

PROGETTO DELLA CENTRALE SOLARE
"ENERGIA DELL'OLIO DI VILLASOR"
da 53,99 MWp a Villasor (SU)



GR02

PROGETTO DEFINITIVO

RELAZIONE GEOTECNICA



Proponente

Peridot Solar Violet S.r.l.
Via Alberico Albricci, 7 - 20122 Milano (MI)



Investitore agricolo superintensivo

OXY CAPITAL ADVISOR S.R.L.
Via A. Bertani, 6 - 20154 (MI)



Progetto dell'inserimento paesaggistico e mitigazione

Progettista: Agr. Fabrizio Cembalo Sambiasi, Arch. Alessandro Visalli
Coordinamento: Arch. Riccardo Festa
Collaboratori: Urb. Daniela Martone, Arch. Anna Manzo, Arch. Paola Ferraioli,
Arch. Ilaria Garzillo, Agr. Giuseppe Maria Massa, Agr. Francesco Palombo



Progettazione elettrica e civile

Progettista: Ing. Rolando Roberto, Ing. Giselle Roberto
Collaboratori: Ing. Marco Balzano, Ing. Simone Bonacini



Progettazione oliveto superintensivo

Progettista: Agr. Giuseppe Rutigliano

Consulenza geologia **Consulenza archeologia**
Geol. Gaetano Ciccarelli GEA Archeologia

01 ● 2024

rev	descrizione	formato	elaborazione	controllo	approvazione
00	Prima consegna	A4	Carmine Perna	Gaetano Ciccarelli	Fabrizio Cembalo Sambiasi
01					
02					
03					
04					
05					
06					
07					

SOMMARIO

1	PREMESSA	2
2	INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E NORME DI RIFERIMENTO	2
2.1	Coerenza dello studio con le norme vigenti	4
3	DOCUMENTI DI RIFERIMENTO	5
4	NORAMATIVA RIFERIMENTO	5
5	ASSETTO FISICO E GEOLOGICO	6
5.1	Quadro geologico di riferimento	9
6	MODELLO GEOLITOLOGICO	13
7	LINEAMENTI GEOMORFOLOGICI.....	14
8	ANALISI DEI DATI DELLE INDAGINI: MODELLAZIONE GEOTECNICA	15
9	PERICOLOSITÀ SISMICA.....	16
9.1	Sismicità storica ed hazard sismico	16
9.1.1	Hazard Sismico.....	18
9.2	Classificazione Sismica	19
9.3	Magnitudo di riferimento.....	20
9.4	VERIFICA A LIQUEFAZIONE.....	21
10	CONCLUSIONI.....	21
11	BIBLIOGRAFIA	23
12	LIMITAZIONI	25

INDICE DELLE TABELLE

Tabella n. 3-1 Documenti di riferimento	5
Tabella n. 9-1 Elenco degli eventi sismici sia storici che strumentali che hanno interessato direttamente o indirettamente l'area in studio (Comune di Villasor). Is - intensità al sito (MCS); AE - Denominazione dell'area dei maggiori effetti; Io - Intensità epicentrale (MCS); Mw - magnitudo momento.	17
Tabella n. 9-2 Valori dei parametri per la definizione del periodo di ritorno.....	20

INDICE DELLE FIGURE

Figura n. 2-1. Inquadramento geografico generale dell'area in esame, Google Earth	3
Figura n. 2-2 Google – Vista stato di fatto del sito.....	3
Figura n. 2-3 Google – Vista del sito con l'ipotesi di progetto	4
Figura n. 5-1. Schema stratigrafico-strutturale della Sardegna. Il rettangolo indica l'ubicazione del Foglio 547 “Villacidro” ed il cerchio in rosso l'area di studio. Da PROGEMISA S.P.A., 2009	8
Figura n. 5-2. Stralcio del Foglio 224-225 Guspini della Carta Geologica d'Italia, scala 1:100.000 - nel riquadro in viola l'area di progetto –.....	12
Figura n. 7-1 Stralcio della cartografia IFFI, in rosso l'area di studio	15
Figura n. 9-1 Stralcio DBMI15 Massime intensità macrosismiche osservate (2015)	17
Figura n. 9-2 DISS 3.2.1 Sorgenti sismogenetiche.....	18
Figura n. 9-3 Mappa interattiva della pericolosità sismica di Villasor (http://esse1-gis.mi.ingv.it).....	20

1 PREMESSA

La presente relazione geotecnica espone le risultanze degli studi geologici, geologico-tecnici e geosismici a supporto del progetto definitivo dell'impianto fotovoltaico nel tenimento comunale di Villasor (SU).

Lo studio, in ossequio alle vigenti norme, definisce le caratteristiche geotecniche, geologiche, geomorfologiche e del rischio sismico locale della zona interessata dai lavori.

I temi affrontati dallo studio alla scala locale sono stati inquadrati nel contesto generale del territorio prendendo come riferimento la bibliografia relativa alle note illustrative della Carta Geologica d'Italia 1:100.000, ovvero, del foglio n. 224-225 Guspini.

In conformità con la norma NF P94-500 (versione novembre 2013) e la DFG-189.12.21-SON-075 B del 01/12/2021, la sezione geologico-tecnica del presente studio determina la natura e le proprietà geotecniche dei terreni per identificare eventuali rischi del sedime delle fondazioni dei pannelli solari.

Lo studio è stato sviluppato secondo il seguente programma:

- Indagine bibliografica e documentaristica per l'inquadramento geografico e territoriale dell'area in esame;
- Studio ed analisi della cartografia e bibliografia geologica, nel dettaglio il Foglio 244-255 della Carta Geologica d'Italia per la definizione delle caratteristiche geologiche tecniche e stratigrafiche;
- Analisi geomorfologia condotta su supporti cartografici disponibili;
- Studio della circolazione idrica superficiale e del sottosuolo;
- Analisi delle carte inventario dei fenomeni franosi e della sismicità storica;
- Analisi dei dati delle indagini di riferimento e modellazione geotecnica del sottosuolo;
- Modellazione geotecnica e sismica del sito.

2 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E NORME DI RIFERIMENTO

L'area in esame è ubicata ad ovest del centro abitato del Comune di Villasor della provincia del Sud Sardegna con coordinate, per quanto riguarda la porzione di impianto fotovoltaico più ad ovest:

- 39.394859°N
- 8.827795°E

Il sito di studio è inserito in un contesto agricolo; in particolare, è situato ad ovest del centro abitato di Villasor e a nord rispetto al centro abitato di Vallermosa. Dal punto di vista geografico il territorio comunale di Villasor è posizionato in una vasta area sub-pianeggiante, nell'ambito della depressione campidanese, alla base dei rilievi collinari che costituiscono le propaggini del Monte Linas (1236 m s.l.m.).

Si sottolinea la presenza di altri impianti fotovoltaici immediatamente ad est del Fiume Fiumini Mannu.

Nel dettaglio l'area di studio, osservabile in Figura n. 2-1, presenta quote di circa 65 metri s.l.m.

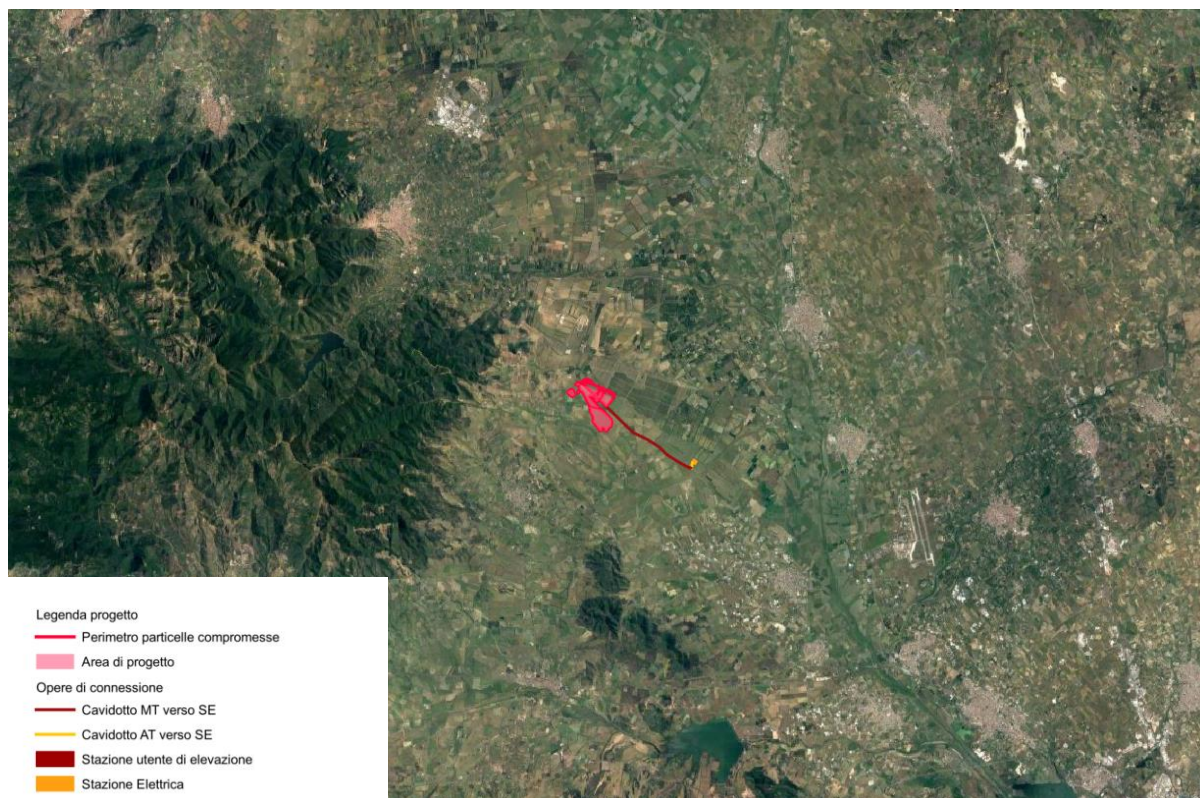


Figura n. 2-1. Inquadramento geografico generale dell'area in esame, Google Earth



