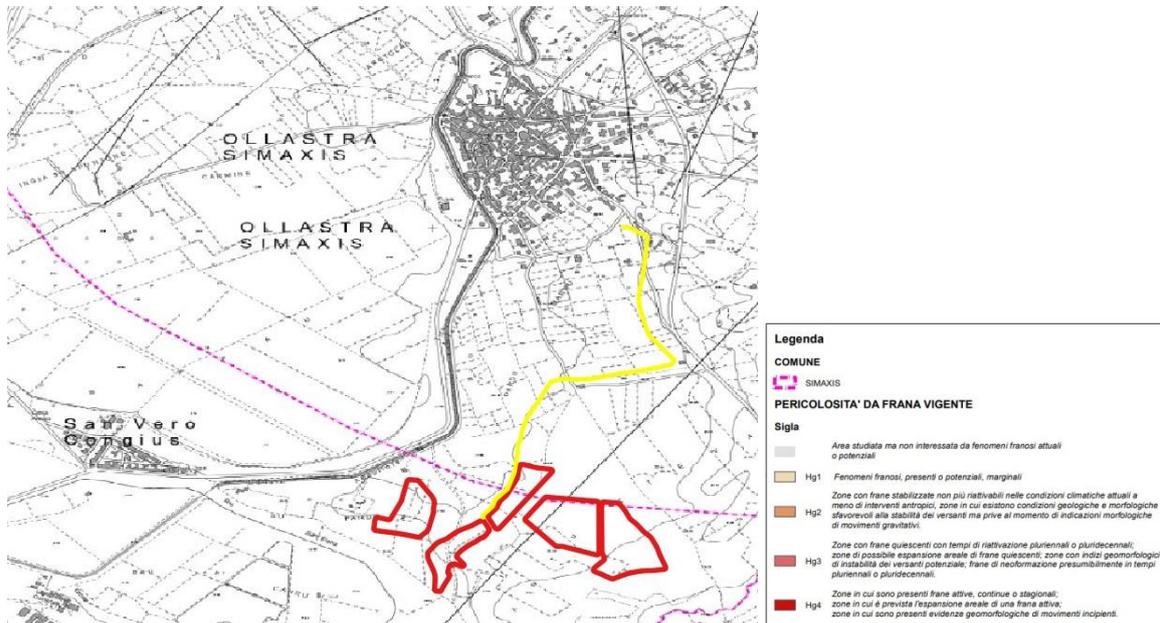
Il Piano è stato infatti sviluppato sulle seguenti linee di attività:

l’individuazione della pericolosità da frana e la perimetrazione delle situazioni di maggior rischio;

- l’individuazione della pericolosità e del rischio idraulico con riferimento al reticolo principale, secondario e minore, attraverso la perimetrazione delle aree inondabili per diversi tempi di ritorno e la valutazione del rischio degli elementi esposti;
- la valutazione dell’efficienza idrogeologica dei versanti del bacino, con riferimento alle unità territoriali di riferimento;
- l’analisi dei trend delle dinamiche idrogeologiche e dell’antropizzazione del territorio onde individuare le maggiori criticità e delineare le priorità di intervento;
- la definizione di un complesso di interventi a carattere strutturale e normativo.

Il Piano di assetto idrogeologico è stato redatto secondo quanto stabilito dalla legge n. 183/1989 e dal decreto-legge n. 180/1998 e successivamente approvato col decreto del Presidente della Regione Sardegna n. 67 in data 10/07/2006 ed è stato adottato dalla Giunta Regionale con deliberazione n. 54/33 del 30/12/2004.

La zona dell’abitato di Ollastra presenta una bassa acclività, fatta eccezione per le aree ad Ovest, dove essa aumenta rapidamente, giungendo anche al 90 %. L’area di Simaxis, invece, presenta un’acclività decisamente bassa, non superiore al 10 %. In particolare, l’area studiata dispone di una condizione stabile sul piano della geologia applicata, in quanto i fenomeni di instabilità di versante sono estremamente limitati, se non addirittura assenti. Questo vantaggio è dato dal fatto che le pendenze più prossimali sono basse (<5°) e le litologie che mostrano più propensione all’instabilità di pendio, le marne, sono sostituite da sabbie e ghiaie oloceniche (Figura 6-1).