Figura n. 2-2 Google – Vista stato di fatto del sito

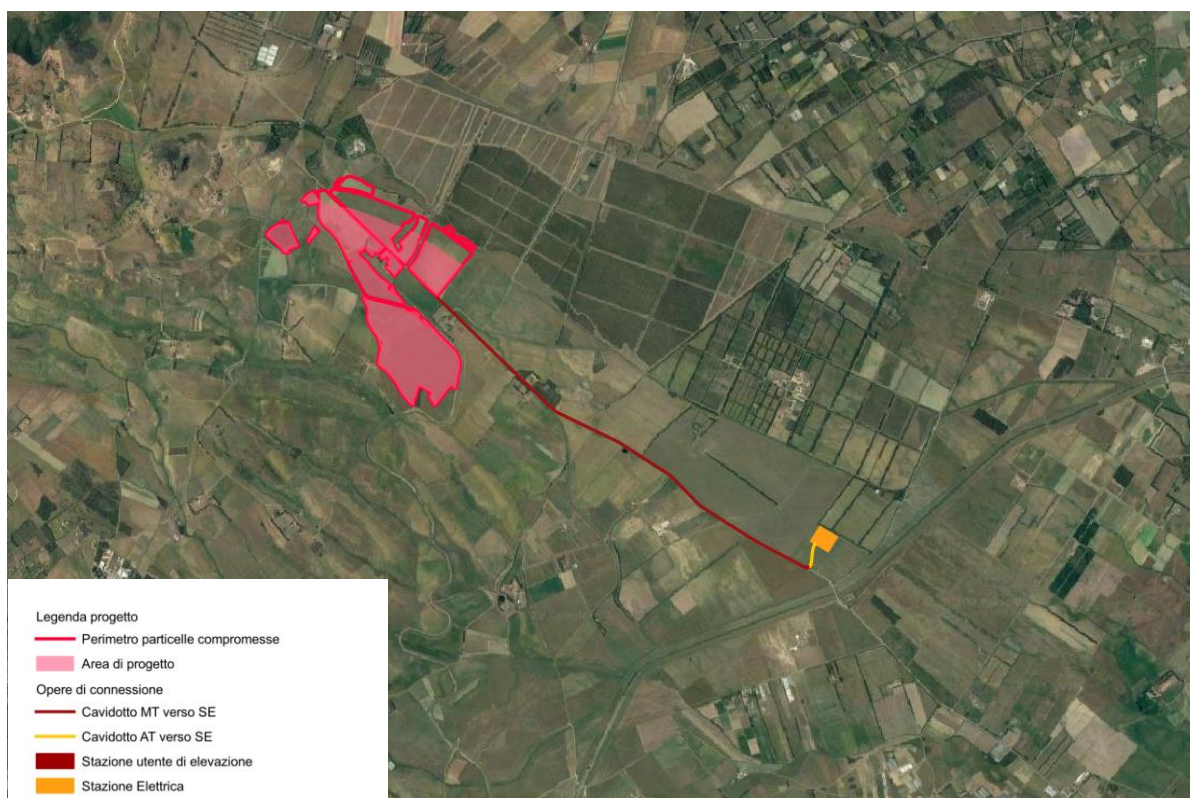


Figura n. 2-3 Google – Vista del sito con l'ipotesi di progetto

2.1 COERENZA DELLO STUDIO CON LE NORME VIGENTI

Gli studi sono stati condotti nel rispetto delle indicazioni contenute nell'art. 41 del D.P.R. 328/01, nelle "Norme Tecniche per le Costruzioni" NTC 2018 approvate con il decreto MIT del 17.01.2018, pubblicate sulla Serie Generale n. 42 del 20.02.2018 in vigore dal 22.03.2018,

Con riferimento al § C 10.1 della Circ. Min. Infr. 7 del 21.01.2019 (S.O. n. 5 G.U. n. 35 dell'11.02.2019) recante "Istruzioni per l'applicazione dell'«Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni"» di cui al D.M. 17 gennaio 2018", la presente contiene la "relazione geologica sulle indagini, la caratterizzazione e la modellazione geologica del sito" (§ 6.2.1 delle NTC e § C 6.2.1 della Circolare) e la "relazione sulla modellazione sismica concernente la pericolosità sismica di base del sito di costruzione" (§ 3.2 delle NTC e § C 3.2 della Circolare) e si pone a compendio della documentazione per l'ottenimento dell'autorizzazione sismica in conformità a quanto previsto dagli articoli 93 e 94 del D.P.R. 380/2001.

In base alla classificazione sismica del comune di Villasor (zona 4 Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274/2003, aggiornata con la Delibera della Giunta Regionale della Sardegna n. 15/31 del 30.03.2004) e alla tipologia di progetto, la Classe d'Uso è pari a IV ai sensi del § 2.4.2 delle NTC2018, sì che si definisce l'opera come rilevante (art. 4 c.2, lett. b, Tab. A, e art. 7, RR2020) e rischio molto basso.

Per quanto disposto dalle norme regionali ed in relazione al richiesto Piano delle Indagini di cui all'Allegato "C" del citato RR2020 ed in relazione alla Classe d'Uso IV, trattandosi comunque di opere che prevedono fondazioni formate da piccole piastre di modesta ampiezza a cui affidare carichi ridotti e in assenza di scavi ed opere di contenimento importanti, le indagini programmate ed eseguite sono state ridotte, così come esplicitate nel successivo § 9 della presente relazione; anche in considerazione dell'ampio novero di prove sperimentali già eseguite in sede di PFTE.

Si ritiene, pertanto, adeguato la tipologia ed il numero di indagini di riferimento e quindi anche lo studio geologico del sito e la modellazione sismica, in relazione alla stessa complessità geologica, alle finalità progettuali e alle peculiarità dello scenario territoriale ed ambientale. Giudichi il progettista delle strutture, responsabile secondo la vigente normativa in merito, se il suddetto programma di indagini risulta essere adeguato e sufficiente anche per le modellazioni geotecniche, in relazione alle caratteristiche dell'opera in progetto e alle caratteristiche del sottosuolo indagate in questa relazione. Lo scrivente sarà prontamente disponibile a curare eventuali integrazioni della campagna di indagini geotecniche, qualora il progettista lo ritenesse opportuno.

3 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

Per lo studio geologico-tecnico sono stati utilizzati i dati contenuti nei documenti di seguito elencati.

In ottemperanza alle NTC2018 e per la tipologia di opere da realizzare, le indagini geognostiche, geotecniche e geofisiche sono riportate nei documenti sottoelencati.

Nr. Rif.	Titolo documento	Autore	Anno
1	<i>Studio geologico per il progetto di fattibilità</i>	<i>CG Associati</i>	2020
2	<i>PAI Autorità di Bacino Regione Sardegna</i>	<i>Autorità di Bacino Regione Sardegna</i>	
3	<i>Carta geologica in scala 1:100.000 – Foglio n.224-225</i>	<i>Carta Geologica d'Italia</i>	

Tabella n. 3-1 Documenti di riferimento

I documenti prodotti nell'ambito del presente lavoro sono:

Sigla .	Titolo documento	Autore	Anno
GEO_01	Stralcio della Carta geologica in scala 1:100.000 – Foglio n.224-225 riportata in Figura 5.1	Servizio Geologico d'Italia	-

Figura n. 3-2 Elaborati prodotti

4 NORAMATIVA RIFERIMENTO

Il quadro normativo di riferimento a cui risponde lo studio eseguito è così costituito:

- 81-2012-IEEE (Guide for Measuring Earth Resistivity, Ground Impedance, and Earth Surface Potentials of a Grounding System).
- EN 1997 - Eurocode 7: Geotechnical design. Part 1: General rules.
- EN 1997 - Eurocode 7: Geotechnical design. Part 2: Ground investigation and testing.
- EN 1997 - Eurocode 7: Part 3: Design assisted by field testing.
- Legge 02 febbraio 1974, n. 64. Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche.
- Decreto del Ministero dei Lavori Pubblici 11 marzo 1988. Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione. Coordinato con la Circolare del Ministero Lavori Pubblici, 24 settembre 1988, n. 30483 - Istruzioni per l'applicazione.

- Ord.P.C.M. del 20 marzo 2003 n. 3274. Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica. e documenti correlati.
- D.M. 14 gennaio 2008 Ministero delle Infrastrutture e Trasporti - Norme Tecniche per le Costruzioni
- DPR 6 giugno 2001, n.380. Testo unico delle disposizioni legislative e regolamentari in materia edilizia (Testo A)
- Circolare 2 febbraio 2009, n. 617. Istruzioni per l'applicazione delle "Nuove norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. 14 gennaio 2008.
- Circolare 11 dicembre 2009. Entrata in vigore delle norme tecniche per le costruzioni di cui al decreto ministeriale 14 gennaio 2008. Circolare 5 agosto 2009 - Ulteriori considerazioni esplicative
- "Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC)" aggiornate ai sensi del DPCM del Ministro delle infrastrutture e dei trasporti DEL 17 gennaio 2018 e successive modifiche;

5 ASSETTO FISICO E GEOLOGICO

In Sardegna sono presenti tre grandi complessi geologici: il basamento metamorfico paleozoico, il complesso intrusivo tardo-paleozoico, le coperture sedimentarie e vulcaniche tardo-paleozoiche, mesozoiche e cenozoiche.

L'area generale in cui è situato il sito in esame è costituita prevalentemente da sedimenti e subordinate vulcaniti di età cenozoica; solo nella parte SW affiorano originarie rocce sedimentarie paleozoiche deformate e variamente metamorfosate durante l'Orogenesi ercinica, intruse da rocce granitoidi appartenenti all'esteso plutone tardo-paleozoico dell'Arburese.

Basamento Metamorfico Paleozoico

Il basamento paleozoico sardo rappresenta un segmento della Catena ercinica sud-europea che in origine era verosimilmente in continuità col Massiccio Centrale Francese, i Mauri e la Montagna Nera (ARTHAUD & MATTE, 1977), prima del distacco e della deriva del Blocco sardo-corso nel Miocene Inferiore. In accordo con la maggior parte degli autori, la Catena ercinica si sarebbe evoluta mediante subduzione di crosta oceanica e metamorfismo di alta pressione a partire dal Siluriano e collisione continentale, con importante ispessimento crostale, metamorfismo e magmatismo, durante il Devoniano e il Carbonifero (MATTE, 1986a; 1986b; CARMIGNANI et alii, 1994b cum bibl.).

Nel segmento ercinico sardo la geometria collisionale della catena risulta ancora ben riconoscibile. Secondo CARMIGNANI et alii (1992c; 1994b; 2001c), il "Complesso metamorfico di alto grado" che affiora nella Sardegna settentrionale rappresenta il margine armoricano sovrascorso, mentre il "Complesso metamorfico di basso e medio grado", a sua volta suddiviso in Falde interne e Falde esterne ed affiorante nella Sardegna centrale, sud-orientale e, in parte, sud-occidentale, rappresenta il margine di Gondwana subdotto. I due complessi metamorfici sono separati dalla Linea di sutura Posada-Asinara, lungo la quale affiorano relitti di crosta oceanica (CAPPELLI, 1991). La fase collisionale è associata ad un metamorfismo progrado di pressione intermedia e grado variabile da S verso N dalla facies degli scisti verdi a quella anfibolitica, quest'ultima sviluppata solo in prossimità della Linea Posada-Asinara; metamorfismo e deformazione aumentano poi di intensità passando dalle unità tettoniche geometricamente superiori a quelle inferiori.

Il basamento paleozoico del Foglio Villacidro fa parte delle Falde esterne. Esse affiorano tra la Barbagia e il Sulcis-Iglesiente e sono costituite da originarie successioni sedimentarie e vulcaniche di età compresa tra il Cambriano e il Carbonifero Inferiore. Queste falde si sono messe in posto con traslazione da NE verso SW nell'avanfossa della catena durante il Dinantiano. Il metamorfismo sin-cinematico delle Falde esterne varia dall'anchizona alla facies degli scisti verdi. Nelle Falde esterne, rocce metamorfiche in facies anfibolitica

affiorano solo al M. Grighini (Oristanese), in corrispondenza della culminazione assiale di una pronunciata antiforme di falde (Antiforme del Flumendosa) diretta NW-SE, che si può riconoscere per una lunghezza di circa 100 km dal M. Grighini alla foce del fiume Flumendosa (Sarrabus).