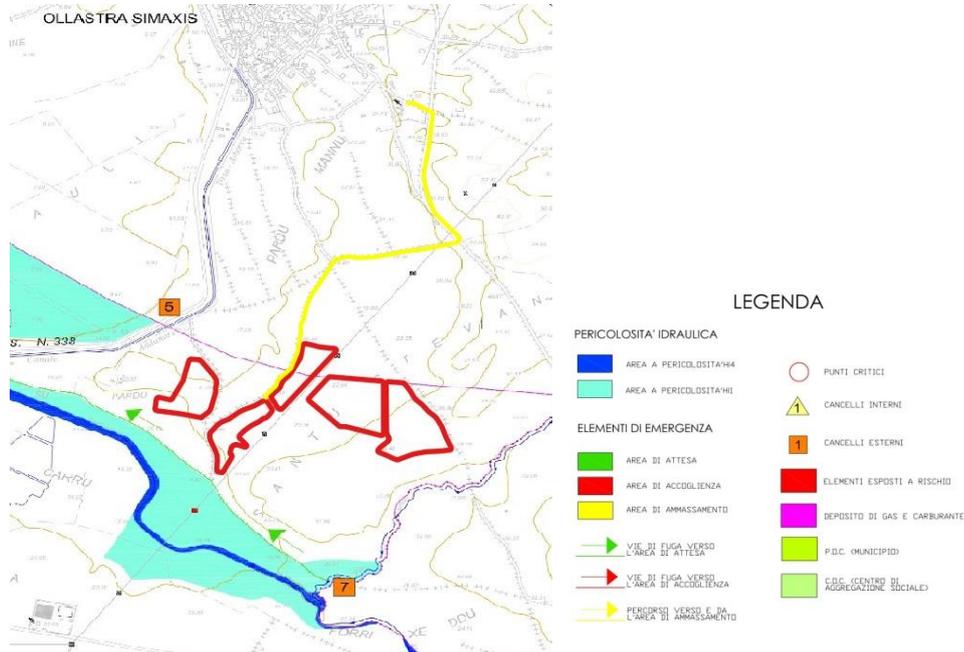


**Figura 6-1: ubicazione dell'impianto in relazione alle zone di pericolosità di frana nell'area del comune di Simaxis; da "Comune di Simaxis".**

L'area in oggetto è inoltre distante oltre 4 km dai rilievi costituiti da marne siti ad Est, motivo per cui, nel caso in cui si verificasse un fenomeno franoso, il pericolo resta molto basso. Un dato che può supportare questo fatto è riconducibile anche alle frane catalogate nell'area della Sardegna centro-occidentale: queste sono piccole, in quanto occupano una superficie inferiore a 1 ha, e risultano distanti dall'area in questione, in quanto site in luoghi montuosi nell'entroterra sardo o costieri. Si deduce che, relativamente alle condizioni di stabilità di versante, non si osservano fenomeni con cinematismi importanti che interessano direttamente il sito.

Per quanto riguarda il pericolo idraulico (Figura 6-2), l'area è anche in questo caso in una condizione stabile. Bisogna tenere in considerazione che immediatamente ad Ovest del canale parallelo alla SS388 e a Sud dell'area indicata per l'opera in progetto, vi è segnalata una perimetrazione di pericolosità idraulica molto bassa (H1). Inoltre, la pianura alluvionale del Tirso è stata oggetto di importanti opere di bonifica sin dai primi decenni del XX secolo e presenta tuttora molte opere ingegneristiche ed idrauliche quali canali per il drenaggio e l'irrigazione.

Riassumendo, non si evidenzia la presenza di condizioni geologiche che possono pregiudicare il funzionamento corretto dell'opera in progetto o limitarne la funzionalità in merito al pericolo di frana e idraulico.



**Figura 6-2: ubicazione del sito dove dovrà sorgere l'opera in progetto in relazione alle zone di pericolo idraulico del comune di Simaxis; da "PRG - Comune di Simaxis".**

## 7.0 INQUADRAMENTO GEOTECNICO E ASSETTO STRATIGRAFICO LOCALE

Di seguito sono riportate considerazioni di tipo geotecnico per i terreni caratterizzanti il sito preso in esame. Le informazioni riportate si basano sui dati ottenuti da fonti bibliografiche.

Innanzitutto, è opportuno fare una premessa fondamentale: non erano disponibili dati bibliografici ottenuti su campioni di terreno proveniente dall'area (o zone limitrofe) dove dovrà sorgere l'opera ma, poiché i sedimenti che costituiscono il sottosuolo sono, secondo la Carta geolitologica di Simaxis e la Carta geologica d'Italia a scala 1:100.000 gli stessi che compaiono nell'area di Oristano, si è scelto di considerare dati geotecnici ottenuti su un sedimento di quest'ultima città.

Si tratta, infatti, di depositi sabbioso-limosi con rari ciottoli all'interno, depositati durante l'Olocene. L'elaborato tecnico da cui sono stati presi i dati è il "Piano di lottizzazione convenzionata nella sottozona C3 del vigente P.U.C. - comparto A" del Comune di Oristano.

### 7.1 Stratigrafia e parametri geotecnici di progetto

Un sondaggio esplorativo, reperito su database ISPRA, eseguito al fine della ricerca idrica nel luogo in cui dovrà sorgere l'opera in progetto ha fornito la seguente stratigrafia:

- Da 0,00 m a 3,00 m dal p.c.: suolo agricolo
- Da 3,00 a 45,00 m dal p.c.: limi argillosi e sabbie limose
- Da 45,00 m a 73,00 m dal p.c.: basalto
- Da 73,00 m a 75,00 m dal p.c.: basalto e calcare

Di seguito sono riportate le descrizioni dei sedimenti (eccetto il suolo agricolo) e i rispettivi parametri geotecnici indicativi:

#### Limiarillosi marroni

Questi sedimenti caratterizzano la parte superficiale della sequenza litostratigrafica e comprendono anche il livello pedogenizzato. Essi sono rappresentati da materiali limosi ed argillosi da poco a mediamente consistenti. In presenza d'acqua questi terreni subiscono un ulteriore peggioramento dei caratteri meccanici. Essi sono caratterizzati da:

- Indice di consistenza  $I_c = 0,25$
- Peso di volume  $1,68 \text{ t/m}^3$
- Coesione non drenata  $C_u = 0,25 \text{ kg/cm}^3$
- Modulo di deformazione non drenata  $E_u = 18,5 \text{ kg/cm}^3$

#### Argilla limosa marrone chiaro

Si tratta di argille limose debolmente sabbiose, marrone chiaro, plastiche, da poco a mediamente consistenti, con livelli centimetrici di sabbie grossolane. Esse sono caratterizzate da:

- Indice di consistenza  $I_c = 0,21$
- Peso di volume  $1,64 \text{ t/m}^3$
- Coesione non drenata  $C_u = 0,21 \text{ kg/cm}^3$
- Modulo di deformazione non drenata  $E_u = 15,5 \text{ kg/cm}^3$

#### Sabbia medio-fine debolmente argilloso-limosa

Si tratta di argille limose debolmente sabbiose, marrone chiaro, plastiche, da poco a mediamente consistenti, con livelli centimetrici di sabbie grossolane. Sostituiscono le due unità precedenti presso Ollastra, nella zona dove dovrà passare il cavidotto. Questi sedimenti sono caratterizzati da:

- Densità relativa  $D_r = 54\%$
- Peso di volume  $= 1,45 \text{ t/m}^3$
- Angolo d'attrito  $\phi = 25,8^\circ$

- Modulo di deformazione drenato  $E = 55,3 \text{ kg/cm}^2$
- I parametri di progetto sono riportati nella seguente tabella; come accennato in precedenza, tali dati sono stati definiti per mezzo di prove eseguite in zone limitrofe all'area di impianto realizzate nelle medesime litologie. Differentemente con (\*) si indicano valori ottenuti da bibliografia di consolidato uso.

Unità geotecnica	Indice di consistenza (Ic)	Peso di Volume ( $\gamma$ ) t/m <sup>3</sup>	Densità relativa (Dr) %	Angolo di attrito ( $\phi$ ) (°)	Coesione non drenata (Cu) Kg/cm <sup>3</sup>	Mod. deformazione non drenato (Eu) Kg/cm <sup>3</sup>	Mod. deformazione drenato (E) Kg/cm <sup>3</sup>
Argille Limose	0,21 - 0,25	1,64 - 1,68	-	-	0,21 - 0,25	15,5 - 18,5	-
Sabbie medio-fini deb. argillose-limose	-	1,45 - 1,80*	50 - 55	16* - 25,8	-	-	55,3

\*dato di riferimento da bibliografia

Non si ha evidenza certa della soggiacenza della falda di progetto; si ha indicazione che è stata intercettata, tramite lo stesso sondaggio esplorativo sopra riportato, a quota maggiore di 50 m da p.c.

## 8.0 ANALISI SISMICA DEL TERRITORIO

La classificazione sismica del territorio nazionale stabilisce normative tecniche specifiche per le costruzioni di edifici, ponti ed altre opere in aree geografiche che presentano il medesimo rischio sismico.

Originariamente, i criteri per l'aggiornamento della mappa di pericolosità sismica erano stati definiti nell'Ordinanza del PCM n. 3519/2006, che suddivideva l'intero territorio nazionale in quattro zone sismiche sulla base del valore dell'accelerazione orizzontale massima ( $a_g$ ) su suolo rigido o pianeggiante, che ha una probabilità del 10% di essere superata in 50 anni.

In seguito, è stato emanato un nuovo provvedimento che prevede l'adozione delle stime di pericolosità sismica contenute nel Progetto S1 dell'INGV-DPC che ha prodotto, per l'intera comunità nazionale, uno strumento scientificamente valido, avanzato ed utilizzabile in provvedimenti normativi.

In particolare, con tale provvedimento è stato possibile superare il concetto di una classificazione sismica legata al singolo territorio comunale e si è posta attenzione sul concetto di pericolosità sismica uniforme a livello nazionale. Infatti, la vecchia classificazione sismica produceva numerose situazioni in cui un comune classificato sismico era fisicamente confinante con un comune non classificato e, pertanto, si assisteva ad un brusco cambiamento nei parametri sismici in un breve arco di territorio.

### 8.1 Inquadramento macrosismico

Di seguito viene riportata la categoria sismica per i territori dei comuni Simaxis ed Ollastra, indicata nell'Ordinanza del Consiglio dei Ministri n. 3274/2003.

I criteri per l'aggiornamento della mappa di pericolosità sismica sono stati definiti nell'OPCM n. 3519/2006, che ha suddiviso l'intero territorio nazionale in quattro zone sismiche sulla base del valore dell'accelerazione orizzontale massima ( $a_g$ ) su suolo rigido o pianeggiante, che ha una probabilità del 10% di essere superata in 50 anni (Figura 8-1).

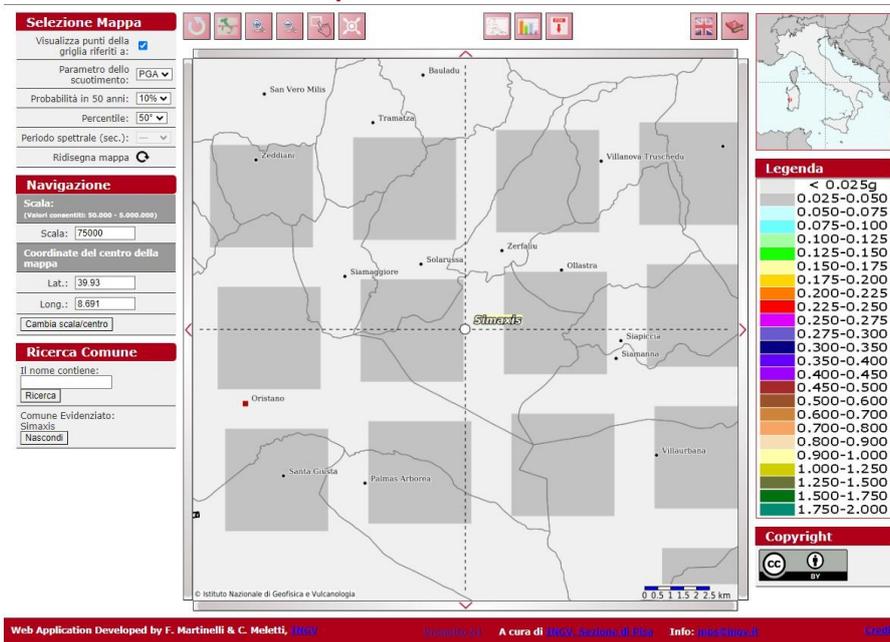
zona	accelerazione con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni [ag]	accelerazione orizzontale massima convenzionale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico [ag]
1	$0,25 < a_g \leq 0,35g$	0,35g
2	$0,15 < a_g \leq 0,25g$	0,25g
3	$0,05 < a_g \leq 0,15g$	0,15g
4	$\leq 0,05g$	0,05g

**Figura 8-1: tabella di distinzione delle zone sismiche - OPCM 3519/2006.**

Attualmente, la pericolosità sismica è stimata con una precisione maggiore e, di fatto, le variazioni tra le caratteristiche sismiche di aree adiacenti sono sempre continue e graduali.

Nello specifico, nelle zone d'interesse i valori di accelerazione al suolo (con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni) risultano minori a 0,05 ag (Figura 8-2).

**Modello di pericolosità sismica MPS04-S1**



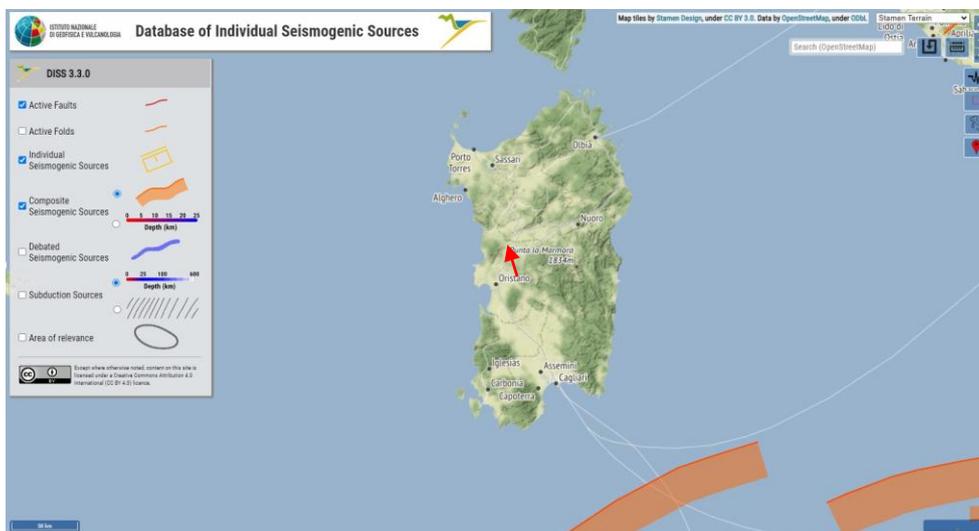
**Figura 8-2: mappa della pericolosità sismica attesa al suolo ag sitospecifica, contenuta nel Progetto S1 dell'INGV-DPC.**

Nello specifico, per le zona di interesse i valori di accelerazione al suolo (con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni) sono compresi nell'intervallo  $ag < 0,05 g$ , come riportato stabilito dagli studi del GNDT (Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti). Perciò, tale tipologia di rischio può considerarsi moderata e l'obbligo di zonazione sismica spetta alla Regione Sardegna.

## 8.2 Zonazione sismo genetica

Una sorgente sismogenica composta è una rappresentazione semplificata in tre dimensioni di una faglia contenente un dato quantitativo di sorgenti sismo geniche difficilmente distinguibili le une dalle altre. È proprio in queste zone che si generano i terremoti e, di conseguenza, il rischio sismico ha la probabilità più elevata che si verifichino terremoti con elevata magnitudo.