La sezione più completa nelle Falde esterne è descritta nella bassa valle del Flumendosa (CARMIGNANI & PERTUSATI, 1977; CARMIGNANI et alii, 1978), dove affiora l'unità tettonica più profonda, l'Unità di Riu Grappa, sottostante all'Unità del Gerrei, che a sua volta è sormontata, sul fianco settentrionale dell'antiforme, dall'Unità di Meana Sardo e, su quello meridionale, dall'Unità del Sarrabus. Queste unità tettoniche sono state impilate e deformate in un cuneo di accrezione radicato sotto le Falde interne, durante le fasi collisionali e di ispessimento crostale dell'Orogenesi ercinica.

Successivamente, durante il Carbonifero Superiore e il Permiano, un'importante tettonica distensiva post-collisionale si sovrappone alle strutture collisionali, portando all'esumazione delle metamorfite ed alla messa in posto del "Complesso intrusivo tardo-paleozoico". Il basamento ercinico affiorante è rappresentato da rocce metamorfiche di anchizona-epizona appartenenti prevalentemente all'Unità tettonica dell'Arburese, alla Zona esterna dell'Iglesiente-Sulcis e all'Unità tettonica del Gerrei, che costituiscono tre domini con caratteristiche litostratigrafiche, strutturali e metamorfiche differenti. In questo Foglio è visibile l'accavallamento tettonico della Zona a falde (Unità dell'Arburese) sulla Zona esterna (Iglesiente-Sulcis) della Catena.

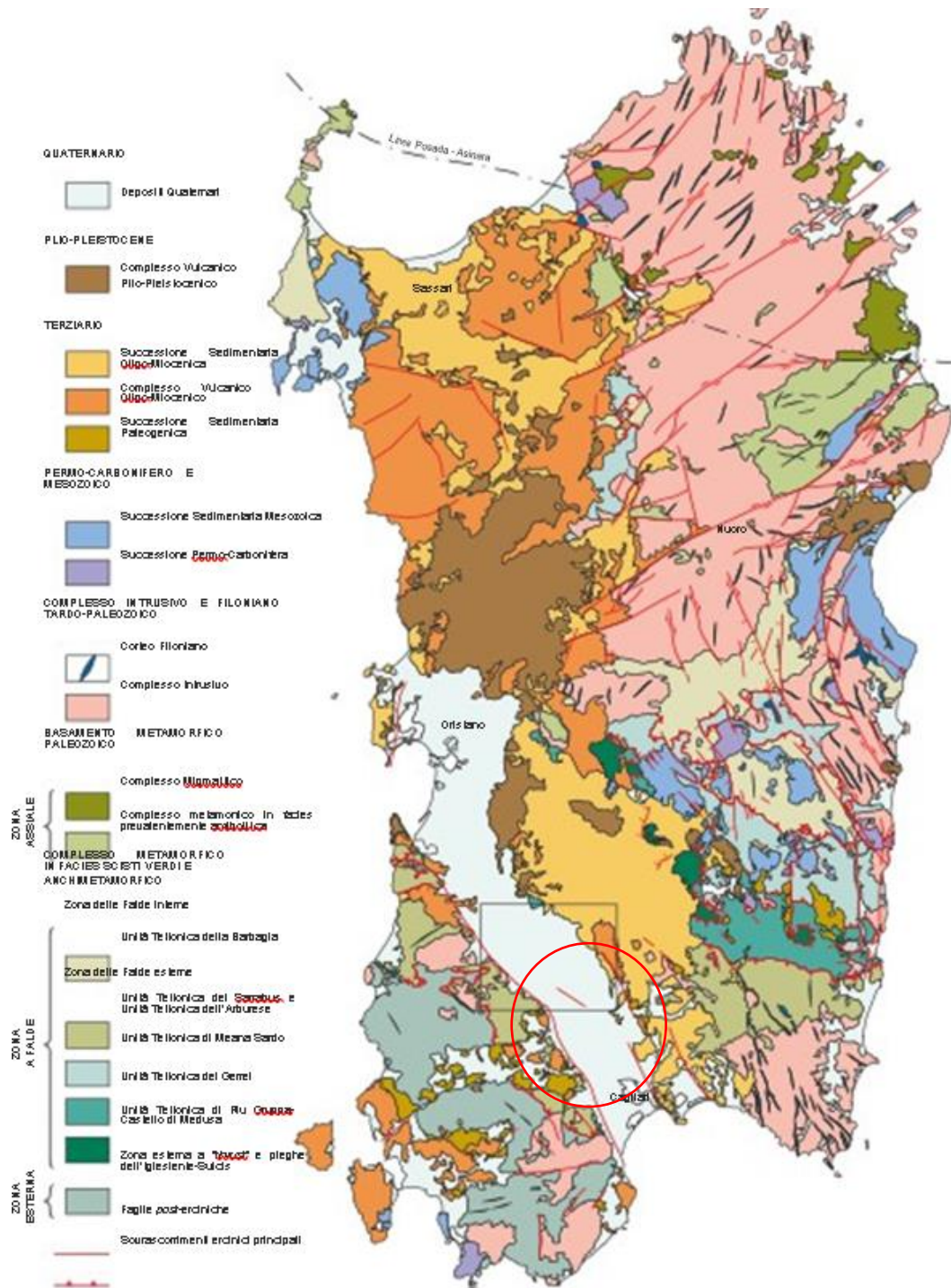


Figura n. 5-1. Schema stratigrafico-strutturale della Sardegna. Il rettangolo indica l'ubicazione del Foglio 547 "Villacidro" ed il cerchio in rosso l'area di studio. Da PROGEMISA S.P.A., 2009

5.1 QUADRO GEOLOGICO DI RIFERIMENTO

In seno alla successione stratigrafica del Paleozoico sardo sono presenti importanti discordanze stratigrafiche. La più antica, nota come “Discordanza sarrabese” (CALVINO, 1959; 1961) è stata attribuita (BARCA et alii, 1987; 1988) alla “Fase sarda” (STILLE, 1939) dell’Iglesiente e separa la successione del Cambriano - Ordoviciano Inferiore dal sovrastante complesso vulcano-sedimentario dell’Ordoviciano Medio. La seconda è una non-conformity tra il complesso vulcanico subaereo meso-ordoviciano e la successione trasgressiva dell’Ordoviciano Superiore (“Trasgressione caradociana” Auct.). La terza discordanza si osserva alla base della successione terrigena sin-orogenica del Carbonifero Inferiore: questo contatto appare quasi sempre tettonizzato e sulla sua originaria natura stratigrafica o tettonica mancano ancora dati certi.

Le successioni comprese tra queste discordanze sono classificabili come “Unconformity Bounded Stratigraphic Units” (UBSU) o “Sintemi” (ISSC, 1987; 1994). Esse sono state informalmente così definite:

- Successione terrigena del Cambriano - Ordoviciano Inferiore pre-Discordanza sarrabese;
- Successione vulcano-sedimentaria dell’Ordoviciano Medio;
- Successione terrigena e carbonatica dell’Ordoviciano Superiore - Devoniano - Carbonifero Inferiore;
- Depositi sin-tettonici tipo “Culm” (Carbonifero Inferiore).

Nei dintorni dell’area di studio risultano presenti le prime tre successioni, mentre non sono stati rilevati i depositi del “Culm” eocarbonifero. La “Successione terrigena del Cambriano - Ordoviciano Inferiore” è una potente successione di originari depositi arenacei e siltosi, nota in letteratura con il nome di Arenarie di San Vito nel Sarrabus e nel Gerrei (CALVINO, 1963; 1972) e formazione di Solanas in Barbagia e Sarcidano (MINZONI, 1975). Tali depositi avrebbero subito una debole deformazione nell’Ordoviciano Inferiore (“Fase sarda” o “Fase sarrabese” Auct.). Si tratta di depositi di conoidi sottomarine che rappresentano facies più distali rispetto ai depositi misti terrigeni e carbonatici coevi della Zona esterna della Sardegna SW. La transizione da SW a NE, da un ambiente di piattaforma terrigeno-carbonatica (Iglesiente-Sulcis) ad un ambiente di scarpata continentale distale (Sardegna SE) consente di ipotizzare il profilo di un margine continentale passivo persistente dal Cambriano fino all’Ordoviciano Inferiore, che viene riferito al margine settentrionale di Gondwana (CARMIGNANI et alii, 1992c).

La “Successione vulcano-sedimentaria dell’Ordoviciano Medio” caratterizza tutte le Falde esterne ed è costituita da grandi spessori di metavulcaniti e metaepiclastiti prevalentemente subaeree, discordanti sulle metarenarie cambro-ordoviciane. Questi prodotti magmatici, di composizione da andesitica a riolitica, sono attribuiti allo sviluppo di un arco vulcanico su crosta continentale, connesso con una fase di subduzione dell’Oceano Sud-Armorico al di sotto del margine nord-gondwaniano divenuto attivo (CARMIGNANI et alii, 1994b). Un’originaria zonazione dell’arco vulcanico spiegherebbe le sensibili variazioni di composizione, spessore e presenza o meno delle vulcaniti nelle diverse unità tettoniche della Zona a falde (CARMIGNANI et alii, 1994b).

La “Successione terrigena e carbonatica dell’Ordoviciano superiore - Devoniano - Carbonifero Inferiore” nella sua porzione iniziale testimonia la trasgressione marina sugli apparati vulcanici ordoviciani (“Trasgressione caradociana” Auct.) ed è rappresentata da depositi detritici anche grossolani, di ambiente costiero (Caradoc), seguiti da depositi pelitico-arenacei con intercalazioni carbonatiche di ambiente neritico più profondo (Ashgill). Le successioni dell’Ordoviciano Superiore mostrano una grande variabilità di facies: i prodotti dello smantellamento degli apparati vulcanici subaerei sono infatti fortemente dipendenti sia dalla locale morfologia della superficie di trasgressione, che dalla natura del litotipo trasgredito. Con l’Ordoviciano Superiore si realizza anche un’importante variazione dell’ambientazione geodinamica da margine attivo nuovamente a margine passivo. Al diffuso vulcanismo orogenico dell’Ordoviciano Medio segue infatti nel Caradoc-Ashgill una più modesta attività vulcanica, caratterizzata nella Sardegna meridionale da basalti intraplacca che testimoniano una tettonica distensiva, cui è da riferire il collasso dell’arco vulcanico calcalcalino (per

cessazione della subduzione) e la conseguente trasgressione caradociana. Nel dominio marino instauratosi alla fine dell'Ordoviciano si stabilisce sempre più una uniformità di sedimentazione che perdura anche nel Siluriano e nel Devoniano e Carbonifero Inferiore (Tournaisiano o Dinantiano). L'ambiente di sedimentazione è di mare aperto relativamente poco profondo, come provano i resti fossili di faune pelagiche a tentaculiti, conodonti, cefalopodi, con apporti da terre emerse scarsi o assenti ("piattaforma carbonatica devoniana" Auct.) e frequenti condizioni riducenti sul fondo, soprattutto nel Siluriano (black shales). I successivi "Depositi sin-tettonici tipo Culm" del Carbonifero Inferiore (Dinantiano), anch'essi coinvolti nell'Orogenesi ercinica, sono noti come formazione di Pala Manna (BARCA, 1981; 1991; BARCA et alii, 1992) e affiorano estesamente nelle Unità tettoniche del Sarrabus, del Gerrei e del Sulcis (BARCA et alii, 2005; 2009; CARMIGNANI et alii, 2001a; 2001b). Generalmente sono costituiti da alternanze di metarenarie, metasiltiti e metapeliti, con frequenti intercalazioni di metaconglomerati, metabrecce con grandi olistoliti, e metavulcaniti. Questi depositi sin-orogenici di avanfossa, derivanti probabilmente dallo smantellamento delle porzioni più interne precocemente deformate ed emerse della Catena ercinica, non affiorano nell'area in esame.