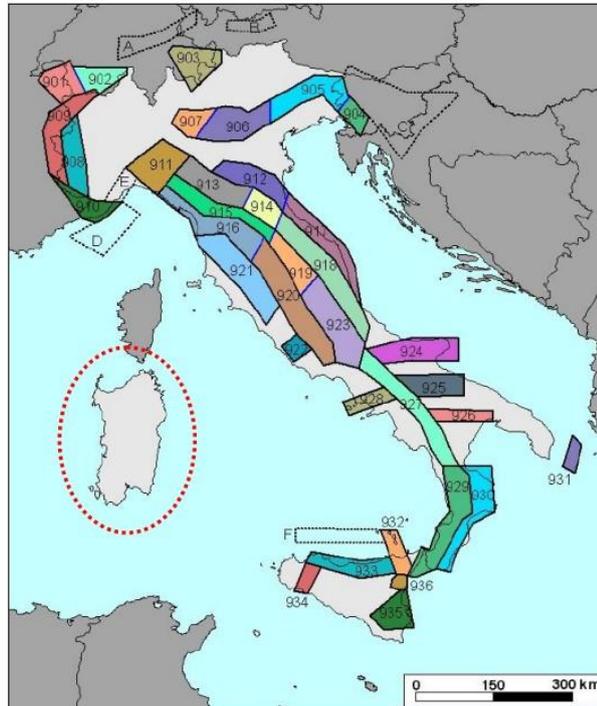
In Figura 8-3 è riportata una fotografia della Sardegna con modello DISS, con l'ubicazione dell'area dove sorgerà l'opera.



**Figura 8-3: sorgenti sismogenetiche (INGV-DISS); la freccia indica l'ubicazione del sito.**

La caratterizzazione sismogenetica dell'area in studio è stata eseguita considerando la Zonazione Sismogenetica, denominata ZS9, prodotta dall'INGV (Meletti C. e Valensise G., 2004). Dall'analisi dei

risultati, si evince che la regione Sardegna non è caratterizzata da nessuna area sismogenetica (Figura 8-4). Studi più recenti che hanno indagato e cercato di valutare la pericolosità sismica nazionale (Stucchi *et alii*, 2007) hanno prodotto risultati concordi con quelli della ZS9.



**Figura 8-4: Carta della Zonizzazione Sismogenetica ZS9 dell'Italia. Nel cerchio rosso è evidenziata la regione interessata dall'opera in progetto; da "Gruppo di lavoro INGV, 2004".**

### 8.3 Sismicità storica e pericolosità sismica del territorio comunale

La caratterizzazione della sismicità di un territorio richiede anche un'analisi della sua storia sismica. 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 (1000 d.C.) all'epoca attuale. I principali database presi in considerazione sono stati:

- il Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani 2015 (CPTI15), redatto dal Gruppo di lavoro CPTI 2015 dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV).
- il DataBase Macrosismico Italiano 2015 (DBMI15), realizzato dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV).

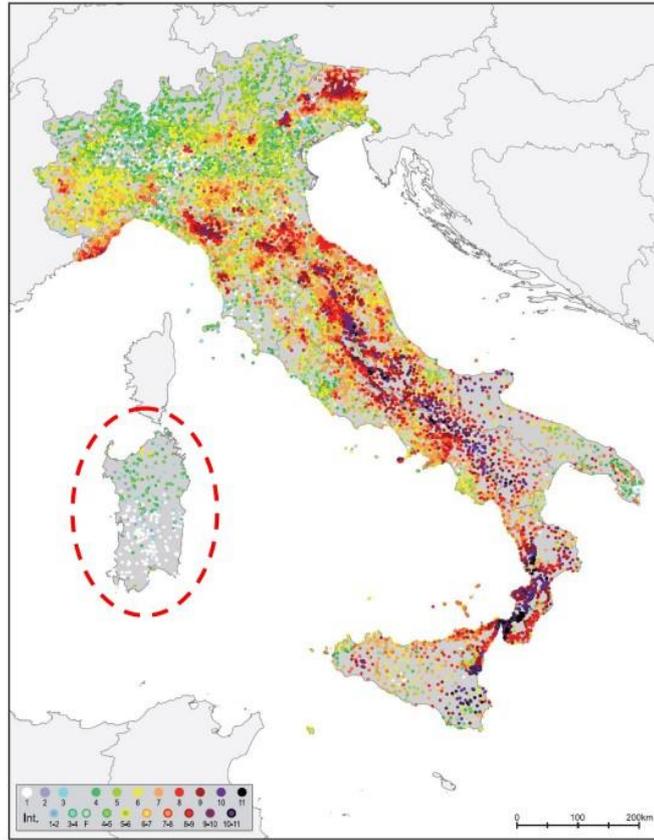
Il database DBMI15 archivia gli eventi sismici considerando i dati di intensità macrosismica e anch'esso ha mostrato dati concordi con quelli del CPTI15 (Figura 8-5).



Istituto Nazionale di  
Geofisica e Vulcanologia

DBMI15 | Database Macrosismico Italiano  
massime intensità macrosismiche osservate

<http://doi.org/10.6092/INGV.IT-DBMI15>

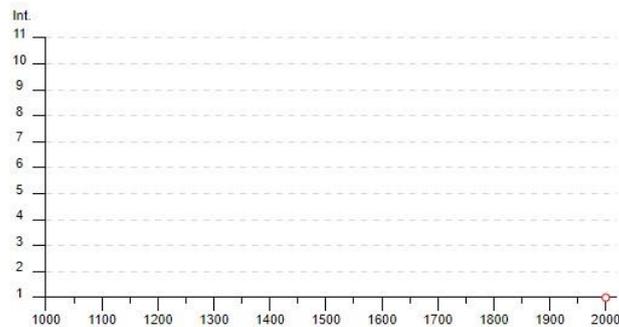


**Figura 8-5: mappa con la localizzazione degli epicentri dei terremoti storici italiani riportati nel DBMI15. Nel cerchio rosso sono evidenziati gli eventi sismici relativi alla Regione Sardegna; da "INGV".**

Nello specifico, gli eventi sismici che hanno interessato l'area di studio sono stati riportati nella Figura 8-6, in modo da mettere in luce un'analisi storica dei sismi registrati sin dal XXI secolo. Queste mostrano come la frequenza e l'intensità siano molto basse.

Simaxis

PlaceID IT\_68990  
 Coordinate (lat, lon) 39.930, 8.690  
 Comune (ISTAT 2015) Simaxis  
 Provincia Oristano  
 Regione Sardegna  
 Numero di eventi riportati 1



Personalizza il diagramma

Intensità minima   
 Intensità massima   
 Anno minimo   
 Anno massimo   
 Distanza tra le tacche degli anni

Ridisegna il diagramma

Effetti	In occasione del terremoto del							NMDP	Io	Mw
Int.	Anno	Me	Gi	Ho	Mi	Se	Area epicentrale			
NF	2000	04	26	13	37	4	Tirreno centrale	265		4.77

Figura 8-6: terremoti storici che hanno interessato il comune di Simaxis; da "INGV".

Il risultato che si deduce è che la Sardegna, in particolare la zona delle città di Ollastra e Simaxis, è caratterizzata da una sismicità molto bassa.

### 8.4 Definizione della sismicità dell'area

Di seguito viene fornito un inquadramento generale sulla classificazione sismica dell'area in esame secondo le disposizioni delle Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni del Decreto Ministeriale del 01/2018.

La normativa vigente stabilisce che la tipologia del suolo di fondazione è dipendente dal valore  $V_{s,eq}$  definito dalla seguente equazione, dove  $V_{s,eq}$  è la velocità delle onde di taglio,  $H$  la profondità del substrato,  $N$  il numero di strati,  $h_i$  lo spessore dello strato  $i$ -esimo e  $V_{s,i}$  la velocità delle onde di taglio nell' $i$ -esimo strato:

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

Nel caso in cui vi siano depositi con profondità  $H$  del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio  $V_{s,eq}$  è definita dal parametro  $V_{s,30}$ , ottenuto ponendo  $H=30$  m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

Le verifiche strutturali nei diversi stati limiti devono essere eseguite secondo azioni sismiche che sono funzione della "pericolosità sismica" dell'area in esame. La "pericolosità sismica" è infatti definita a partire dall'accelerazione orizzontale massima attesa  $a_g$  in condizioni di campo libero su suolo rigido, con piano campagna orizzontale.

Le azioni di progetto dovute al sisma si ricavano dalle accelerazioni  $a_g$  e dalle relative forme spettrali definite in funzione dei seguenti parametri:

- $a_g$  = accelerazione orizzontale massima al sito.
- $F_0$  = valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale.
- $T_{c^*}$  = periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

Per la suddetta opera, i valori di tali parametri sono relativi alla Sardegna isole minori che non rientrano all'interno del reticolo di riferimento INGV sul territorio. Utilizzando il software dedicato si ricavano gli spettri di risposta elastica delle componenti orizzontali di moto, per i diversi periodi di ritorno considerati dal D.M.

#### 8.4.1 Effetti di amplificazione topografica

Le verifiche sugli effetti di amplificazione topografica si basano puramente sui criteri di tipo morfometrico/morfologico riportati nelle NTC 2018 e per le sezioni e le misurazioni si è fatto riferimento alla cartografia disponibile. Per quanto riguarda i valori massimi del coefficiente di amplificazione topografica, questi sono riportati nella Tabella 8-1:

**Tabella 8-1: categorie amplificazione topografica NTC 2018.**

Categoria Topografica	Ubicazione opera	Amplificazione sismica $St$
<b>T1</b> (Sup. pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $\leq 15^\circ$ )	-	<b>1,0</b>
<b>T2</b> (Pendii con inclinazione media $> 15^\circ$ )	Sommità del pendio	<b>1,2</b>
<b>T3</b> (Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base ed inclinazione media compresa tra $15^\circ$ e $30^\circ$ )	Cresta del rilievo	<b>1,2</b>
<b>T4</b> (Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base ed inclinazione media $> 30^\circ$ )	Cresta del rilievo	<b>1,4</b>

L'area identificata per l'opera in progetto si trova in categoria T1, in quanto è sita in una zona pianeggiante e il valore di riferimento è  $St = 1,0$ .