Complesso intrusivo e filoniano tardo-paleozoico

Nel settore occidentale del Foglio Villacidro affiorano granitoidi e sistemi filoniani riferibili al magmatismo post-collisionale tardo-paleozoico, che in Sardegna comprende una notevole varietà di prodotti ignei intrusivi ed effusivi. I prodotti intrusivi appartengono al "Batolite sardo-corso", il quale risulta costituito da un insieme molto eterogeneo di litotipi riferibili ad associazioni a differente affinità petrochimica. Si tratta di plutoni coalescenti, con grande variabilità composizionale rappresentata in gran parte da tonaliti, granodioriti, monzograniti e monzograniti a tendenza marcatamente leucocrata, il cui carattere prevalentemente calcalcalino e metalluminoso è stato messo in evidenza da numerosi studi petrografici, mineralogici e geochimici (DI SIMPLICIO et alii, 1975; ORSINI, 1976; 1980; BRALIA et alii, 1981; ROSSI, 1986; POLI et alii, 1989; ROSSI & COCHERIE, 1991; POLI & TOMMASINI, 1999). A questi si associano subordinati plutoni a carattere peralluminoso, costituiti in prevalenza da granodioriti e monzograniti a due miche e talora a cordierite (OGGIANO & DI PISA, 1988; SECCHI et alii, 1991; DI VINCENZO & GHEZZO, 1996; DI VINCENZO et alii, 1996).

Le datazioni assolute coi metodi K-Ar e Rb-Sr a tutt'oggi note suggeriscono per i granitoidi sardi una sequenza di messa in posto a livelli alto-crosta in un intervallo di tempo compreso fra circa 310 e 280 Ma e cioè tra il Carbonifero Superiore e il Permiano Inferiore (DEL MORO et alii, 1975; 1991; DI SIMPLICIO et alii, 1975; FERRARA et alii, 1978; BECCALUVA et alii, 1985; COCHERIE, 1985; SECCHI et alii, 1991; BROTZU et alii, 1994). I rapporti giacitureali fra le diverse intrusioni ed i dati di geocronologia isotopica evidenziano una sequenza di messa in posto dove le intrusioni tonalitiche, granodioritiche e monzogranitiche sono nell'ordine quelle più antiche, a partire da circa 310 Ma sino a circa 295 Ma (DEL MORO et alii, 1975; COCHERIE, 1985), generate e messe in posto nelle fasi terminali dello stadio di riesumazione; le intrusioni di leucograniti l.s. sono anche più recenti (285-290 Ma) e messe in posto dopo lo stadio principale di riesumazione del basamento (DEL MORO et alii, 1975; ORSINI, 1980; BRALIA et alii, 1981; GHEZZO & ORSINI, 1982; COCHERIE, 1985; COCHERIE et alii, 2005). Per le intrusioni peralluminose sono riportate età di messa in posto di 300-305 Ma (CARMIGNANI et alii, 1978; MACERA et alii, 1989; DI VINCENZO & GHEZZO, 1996).

La costruzione del batolite fra il Carbonifero Superiore e il Permiano Inferiore è pertanto contemporanea alla tettonica post-collisionale della catena ercinica, caratterizzata dalla sua riesumazione in regime estensionale con transizione alla fase anorogenica (CARMIGNANI et alii, 1992a; 1992b; 1992c; 1994a; 1994b). Le intrusioni sono predominanti nella Zona assiale (Sardegna settentrionale) mentre, procedendo verso la Zona a falde nella Sardegna centro-meridionale, esse costituiscono vari massici intrusivi, sempre alto-crosta, isolati entro il complesso metamorfico di basso grado (complessi intrusivi dell'Arburese, del Sarrabus, dell'Iglesiente-Sulcis). Tra le differenti ipotesi genetiche prospettate per queste intrusioni, evinte sulla base dei loro eterogenei aspetti petrogenetici, sono stati proposti processi di anatessi crostale, di derivazione dal mantello, di interazione e mixing fra magmi basici subcrosta e acidi anatettici, di cristallizzazione frazionata

(BRALIA et alii, 1981; POLI et alii, 1989; POLI & TOMMASINI, 1991; ROSSI & COCHERIE, 1991; TOMMASINI & POLI, 1994; TOMMASINI et alii, 1995; DI VINCENZO & GHEZZO, 1996; COCHERIE et alii, 2005). I caratteri geologici e petrografici suggeriscono che anche nella parte frontale dell'edificio a falde, come nel caso dell'Arburese e del Sarrabus, la messa in posto delle rocce granodioritico-tonalitiche, che generalmente presentano tessiture più o meno marcatamente foliate, si è realizzata in ambiente tardo-tettonico (SECCHI et alii, 1991; SECCHI & D'ANTONIO, 1996).

Durante il tardo-Carbonifero ed il Permiano nel Blocco sardo-corso-provenzale, così come in altre vaste aree dell'orogene ercinico, l'attività magmatica si è anche realizzata con prodotti effusivi prevalentemente a chimismo intermedio-acido ed affinità inizialmente calcalcalina e successivamente alcalina (BONIN et alii, 1998; CORTESOGNO et alii, 1998), prodotti che però non risultano presenti nell'area di studio.

Tutto il basamento e parte della sua copertura permo-carbonifera (TRAVERSA, 1969) risultano infine iniettati da sistemi di filoni che comprendono termini di composizione ed età assai variabili (TRAVERSA, 1979; ORSINI, 1980; GHEZZO & ORSINI, 1982; BECCALUVA et alii, 1985; ATZORI & TRAVERSA, 1986; VACCARO et alii, 1991; TRAVERSA & VACCARO, 1992; RONCA & TRAVERSA, 1996).

Successioni mesozoiche e cenozoiche

Durante il Mesozoico la Sardegna non è stata interessata da importanti movimenti tettonici né da attività magmatica. Pur tenendo conto delle brevi e parziali trasgressioni meso-triassica (Muschelkalk) e liassica (Sardegna occidentale), durante il Triassico e il Giurassico inferiore (Lias) la Sardegna costituiva un alto strutturale in gran parte emerso che nella paleogeografia alpina probabilmente rappresentava una propaggine del Dominio Brianzone. Questo alto strutturale fu più estesamente trasgredito solo a partire dal Dogger, i cui depositi dolomitici e calcarei di ambiente neritico ricoprono in discordanza sia il basamento ercinico, che la successione continentale stefaniano-permiana o permo-triassica. successione mesozoica (Giurassico-Cretacico) della Nurra e del Sulcis è poi ben documentata una lacuna meso-cretacica, talvolta associata a discordanza angolare ("lacuna bauxitica").

Una nuova emersione, che interessò l'intera Isola, si manifestò alla fine del Cretacico e perdurò per quasi tutto il Paleocene. Nel area di studio non affiorano sedimenti mesozoici, diffusi però in tutta la Sardegna centro-orientale e localmente anche nella Sardegna sud-occidentale e nord-occidentale; si sono invece preservati piccoli lembi dei depositi trasgressivi dell'Eocene Inferiore, maggiormente rappresentati in altri settori della Sardegna meridionale (PECORINI & POMESANO CHERCHI, 1969; MURRU & SALVADORI, 1990; BARCA & COSTAMAGNA, 2000; CARMIGNANI et alii, 2001a; 2001b; PERTUSATI et alii, 2002a; 2002b cum bibl.). Verosimilmente in relazione con la fase tettonica pirenaica (BARCA & COSTAMAGNA, 1997; 2000; CARMIGNANI et alii, 2004), nell'Eocene medio-superiore si ristabiliscono in tutta l'Isola condizioni di continentalità, che perdurano per quasi tutto l'Oligocene, come risulta dai depositi fluviali e lacustri riferiti a tale intervallo di tempo presenti anche nel Foglio Villacidro (formazione del Cixerri, PECORINI & POMESANO CHERCHI, 1969).

Nell'Oligocene superiore - Miocene Inferiore il Blocco sardo-corso subisce i contraccolpi della collisione nord-appenninica, di cui rappresenta il retropaese. In questo periodo nella Sardegna centro-settentrionale, così come nella Corsica ercinica, è attiva una importante tettonica trascorrente (CARMIGNANI et alii, 1994a; PASCI, 1995), con sistemi di faglie che seguono i lineamenti tettonici e le discontinuità del basamento ercinico. In concomitanza con tale evento geodinamico si manifesta in Sardegna il cosiddetto "ciclo vulcanico calcalcalino oligo-miocenico", cui si deve la messa in posto di grandi volumi di prodotti ignei, sia effusivi che esplosivi, con chimismo da basico-intermedio (basaltico-andesitico) ad acido (riodacitico-riolitico). Vulcaniti riferibili a tale ciclo sono presenti nel settore orientale dell'area di studio (distretto vulcanico di Serrenti-Furtei). La parte meridionale dell'Isola appare scarsamente interessata dalle dinamiche trascorrenti oligo-mioceniche. In quest'area sono attribuiti all'Oligocene superiore - ?Aquitano Inferiore solo alcuni depositi, da continentali a marino-litorali che, con spessori molto modesti.

Durante il Miocene inferiore-medio, contemporaneamente alla rotazione del Blocco sardo-corso (Burdigaliano) e all'apertura del Bacino Balearico e del Tirreno centro-settentrionale, si sviluppa tra il Golfo di Cagliari e quello dell'Asinara un sistema di fosse ("Fossa Sarda": VARDABASSO, 1962; "Rift sardo": CHERCHI & MONTADERT, 1982; 1984) con sedimentazione prevalentemente marina, con associati notevoli spessori di vulcaniti calcocalcine, in parte sottomarine. A partire dal Miocene Superiore e fino al Pliocene-Pleistocene, tutta l'Isola è interessata da una nuova, importante fase distensiva da riferire all'apertura del Tirreno centro-meridionale, la quale favorisce una breve e localizzata (penisola del Sinis, Campidano di Cagliari e di Oristano, Orosei) ingressione marina nel Pliocene Inferiore. A questa tettonica distensiva sono da imputare le estese manifestazioni vulcaniche plio-pleistoceniche dell'Isola, prevalentemente basiche e ad affinità alcalina, transizionale e tholeiitica, di età isotopica compresa tra 5,3 e 0,14 Ma (BECCALUVA et alii, 1978), nonché l'impostazione del graben subsidente del Campidano, colmato da potenti depositi detritici continentali plio-pleistocenici (formazione di Samassi, PECORINI & POMESANO CHERCHI, 1969; "Alluvioni antiche" Auct.)

Sia i sedimenti marini del Miocene inferiore-medio che, più estesamente, i depositi quaternari sono ampiamente rappresentati nel Foglio Villacidro, mentre i sedimenti del Pliocene inferiore marino e del Pliocene Medio-Inferiore (formazione di Samassi Auct.) sarebbero presenti unicamente nel sottosuolo del Campidano come risulta dallo studio dei sondaggi (POMESANO CHERCHI, 1971, TILIA ZUCCARI, 1969; PECORINI & POMESANO CHERCHI, 1969).