#### 8.4.2 Categoria del suolo di fondazione

In questo caso non si dispone di prove geofisiche che possano definire la categoria sismica del sottosuolo come stabilito dalla normativa di settore. Tuttavia, in base al contesto geologico analizzato si può ritenere, con cautela, che la categoria sismica dei terreni di fondazione è la **C**: "Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s."

#### 8.4.3 Pericolosità sismica di base

- Vita nominale ( $V_n$ ): 50 [anni]
- Classe d'uso: II
- Coefficiente d'uso ( $C_u$ ): 1.0
- Periodo di riferimento ( $V_r$ ): 50 [anni]
- Periodo di ritorno ( $Tr$ ) SLO: 30 [anni]
- Periodo di ritorno ( $Tr$ ) SLD: 50 [anni]
- Periodo di ritorno ( $Tr$ ) SLV: 475 [anni]
- Periodo di ritorno ( $Tr$ ) SLC: 975 [anni]

Poiché la Sardegna non è compresa nel reticolo di riferimento usato per calcolare, con media ponderata, i valori dei parametri  $a_g$ ,  $F_0$  e  $T_c^*$  che definiscono l'azione sismica secondo quanto stabilito dalle NTC 2018, è necessario utilizzare i valori presenti nell'allegato B al D.M. del 2008 (Tabella 8-2), con i parametri validi per le isole (ad eccezione di Sicilia, Ischia, Procida e Capri).

**Tabella 8-2: parametri di pericolosità sismica per TR, tratti da Allegato B alle NTC 2018 in quanto la Sardegna non è coperta dal reticolo di riferimento.**

Stato Limite	Tr [anni]	$a_g$ [g]	$F_0$ [-]	$T_c^*$ [s]
SLO	30	0,186	2,61	0,273
SLD	50	0,235	2,67	0,296
SLV	475	0,500	2,88	0,340
SLC	975	0,603	2,98	0,372

Coefficiente di smorzamento viscoso  $\xi$ : 5 %

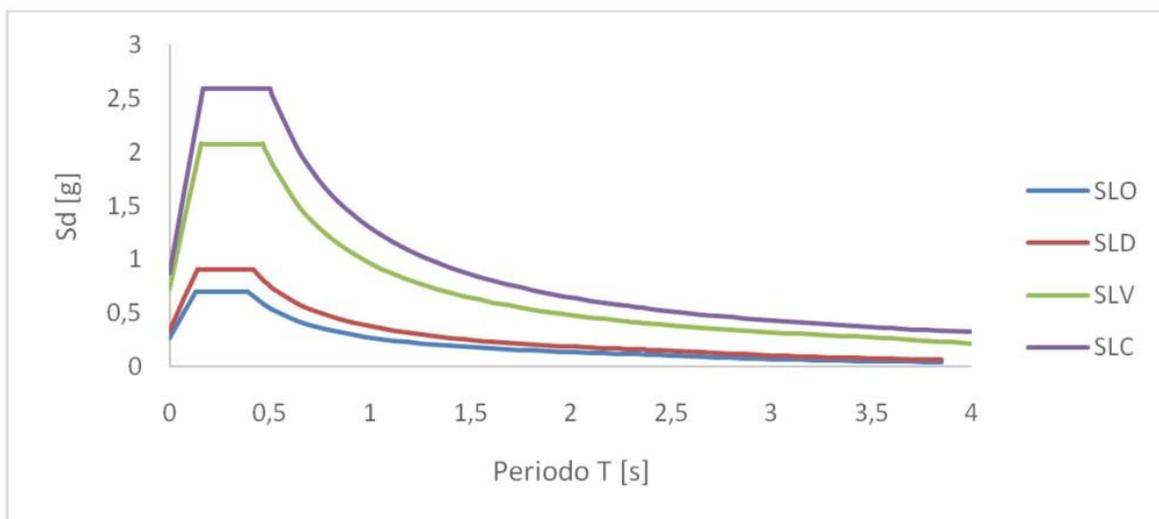
Fattore di alterazione dello spettro elastico  $\eta = [10/(5+\xi)]^{(1/2)}$ : 1.000

Categoria sottosuolo: C

Categoria topografica: T1

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
$k_h$	0.056	0.071	0.150	0.181
$k_v$	0.028	0.035	0.075	0.090
$a_{max}$ [m/s <sup>2</sup> ]	0.279	0.353	0.750	0.905
$\beta$	0.200	0.200	0.200	0.200

La Figura 8-7 riporta gli spettri di risposta elastici in spostamento delle componenti orizzontali, mentre la Tabella 8-3 mostra tutti i parametri sismici usati negli spettri di risposta elastici..



**Figura 8-7: spettri di risposta elastici in spostamento delle componenti orizzontali.**

**Tabella 8-3: parametri relativi agli spettri di risposta elastici in spostamento delle componenti orizzontali.**

	cu	ag	F0	Tc*	Ss	Cc	St	S	$\eta$	TB	TC	TD	Se(0)	Se(TB)
		[g]	[-]	[s]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[s]	[s]	[s]	[g]	[g]
<b>SLO</b>	1.0	0.186	2.610	0.273	1.5	1.612	1.0	1.5	1.0	0.147	0.440	2.344	0.279	0.729
<b>SLD</b>	1.0	0.235	2.670	0.296	1.5	1.569	1.0	1.5	1.0	0.155	0.464	2.540	0.353	0.942
<b>SLV</b>	1.0	0.500	2.88	0.340	1.5	1.499	1.0	1.5	1.0	0.170	0.510	3.600	0.868	2.627
<b>SLC</b>	1.0	0.603	2.980	0.372	1.5	1.455	1.0	1.5	1.0	0.180	0.541	4.000	0.868	2.730

## 8.5 Verifica della liquefazione dei terreni

Il sito dove è ubicato l'opera non deve essere soggetto a liquefazione, fenomeno molto comune in presenza di sabbie quando vi sono scosse telluriche per incremento rapido della pressione dell'acqua nei pori interstiziali ( $u$ ). Questo comporta, di conseguenza, la perdita di resistenza al taglio ( $\tau$ ) o l'accumulo di deformazioni plastiche in terreni saturi sollecitati da azioni cicliche e dinamiche che agiscono in condizioni non drenate. Nel caso di terreni argillosi o ghiaiosi il fenomeno non sussiste, in quanto i primi dispongono di una coesione intrinseca ( $c$ ), tale da non annullare mai  $\tau$ , mentre i secondi dispongono di una grande capacità di dreno dell'acqua che riduce  $u$ .

Se il terreno risulta suscettibile di liquefazione e gli effetti conseguenti appaiono tali da influire sulle condizioni di stabilità di pendii o manufatti, occorre procedere ad interventi di consolidamento del terreno e/o trasferire il carico a strati di terreno non suscettibili di liquefazione.

In assenza di interventi di miglioramento delle proprietà del terreno, l'impiego di fondazioni profonde richiede comunque la valutazione della riduzione della capacità portante e degli incrementi delle sollecitazioni indotti nei pali.

Tuttavia, è possibile omettere la verifica a liquefazione quando si manifesta almeno una delle seguenti circostanze:

- Accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0,1g.
- Profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali.
- Depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata\* ( $(N1)_{60} > 30$  oppure  $qc_{1N} > 180$  dove  $(N1)_{60}$  è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e  $qc_{1N}$  è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa.
- Distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate dalla normativa NTC 2018 nel caso di terreni con coefficiente di uniformità  $U_c < 3,5$  e nel caso di terreni con coefficiente di uniformità  $U_c > 3,5$  ( $U_c$  rapporto  $D_{60}/D_{10}$ , dove  $D_{60}$  e  $D_{10}$  sono il diametro delle particelle corrispondenti rispettivamente al 60% e al 10% del passante sulla curva granulometrica cumulativa).

Poiché il sito è ubicato in un'area dove l'accelerazione sismica massima attesa al p.c. è minore di 0,1 g, si può escludere il pericolo relativo alla liquefazione del suolo.

## 9.0 CONCLUSIONI

A seguito di analisi del contesto geologico ed idrogeologico dell'area in esame, si sono desunte le seguenti considerazioni:

Le litologie sono date da sedimenti fluviali di piana alluvionale (argille, limi e sabbie) quaternari, con una distribuzione maggiormente argilloso-limosa presso Simaxis e più sabbiosa verso Ollastra, con spessori di alcune decine di metri.

Il contesto geomorfologico dell'area è stabile in quanto l'area è per lo più pianeggiante con un basso gradiente topografico. In generale, non sono riportate perimetrazioni di pericolo idrogeologico interessanti l'area in esame, e non si osservano fenomeni di dissesto direttamente insistenti sul sito.

La falda è stata intercettata a oltre 50 m dal p.c. da un pozzo per captazione idrica ad uso irriguo nella zona, in prossimità di basalto e rocce carbonatiche, con risalita rilevata fino a 30,00 m dal p.c. poiché l'acquifero risulta in pressione.

Dal punto di vista sismico rispetto alla classificazione eseguita dall'INGV per il territorio nazionale, risulta che il sito è caratterizzato da una pericolosità sismica molto bassa, con un'accelerazione al suolo attesa minore di 0,05 ag/g. La categoria sismica di sottosuolo, ottenuta per mezzo di dati da bibliografia e considerazioni sul contesto geologico dell'area, risulta essere la categoria C; infine, la verifica di liquefazione dei terreni può essere omessa in quanto l'accelerazione sismica attesa al suolo è minore di 0,1 g.

La stratigrafia di sito mostra la presenza di uno strato di suolo agricolo (3,00 m da p.c.) e una successiva sequenza argilloso-limosa per 42,00 m. La caratterizzazione geotecnica dei materiali è stata eseguita per mezzo di dati di bibliografia basati su prove e indagini eseguite nell'area in esame sulle medesime litologie di interesse.

Si sottolinea come i risultati geotecnici e sismici sono stati desunti dai dati bibliografici e non da sondaggi sitespecifici.