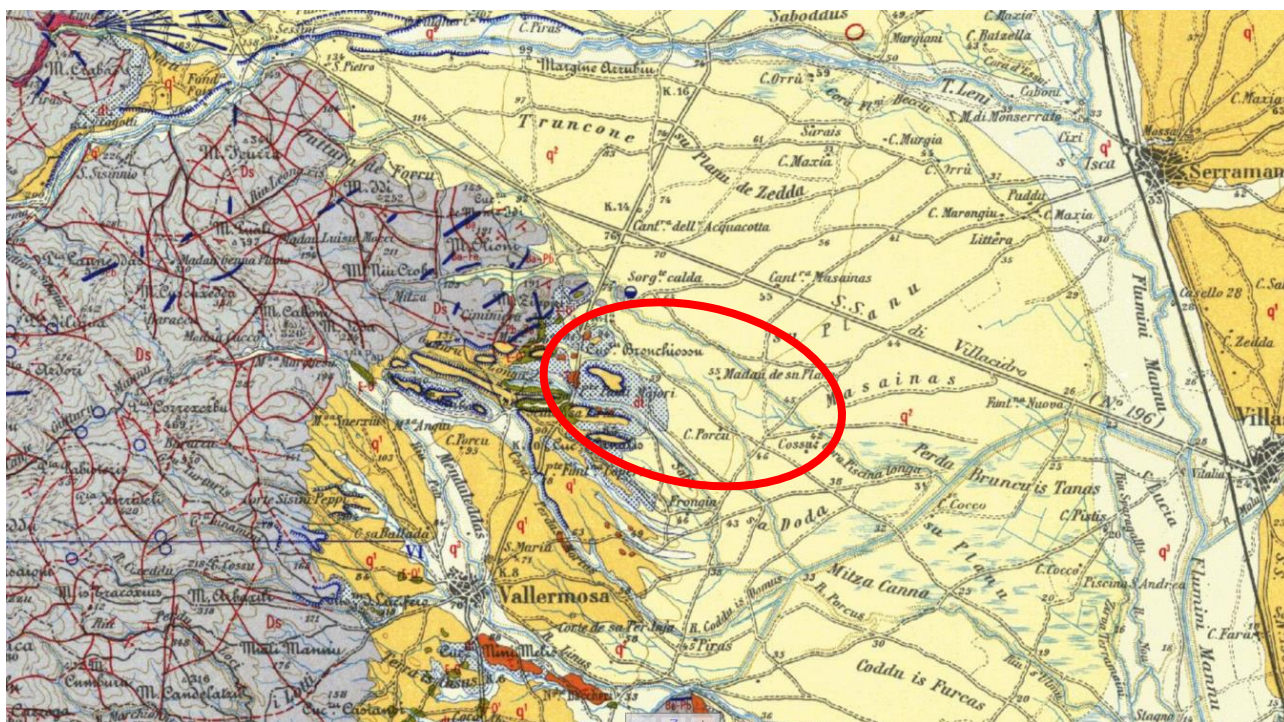
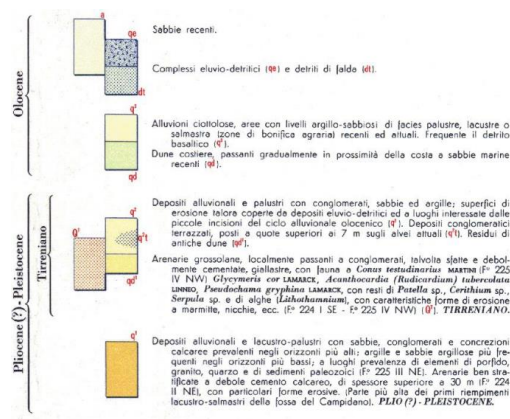


Figura n. 5-2. Stralcio del Foglio 224-225 Guspini della Carta Geologica d'Italia, scala 1:100.000 - nel riquadro in viola l'area di progetto –



6 MODELLO GEOLITOLOGICO

Per la determinazione delle caratteristiche geologiche del territorio comunale si è tenuto conto della bibliografia esistente e del rilevamento geologico.

Il territorio comunale di Villasor è ubicato nella Sardegna centro meridionale.

Nel territorio di Guspini sono presenti le seguenti unità litologiche:

- Depositi antropici. Materiali di riporto e aree bonificate. OLOCENE.
- Depositi alluvionali terrazzati. Ghiaie con subordinate sabbie. OLOCENE
- Depositi alluvionali terrazzati. OLOCENE.
- Depositi alluvionali. OLOCENE.
- Depositi alluvionali terrazzati. Sabbie con subordinati limi e d argille. OLOCENE.
- Depositi alluvionali. Ghiaie da grossolane a medie. OLOCENE.
- Depositi alluvionali. Sabbie con subordinati limi e d argille. OLOCENE.
- Depositi lacustri, palustri. Argille molto plastiche, localmente ricche di materia organica. OLOCENE.
- Litofacies del Subsistema di Portoscuso (SINTEMA DI PORTOVESME); Ghiaie alluvionali terrazzate con subordinate sabbie. PLEISTOCENE SUP.
- Litofacies nel Subsistema di Portoscuso (SINTEMA DI PORTOVESME); sabbie e arenarie eoliche con subordinati detriti e depositi alluvionali. PLEIS. SUP.
- FORMAZIONE DI NURAGHE CASTEDDU. Argilliti, siltiti, arenarie arcose, conglomerati e brecce ad elementi calcari mesozoici. PLIOCENE MEDIO.

In particolare, il settore di studio è caratterizzato prevalentemente da depositi alluvionali e lacustri appartenenti al Pleistocene-Olocene che vanno a colmare la "fossa campidanese", erede della più grande "fossa sarda" oligo-miocenica.

Si tratta principalmente di depositi alluvionali a composizione variabile da depositi grossolani costituiti da ghiaie da grossolane a medie a depositi ghiaiosi sabbiosi o sabbiosi con subordinati limi ed argille o ancora costituiti da limi e argille (Olocene).

In generale presentano uno spessore molto variabile, un costipamento variabile da basso a medio a elevate ad esclusione dei depositi limosi presentano una elevata porosità e permeabilità che favorisce la formazione di falde idriche sotterranee di tipo freatico e talora interconnesse con falda di subalveo dei principali corsi d'acqua.

I depositi sono costituiti da corpi eterometrici e poligenici (marne, calcari detritici e arenarie, andesiti, basalti, ossidiane, lave, diaspri, selci, silice amorfa, metaforfitti, granitoidi) in matrice sabbiosa o sabbiosa limosa con cementazione variabile ma in genere scarsa.

Non presentano una pericolosità geomorfologica e generalmente sono terreni granulari incoerenti, sia grossolani sia fini; presentano un comportamento geo-meccanico abbastanza buono, comunque da analizzare ogni qualvolta siano previsti interventi ingegneristici anche in funzione delle oscillazioni delle falde presenti nel settore.

I Depositi lacustri, palustri sono rappresentati da argille molto plastiche, localmente ricche di materia organica, talvolta con sottili intercalazioni di sabbie contenenti gusci di bivalvi, di gasteropodi polmonati e ostracoidi (Olocene). Tali terreni in genere non creano nessun problema dal punto di vista geologico e geomorfologico ma considerata l'elevata componente fine (limi e argille) necessitano di una caratterizzazione geotecnica accurata se devono sopportare carichi strutturali in funzione dei possibili cedimenti che potrebbero generarsi.

Le litofacies del Subsistema di Portoscuso (Sistema di Portovesme) sono caratterizzate da ghiaie alluvionali terrazzate da medie a grossolane con subordinate sabbie e sabbie arenarie eoliche con subordinati detriti e depositi alluvionali (Pleistocene Superiore).

Non presentano una pericolosità geomorfologica e generalmente sono terreni granulari incoerenti, sia grossolani sia fini; presentano un comportamento geo-meccanico abbastanza buono, comunque da analizzare ogni qualvolta siano previsti interventi ingegneristici anche in funzione delle oscillazioni delle falde presenti nel settore.

7 LINEAMENTI GEOMORFOLOGICI

La forma dominante del sito è una piana alluvionale geneticamente riconducibile al riempimento della fossa tettonica del Campidano avvenuto dall'Oligocene al Quaternario, in ambiente prevalentemente marino e subordinatamente continentale, riempimento costituito da circa 1.500 metri di sedimenti.

Dalla pianura Campidanese verso est si passa gradualmente alle colline della Marmilla e della Trexenta impostate sui depositi oligo-miocenici ed ai rilievi del basamento paleozoico.

Verso ovest, analogamente, si osserva un passaggio graduale ai rilievi collinari ed al massiccio del Monte Linas.

In queste la presenza degli affioramenti del substrato oligo-miocenico e paleozoico, con diverse età, genesi e litologia e con diversa fratturazione, ha condizionato l'evoluzione morfologica del paesaggio.

L'antropizzazione del sito, compiuta soprattutto nel dopoguerra e legata all'attività agricola, ha modificato la superficie topografica con la realizzazione di canalizzazioni e bonifiche effettuate con lo scopo di evitare ristagni d'acqua e impaludamenti frequenti in particolar modo nella porzione più meridionale del sito d'intervento.

Per quanto riguarda il Piano Assetto Idrogeologico si ha la presenza nella porzione ovest del sito in oggetto di studio di aree inondabili e soggette a rischio.

In relazione all'andamento pianeggiante della superficie topografica nell'area in oggetto non sono presenti fenomeni franosi in atto, né quiescenti, in accordo agli esiti del Piano Assetto Idrogeologico (PAI) e dalla visione dell'Inventario dei Fenomeni Franosi (IFFI).



Figura n. 7-1 Stralcio della cartografia IFFI, in rosso l'area di studio

8 ANALISI DEI DATI DELLE INDAGINI: MODELLAZIONE GEOTECNICA

La caratterizzazione del sito, la definizione dell'assetto litologico e la modellazione geotecnica, sono alla base progettuale dell'opera. Tali valutazioni, basate su indagini ed elaborazioni bibliografiche sono state ritenute, in fase preliminare, adeguate alla dimensione e alla scala del problema, all'importanza ed all'estensione dell'opera, e conseguentemente alle finalità progettuali.

Al fine di evidenziare, in via preliminare, le caratteristiche meccaniche dei terreni interessati nell'area di progetto le varie unità sono state divise per macro-unità e assegnati loro i parametri geotecnici ricavati, estrapolati e validati in situ da diverse fonti bibliografiche. Per la suddivisione si è tenuto conto delle caratteristiche tessiturali (granulometria) e del loro grado di addensamento (litotipi granulari) e grado di coesione.

Complessivamente si individuano n.5 macro-unità litotecniche di seguito elencate:

- Unità 1: Materiale coesivo poco consolidato o molle;
- Unità 2: Materiale granulare addensato a grana medio fine;
- Unità 3: Materiale granulare molto addensato a grana grossa;
- Unità 4: Materiale granulare scarsamente addensato prevalentemente sabbioso;
- Unità 5: Materiale scarsamente addensato a prevalenza grossolana.

Sulla base dei dati geotecnici di letteratura è stato possibile attribuire a ogni unità litotecnica i valori dei parametri geotecnici. Nella Tabella seguente sono sintetizzati tali valori per ogni singola unità.

Si sottolinea ulteriormente come i seguenti parametri geotecnici sono considerati adatti a rappresentare i terreni da un punto di vista preliminare dello studio geotecnico. Nelle successive fasi del lavoro si consiglia di valutare puntualmente le proprietà geotecniche dei terreni di riferimento.

Tabella 3: valori dei parametri geotecnici							
	Peso di volume	Peso di volume saturo	Coesione	Coesione non drenata	Angolo di attrito interno	Modulo elastico	Modulo edometrico
Unità litotecnica	γ	γ_s	c	cu	phi	E	Me
	kN/m ³	kN/m ³	kPa	kPa	(°)	kPa	kPa
Unità 1	20	20	-	40	-	-	4000
Unità 2	18	20	20	-	32	10000	-
Unità 3	19	21	-	-	38	70000	-
Unità 4	18	20	-	-	30	20000	-
Unità 5	18,5	20,5	-	-	35	50000	-

9 PERICOLOSITÀ SISMICA

9.1 SISMICITÀ STORICA ED HAZARD SISMICO

L'analisi della pericolosità sismica storica locale nelle UAS della Sardegna è stata eseguita utilizzando le informazioni macrosismiche messe a disposizione della comunità scientifica, a seguito del Progetto S1 dell'INGV, ed in particolare il Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani CPTI15 [Gruppo di lavoro CPTI, 2015].

Studi recenti riguardanti la distribuzione delle Massime intensità macrosismiche osservate nei comuni italiani (Locati M., Camassi R., Rovida A., Ercolani E., Bernardini F., Castelli V., Caracciolo C.H., Tertulliani A., Rossi A., Azzaro R., D'Amico S., Conte S., Rocchetti E. (2016). DBMI15, the 2015 version of the Italian Macroseismic Database. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia. doi: <http://doi.org/10.6092/INGV.IT-DBMI15>) indicano, per la zona in oggetto, dei valori intorno al quarto grado della scala macrosismica MCS.

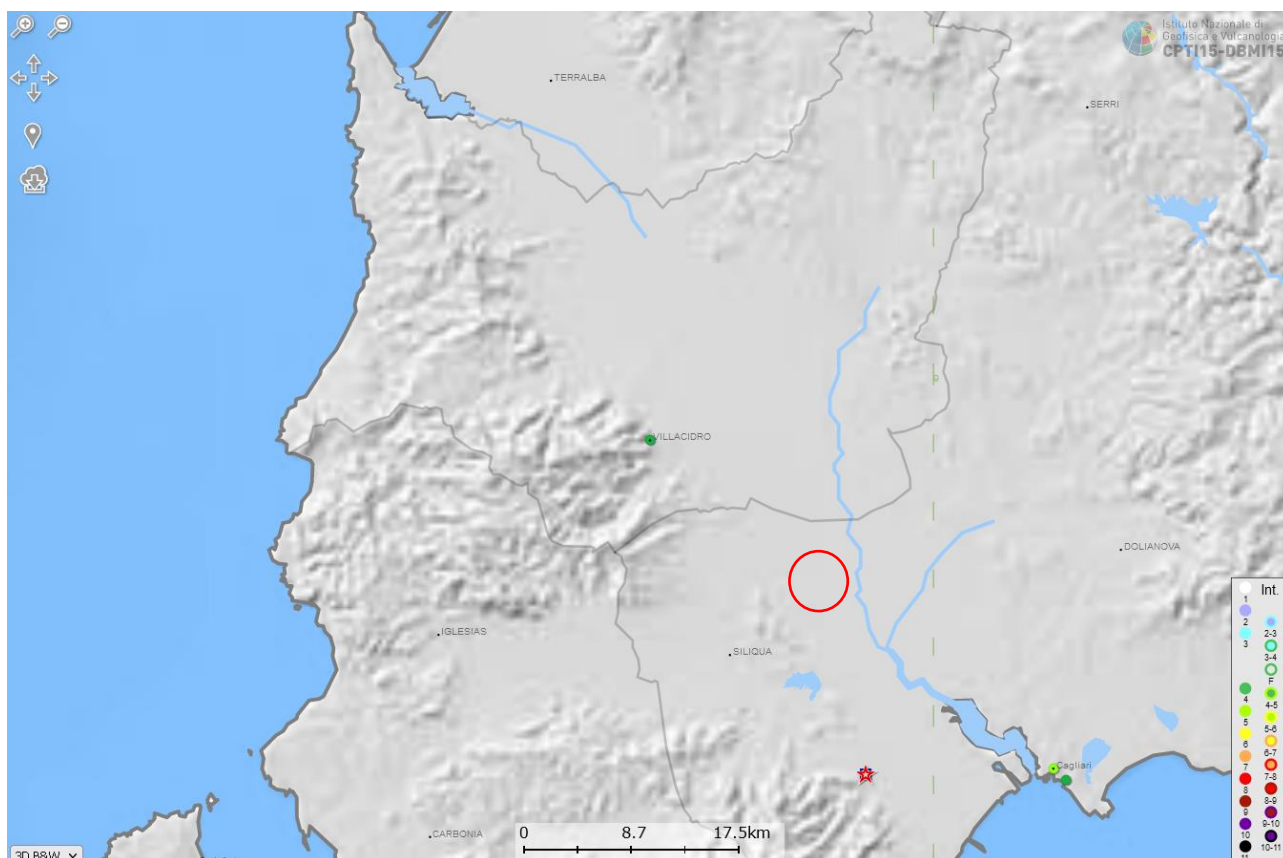


Figura n. 9-1 Stralcio DBMI15 Massime intensità macrosismiche osservate (2015)

Dall'analisi del Catalogo parametrico dei terremoti italiani (Rovida A., Locati M., Camassi R., Lolli B., Gasperini P. (eds), 2016. CPTI15, the 2015 version of the Parametric Catalogue of Italian Earthquakes. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, <http://doi.org/10.6092/INGV.IT-CPTI15>), si nota come l'area di studio, situata nel territorio comunale di Villasor, a causa di pochi dati non è disponibile nel catalogo dei terremoti. A titolo informativo si analizzato gli eventi sismici più importanti avvenuti nel comune vicino di Guspini e che hanno avuto un grande risentimento nell'area in studio; in totale gli eventi sono n. 1 e vengono riportati nella tabella 10.1.

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

Tabella n. 9-1 Elenco degli eventi sismici sia storici che strumentali che hanno interessato direttamente o indirettamente l'area in studio (Comune di Villasor). Is - intensità al sito (MCS); AE - Denominazione dell'area dei maggiori effetti; Io - Intensità epicentrale (MCS); Mw - magnitudo momento.

9.1.1 Hazard Sismico

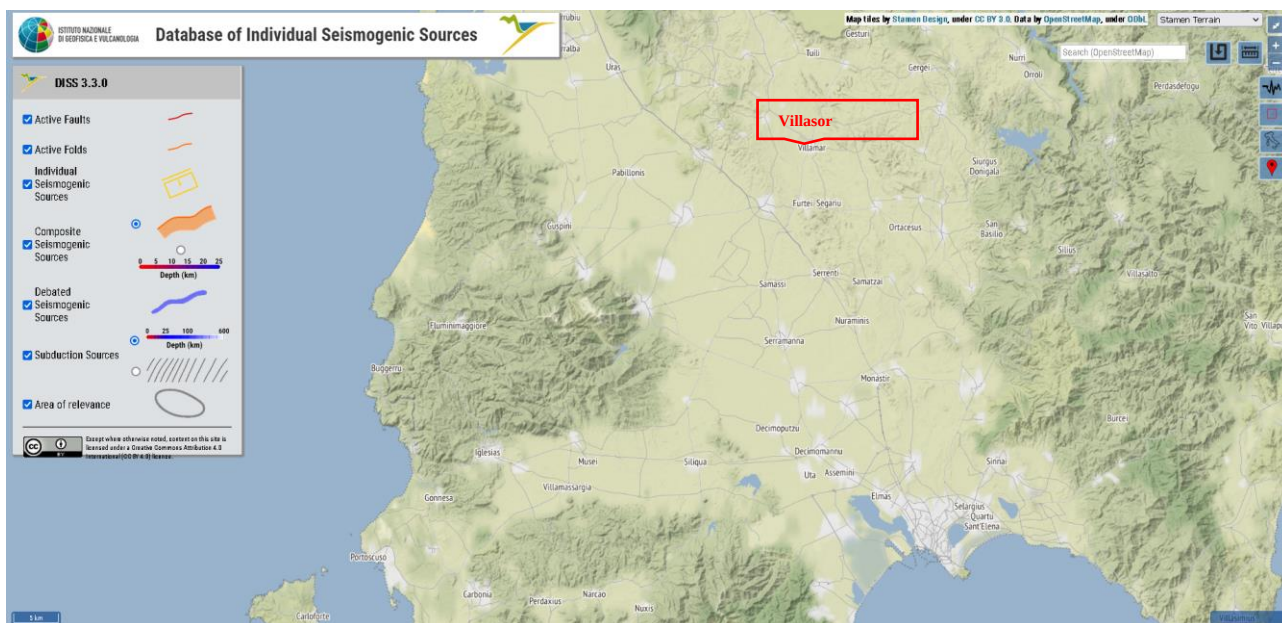


Figura n. 9-2 DISS 3.2.1 Sorgenti sismogenetiche

La conoscenza approfondita e la precisa collocazione spaziale delle faglie in grado di produrre una significativa deformazione tettonica permanente in superficie (faglie capaci), assume un ruolo chiave per la mitigazione del rischio. L'importanza di valutare la pericolosità in termini di ground rupture viene indicata anche nell'Eurocodice 8 (nella parte 5 sulle fondazioni). Per queste ragioni, il Servizio Geologico d'Italia - ISPRA ha sviluppato il progetto ITHACA (ITaly HAZard from CAPable faults), che sintetizza le informazioni disponibili sulle faglie capaci che interessano il territorio italiano.

Sebbene gran parte dei movimenti associati alle faglie capaci avvenga in associazione ad eventi sismici, raramente lo scorrimento può avvenire in modo lento, quindi asismicamente (creep). Deformazioni in superficie o a profondità prossime alla superficie lungo strutture fragili possono essere indotte in Italia anche da fenomeni endogeni non riferibili direttamente alla tettonica crostale.

La conoscenza approfondita e la precisa collocazione spaziale delle faglie in grado di produrre una significativa deformazione tettonica permanente in superficie (faglie capaci), assume un ruolo chiave per la mitigazione del rischio. L'importanza di valutare la pericolosità in termini di ground rupture viene indicata anche nell'Eurocodice 8 (nella parte 5 sulle fondazioni). Per queste ragioni, il Servizio Geologico d'Italia - ISPRA ha sviluppato il progetto ITHACA (ITaly HAZard from CAPable faults), che sintetizza le informazioni disponibili sulle faglie capaci che interessano il territorio italiano. ITHACA si propone, quindi, come strumento fondamentale per: a) analisi di pericolosità ambientale e sismica, b) comprensione dell'evoluzione recente del paesaggio, c) pianificazione territoriale e d) gestione delle emergenze di Protezione Civile. È inoltre di supporto alla ricerca scientifica nell'ambito dell'analisi dei processi geodinamici.



Nella figura si nota come l'area di studio viene attraversata da due faglie capaci (*una faglia è definita capace quando ritenuta in grado di produrre, entro un intervallo di tempo di interesse per la società, una deformazione/dislocazione della superficie del terreno, e/o in prossimità di essa*).

9.2 CLASSIFICAZIONE SISMICA

Le Norme Tecniche sulle Costruzioni, emanate con il DM Infrastrutture del 17.01.2018, hanno stabilito che per ogni costruzione ci si può riferire ad una accelerazione di riferimento propria in relazione sia alle coordinate geografiche dell'area di progetto, sia alla vita nominale della costruzione stessa.

I criteri di riclassificazione stabiliti dall'OPCM 3274/2003 permettono di esprimere la pericolosità sismica in valori di accelerazione di picco su suolo rigido (a_g) suddivisa in sottoclassi per ogni zona sismica con intervalli di 0,025g.

La regione Sardegna con proprie DGR nn. 15/31 del 2004 ordinisticamente ha approvato la nuova classificazione sismica del territorio regionale. In base a tali norme il territorio di Villasor è stato riclassificato in Zona **4** a cui corrisponde un range del valore di a_g inferiore a **0.05 a_g** . In base all'Allegato "C" delle norme citate, le opere in progetto assumono la **Classe d'Uso IV**.

La zona sismica **4** indica una pericolosità sismica molto bassa dove i terremoti sono rari ed è facoltà delle Regioni prescrivere l'obbligo della progettazione antisismica.

La mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale (GdL MPS, 2004; rif. Ordinanza PCM del 28 aprile 2006, n. 3519, All. 1b) è espressa in termini di accelerazione orizzontale del suolo con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni, riferita a suoli rigidi ($V_{s30} > 800$ m/s; cat. A, punto 3.2.1 del D.M. 14.09.2005). L'Ordinanza PCM n. 3519/2006 ha reso tale mappa uno strumento ufficiale di riferimento per il territorio nazionale

Oltre al valore di a_g , è necessario conoscere, per il sito in esame, i dati di disaggregazione (variabilità in termini di magnitudo e distanza). La disaggregazione della pericolosità sismica è un'operazione che permette di valutare i contributi di diverse sorgenti sismiche alla pericolosità di un sito.

L'INGV, nella sua 'Mappa della pericolosità sismica' (sito <http://esse1-gis.mi.ingv.it>), elaborata con modello probabilistico sismotettonico, inserisce il comune di Villasor in una zona con un'accelerazione orizzontale

attesa compresa nell'intervallo 0.025-0.050 Ag/g riferita a suoli rigidi (categoria A, $V_{s,eq} > 800$ m/s) e con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni.

Modello di pericolosità sismica MPS04-S1

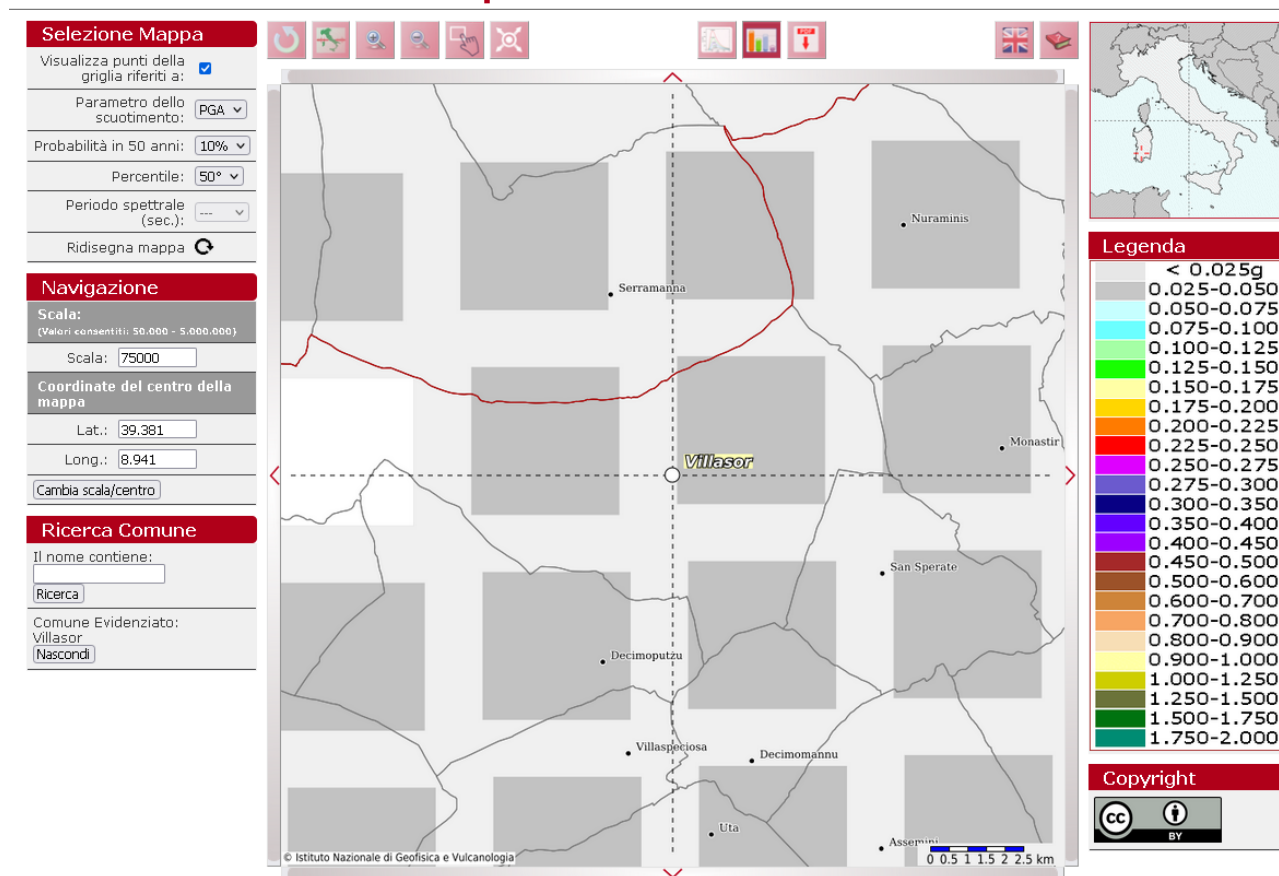


Figura n. 9-3 Mappa interattiva della pericolosità sismica di Villasor (<http://esse1-gis.mi.ingv.it>)

P_{v_k} (Stato Limite)	C_u	V_H [anni]
81% Operatività (SLO)	0.7 (I. Strutture secondarie)	≤ 10 (Opere provvisorie)
63% Danno (SLD)	1.0 (II. Strutture ordinarie)	≥ 50 (Opere ordinarie)
10% Salvaguardia della vita (SLV)	1.5 (III. Strutture importanti)	≥ 100 (Grandi opere)
5% Prevenzione del Collasso (SLC)	2.0 (IV. Strutture strategiche)	

Tabella n. 9-2 Valori dei parametri per la definizione del periodo di ritorno

9.3 MAGNITUDO DI RIFERIMENTO

Per quanto riguarda il valore di Magnitudo di riferimento si è fatto uso dei dati ICMS 2008. Un metodo per stimare il valore di M_w da considerare ai fini delle valutazioni per le verifiche di liquefazione per l'area o la microzona di interesse è, nel caso in cui non sia ricompresa nella zonazione sismogenetica (ZS9; INGV, 2009), di determinare le minime distanze (R_i) dalle zone sismogenetiche circostanti (i) e successivamente si verifica per ciascuna di esse se la magnitudo della zona sismogenetica considerata (M_i) è inferiore o superiore alla magnitudo fornita dalla relazione $M_{si}=1+3*\log(R_i)$. Nel caso in cui almeno una M_{si} , calcolata per le zone sismogenetiche circostanti, è inferiore alla M_i della stessa zona per la quale è stata calcolata M_{si} , si assume

per M_w il valore di magnitudo più alto tra le magnitudo delle zone sismogenetiche circostanti ($M_i=M_w$); se invece tutte le M_s sono superiori alle M_i , si determina la M_w con il metodo della disaggregazione. Visto che tutti i valori di M_s sono maggiori di M_i si è stimato il valore di magnitudo con il metodo della disaggregazione, ovvero, mediante il portale dell'INGV si è identificato il sito oggetto dello studio e si sono individuati i relativi “nodi” della maglia all'interno della quale è inserito lo stesso.

Si ricorda che Villasor, così come l'intero territorio della Sardegna non sono interessate da zone sismogenetiche e che per mancanza di dati non è possibile generare sia la curva di pericolosità, spettri a pericolosità uniforme che il grafico di disaggregazione.

9.4 VERIFICA A LIQUEFAZIONE

Le nuove norme sulle costruzioni (NTC2018) al punto 7.11.3.4.2 tracciano le linee guida per valutare la suscettibilità alla liquefazione dei terreni. La normativa specifica in modo molto chiaro che la verifica a liquefazione può essere omessa quando si manifesti almeno una delle seguenti circostanze:

- accelerazioni massime attese al p.c. minori di 0.1g;
- profondità della falda superiore a 15 m dal p.c.;
- distribuzione esterna al campo granulometrico delle sabbie;
- resistenze penetrometriche normalizzate $q_c > 180$.

Per quanto sopra esposto, si può ritenere dato che le accelerazioni massime previste nell'area di studio al p.c. sono inferiori a 0.1g la verifica a liquefazione può essere omessa.

10 CONCLUSIONI

Nella presente relazione geotecnica è stata caratterizzata l'area di sedime del Parco solare fotovoltaico “Villasor” sotto il profilo geologico, geotecnico e sismico in ottemperanza alle vigenti norme della regione Sardegna.

Lo studio per la caratterizzazione geolitologica geotecnica e sismica si è avvalso delle risultanze delle indagini e sperimentazioni specialistiche ricavate dalla letteratura. In base all'intero novero dei dati sperimentali è stato elaborato il modello geotecnico del sottosuolo d'imposta del Parco Fotovoltaico.

L'area di studio, situata ad ovest del centro abitato del Comune di Villasor, presenta una morfologia subpianeggiante e non soggetta a variazioni e, pertanto, stabile sotto tale profilo. L'assetto idrogeologico locale, governato da acque meteoriche liberamente dilavanti lungo il sito e confluenti in diversi corsi d'acqua presenti, impongono che per la stabilità del sito si attuino opportuni interventi di regimazione idraulica.

Il modello geotecnico attuale prevede una circolazione idrica episupeficiale. si consiglia in fase esecutiva di misurare puntualmente il livello piezometrico puntuale.

Per la valutazione del Rischio Sismico Locale è stato eseguito lo studio specifico richiesto dalle norme. Per i parametri sismici si faccia riferimento all'analisi svolta nella specifica relazione di Modellazione Sismica; in ogni caso, in fase esecutiva è necessario elaborare uno studio specifico per la definizione degli spettri elastici ed individuare la classificazione del suolo tramite apposite indagini MASW.

Dato che i valori di accelerazione al p.c. attesi sono inferiori a 0.1 g, come da normativa, è stato possibile escludere il rischio di liquefazione.

In fase esecutiva, i dati ricavati dall'elaborazione delle indagini di riferimento suggeriscono le seguenti considerazioni:

- si consiglia eseguire preventivamente prove di carico sui piani fondali prescelti;
- un'apposita indagine in situ completa di prove di laboratorio per caratterizzare puntualmente i terreni;

- indagini geofisiche puntuali ed analisi della risposta sismica locale;
- per quanto concerne le strutture di fondazioni dei locali tecnici e di trasformazione, è preferibile localizzare le platee in cemento al di fuori delle zone di avvallamenti topografici e lontano dalle linee di deflusso idrico superficiale.

Infine, per quanto attiene ai potenziali fenomeni di instabilità dei fronti di scavo, si pone in evidenza che è comunque necessario il rispetto delle seguenti norme sulla sicurezza:

D. Lgs 81/2008, art. 118: *Nei lavori di splattamento o sbancamento eseguiti senza l'impiego di escavatori meccanici, le pareti delle fronti di attacco devono avere una inclinazione o un tracciato tali, in relazione alla natura del terreno, da impedire franamenti. Quando la parete del fronte di attacco supera l'altezza di m 1,50, è vietato il sistema di scavo manuale per scalzamento alla base e conseguente franamento della parete. Quando per la particolare natura del terreno o per causa di piogge, di infiltrazione, di gelo o disgelo, o per altri motivi, siano da temere frane o scoscendimenti, deve essere provveduto all'armatura o al consolidamento del terreno;*

D. Lgs 81/2008, art. 118: *Nello scavo di pozzi e di trincee profondi più di m 1,50, quando la consistenza del terreno non dia sufficiente garanzia di stabilità, anche in relazione alla pendenza delle pareti, si deve provvedere, man mano che procede lo scavo, all'applicazione delle necessarie armature di sostegno;*

D. Lgs 81/2008, art. 120: *È vietato costituire depositi di materiali presso il ciglio degli scavi. Qualora tali depositi siano necessari per le condizioni del lavoro, si deve provvedere alle necessarie puntellature;*
DM 14 01 08 "Norme tecniche sulle costruzioni", 6.8.6. (fronti di scavo): *Per scavi trincea a fronte verticale di altezza superiore ai 2 m, nei quali sia prevista la permanenza di operai, e per scavi che ricadano in prossimità di manufatti esistenti, deve essere prevista una armatura di sostegno delle pareti di scavo.*

Tutti i materiali di scavo vanno stoccati e lavorati, se occorre, in sito, altrimenti vanno smaltiti secondo le norme vigenti.

Napoli, gennaio 2024

Dr. Gaetano Ciccarelli

11 BIBLIOGRAFIA

- Bosellini, A., & G. Ogniben (1968), Ricoprimenti ercinici nella Sardegna centrale: Annali dell'Università di Ferrara, v. 1.
- Calvino, F. (1959), Lineamenti strutturali del Sarrabus-Gerrei (Sardegna sud-orientale): Bollettino del Servizio Geologico d'Italia, v. 81.
- Carmignani, L., T. Coccozza, C. Ghezzi, P. C. Pertusati, & C. A. Ricci (1982), Guida alla Geologia del Paleozoico Sardo: Guide Reologiche Regionali: Roma, Società Geologica Italiana.
- Carmignani, L., G. Oggiano, A. Funedda, P. Conti, & S. Pasci (2015), The geological map of Sardinia (Italy) at 1:250,000 scale.: Journal of Maps. doi:10.1080/17445647.2015.1084544.
- Carmignani, L., P. C. Pertusati, S. Barca, R. Carosi, A. Di Pisa, M. Gattiglio, G. Musumeci, & G. Oggiano (1992), Struttura della Catena Ercinica in Sardegna. Guida all'Escursione: Siena, Gruppo Informale di Geologia Strutturale.
- Carosi, R., & P. C. Pertusati (1990), Evoluzione strutturale delle unità tettoniche erciniche nella Sardegna centro-meridionale: Bollettino della Società Geologica Italiana, v. 109, p. 325-335.
- Casini, L., S. Cuccuru, M. Maino, & G. Oggiano (2015), Structural map of Variscan northern Sardinia (Italy). Journal of Maps, 11(1).
- Casini, L., & G. Oggiano (2008), Late orogenic collapse and thermal doming in the northern Gondwana margin incorporated in the Variscan Chain: A case study from the Ozieri Metamorphic Complex, northern Sardinia, Italy.: Gondwana Research, v. 13.
- Castany, G. (2009), Idrogeologia - Principi e metodi. Dario Flacciovio editore.
- Conti, P., L. Carmignani, N. Cerbai, A. Eltrudis, A. Funedda, & G. Oggiano (1999), From thickening to extension in the Variscan belt - kinematic evidence from Sardinia (Italy): Terra Nova, v. 11(2-3), 93-99. doi:10.1046/j.1365-3121.1999.00231.
- Conti, P., L. Carmignani, & A. Funedda (2001), Changing of nappe transport direction during the Variscan collisional evolution of central-southern Sardinia (Italy). Tectonophysics, v. 332, p. 255-273.
- Corradini, C., & A. Ferretti (2009), The Silurian of the external Nappes (southeastern Sardinia). Rendiconti della Società Paleontologica Italiana, v. 48(1).
- Corradini, C., A. Ferretti, & E. Serpagli (1998), The Silurian and Devonian sequence in SE Sardinia: ECOS VII-Sardinia Guide-book.
- D'ITALIA, Carta Geologica. Foglio 224-225 «Capo Pecora-Guspini» alla scala: 1: 100.000. *Rilevazioni di P. Zuffardi et al., Servizio Geologico Italiano*, 1971.
- DELLA SARDEGNA, RAS-Regione Autonoma; PUBBLICI, Assessorato Lavori. Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI). *Relazione generale. [Hydrogeological Setting Plan. Comprehensive Report]- Retrieved from: http://www.regione.sardegna.it/documenti/1_26_20060913170906.pdf, 2004.*

Dessau, G., 1937, Studi sulla miniera di Fontana Raminosa (Sardegna): Periodico di Mineralogia, v. 2, p. 177-215.

Dessau, G., G. Duchi, A. Moretti, & G. Oggiano (1982), Geologia della zona del Valico di Correboi (Sardegna centro-orientale).

Rilevamento, tettonica e giacimenti minerari: Bollettino della Società Geologica Italiana, v. 10.

Funedda, A., M. A. Meloni, & A. Loi (2015), Geology of the Variscan basement of the Laconi-Asuni area (central Sardinia, Italy): The core of a regional antiform refolding a tectonic nappe stack.: Journal of Maps, 11(1), 146-156. doi:10.1080/17445647.2014.942396.

Gaggero, L., G. Oggiano, A. Funedda, & L. Buzzi (2012), Rifting and arc-related early Paleozoic volcanism along the North Gondwana margin: geochemical and geological evidence from Sardinia (Italy). Journal of Geology, v. 120(3), p. 273-292 doi:10.1086/664776.

Meloni, M. A., G. Oggiano, A. Funedda, M. Pistis, & U. Linneman (2017), Tectonics, ore bodies and gamma-ray logging of the Variscan basement, southern Gennargentu massif (central Sardinia, Italy): Journal of Maps, Vol. 13, NO.02, 196-206.

ISSN: (Print) 1744-5647 (online) Journal homepage: <http://www.tandfonline.com/loi/tjom20>. Link: <http://dx.doi.org/10.1080/17445647.2017.1287601>.

MELETTI, Carlo. Progetto S1. Proseguimento della assistenza al DPC per il completamento e la gestione della mappa di pericolosità sismica prevista dall'Ordinanza PCM 3274/2003 e progettazione di ulteriori sviluppi. Rapporto finale, del Progetto INGV-DPC S1. 2007.

Minzoni, N., (1975), La serie delle formazioni paleozoiche a Sud del Gennargentu: Bollettino della Società Geologica Italiana, v. 94.

Minzoni, N., (1988), Geologia strutturale della zona di Gadoni-Funtana Raminosa (Sardegna centrale): Memorie di Scienze Geologiche, v. 40.

Oggiano, G., (1994), Lineamenti stratigrafico-strutturali del basamento del Goceano (Sardegna centro-settentrionale): Bollettino della Società Geologica Italiana, v. 113,.

Oggiano, G., L. Gaggero, A. Funedda, L. Buzzi, & M. Tiepolo, (2010), Multiple early Paleozoic volcanic events at the northern Gondwana margin: U-Pb age evidence from the Southern Variscan branch (Sardinia, Italy). Gondwana Research, v.17.

Pasci, S., (1997), Tertiary transcurrent tectonics of North-Central Sardinia: Bulletin de la Société Géologique de France, v. 168.

Stara, P., R. Rizzo, C. Sabelli, & A. Ibba (1999), I minerali di Funtana Raminosa (Gadoni, Sardegna centrale). Rivista Mineralogica Italiana, v. 1.

Vai, G. B., & T. Cocozza (1974), Il "Postgotlandiano" sardo, unità sinorogenica ercinica: Bollettino della Società Geologica Italiana, v. 93.

12 LIMITAZIONI

Questa relazione è fornita per l'uso esclusivo del firmatario solo per questo progetto e per gli scopi di cui descritto nella relazione. Non deve essere utilizzato o invocato per altri progetti o scopi sullo stesso o altro sito o da una terza parte.

Nella redazione del presente rapporto si è necessariamente avvalsi delle informazioni fornite dal cliente e/o dai suoi tecnici.

Le conclusioni e le raccomandazioni presentate in questo rapporto si basano sulle informazioni fornite dai progettisti ed inquadrate nell'analisi delle indagini sul campo e di laboratorio.

I risultati forniti nella relazione sono indicativi delle condizioni nello stato di fatto dei terreni così come indagato con le sperimentazioni di riferimento (cfr. Doc. n.2), all'epoca programmate di concerto con i progettisti ed il committente prova, e relativamente alle profondità indagate e allo stato delle scelte progettuali indicate al momento dell'incarico ricevuto. Le condizioni del sottosuolo possono cambiare bruscamente a causa di processi geologici variabili e anche a causa di interventi antropici.

Se la costruzione proposta viene trasferita o riprogettata, o se le condizioni locali cambiano anche per interventi al contorno delle aree studiate ed oggetto del presente lavoro, le conclusioni e le raccomandazioni contenute in questo rapporto devono essere considerate non valide a meno che le modifiche non vengano, previe comunicazioni tecniche ufficiali rese per iscritto, successivamente esaminate e validate dagli scriventi sì che possano essere riconsiderate e/o validate.

Le condizioni del sito modificate o il trasferimento delle strutture proposte possono richiedere ulteriori indagini e prove specifiche per determinare se le nostre conclusioni e raccomandazioni sono applicabili in considerazione delle mutate condizioni.

La presente relazione deve essere letta unitamente a tutte le note allegate e deve essere conservata integralmente senza separazione di singole pagine o sezioni.

La CG Associati Srls non può essere ritenuta responsabile per interpretazioni o conclusioni fatte da altri a meno che non siano supportate da una dichiarazione espressamente resa alla scrivente che deve accettare le interpretazioni e le implicazioni geologico-tecniche.

I nostri servizi professionali sono stati eseguiti e resi, unitamente alle raccomandazioni in conformità con i principi e le buone pratiche ingegneristiche generalmente accettate. Questa garanzia è sostitutiva di tutte le altre garanzie espresse o implicite