

COMUNE DI MORES
Provincia di Sassari

COMMITTENTE
Ulysses Energy

PROGETTO
Realizzazione di un campo fotovoltaico di potenza 14.602 kWp, composto da
20.860 pannelli da 0.7 kWp distribuiti su una superficie di 325.992 mq

ELABORATO:
Relazione sugli elementi geologici, sismici, idrogeologici e
geotecnici dell'area d'impianto

DATA LAVORI
Agosto 2023

Il consulente geologico e geotecnico

Dott. Geol. Andrea De Santis
Sassari
E-mail: studio.geodes@gmail.com



SOMMARIO

PREMESSA	4
ESTREMI DELL'INCARICO.....	4
QUADRO NORMATIVO DI RIFERIMENTO	5
FINALITÀ DELLO STUDIO	6
DESCRIZIONE DELLE OPERE IN PROGETTO	7
UBICAZIONE DELL'AREA D'INTERVENTO	9
ANALISI DI VINCOLI ESISTENTI PER IL PIANO STRALCIO DI ASSETTO IDROGEOLOGICO (P.A.I.) DELLA SARDEGNA.....	11
PIANO DI ASSETTO IDROGEOLOGICO P.A.I._PREMESSA GENERALE	11
PIANO DI ASSETTO IDROGEOLOGICO P.A.I._DEFINIZIONE DELLE AREE DI PERICOLOSITÀ PER FRANA E PER PIENA	11
<i>A_Analisi della pericolosità geomorfologica</i>	<i>11</i>
<i>B_Analisi della pericolosità idraulica.....</i>	<i>11</i>
STATO ATTUALE (ANTE OPERA) – DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITÀ (Hg), DEGLI ELEMENTI A RISCHIO (Eg) E DEL RISCHIO GEOMORFOLOGICO DELL'AREA (Rg).....	13
<i>Pericolosità geomorfologica - Classe di pericolosità per frana media nulla (Hg0).....</i>	<i>13</i>
<i>Elementi di rischio (E).....</i>	<i>15</i>
<i>Rischio geomorfologico - Classe di rischio per frana Rg1</i>	<i>16</i>
INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E GEOLOGICO REGIONALE DEL TERRITORIO	18
INQUADRAMENTO DEL TERRITORIO D'INTERVENTO.....	18
<i>Analisi storica dell'area d'impianto.....</i>	<i>18</i>
STORIA GEOLOGICA DEL TERRITORIO.....	20
PREMESSA	20
LA FASE TETTONICA POST-CRETACICO SUPERIORE E PRE-IGNIMBRITI	20
LA FASE TETTONICA OLIGO-AQUITANIANA	20
LA FASE TETTONICA DISTENSIVA DEL BURDIGALIANO.....	21
LA FASE TETTONICA DEL SERRAVALLIANO.....	21
LA FASE TETTONICA DEL PLIOCENE.....	21
SINTESI DEGLI EVENTI TETTONICI RILEVANTI NEL QUADRANTE NW DELLA SARDEGNA.....	22
INQUADRAMENTO GEODINAMICO DELLE COPERTURE TERZIARIE.....	22
IL QUADRO GEODINAMICO DEL VULCANISMO CALCALCALINO IN SARDEGNA	23
IL QUADRO GEODINAMICO NEL CENOZOICO.....	25
IL BACINO DEL LOGUDORO.....	27
IL BACINO DI PORTO TORRES	27
LE COPERTURE PLIO-QUATERNARIE	28
ASSETTO STRATIGRAFICO DEL SETTORE D'IMPIANTO	29
A_UNITÀ LITOLOGICHE DELLA SUCCESSIONE VULCANICA	29

B_SCHEMA STRATIGRAFICO DELLA SUCCESSIONE SEDIMENTARIA MIOCENICA	29
C_SCHEMA STRATIGRAFICO DELLA SUCCESSIONE SEDIMENTARIA OLOCENICA	30
GEOMORFOLOGIA E PROCESSI MORFOGENETICI.....	33
ELEMENTI GEOMORFOLOGICI ED IDROGRAFICI DEL TERRITORIO.....	33
ELEMENTI GEOMORFOLOGICI DEL SETTORE D'IMPIANTO	37
IDROGRAFIA E IDROGEOLOGIA.....	41
ELEMENTI IDROGEOLOGICI DEL SETTORE NW DELL'ISOLA.....	41
SISMICITÀ DELL'AREA DI PROGETTO	43
CLASSIFICAZIONE SISMICA.....	43
<i>Caratterizzazione sismogenetica</i>	<i>47</i>
<i>Definizione della Pericolosità Sismica di Base (PSB).....</i>	<i>47</i>
AZIONE SISMICA DI PROGETTO	49
<i>Definizione degli stati limite ultimo (SLU) e di esercizio (SLE) in funzione dell'azione sismica</i>	<i>49</i>
<i>Calcolo del Tempo di Riferimento (TR) dell'azione sismica</i>	<i>50</i>
<i>Categorie sismiche di sottosuolo.....</i>	<i>52</i>
<i>Condizioni topografiche</i>	<i>53</i>
<i>Parametri spettrali.....</i>	<i>54</i>
CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE.....	55

PREMESSA

ESTREMI DELL'INCARICO

Il sottoscritto Dott. Andrea De Santis, geologo libero professionista, iscritto all'Ordine dei Geologi della Regione Sardegna con il n°235¹, ha redatto, nell'ambito della progettazione di fattibilità tecnico-economica, il presente studio finalizzato alla caratterizzazione geologica, sismica e geotecnica dell'area d'intervento.

L'intervento progettuale è finalizzato alla realizzazione di un impianto fotovoltaico in località "Giuane Seche" in agro del Comune di Mores (SS).

L'area d'impianto (fig. 1) si sviluppa a SE dell'abitato di Mores dal quale dista in linea d'aria circa 5 km. Nello stralcio cartografico seguente si riporta l'ubicazione dell'area rispetto ai principali centri abitati del settore (stralcio da Google Earth).

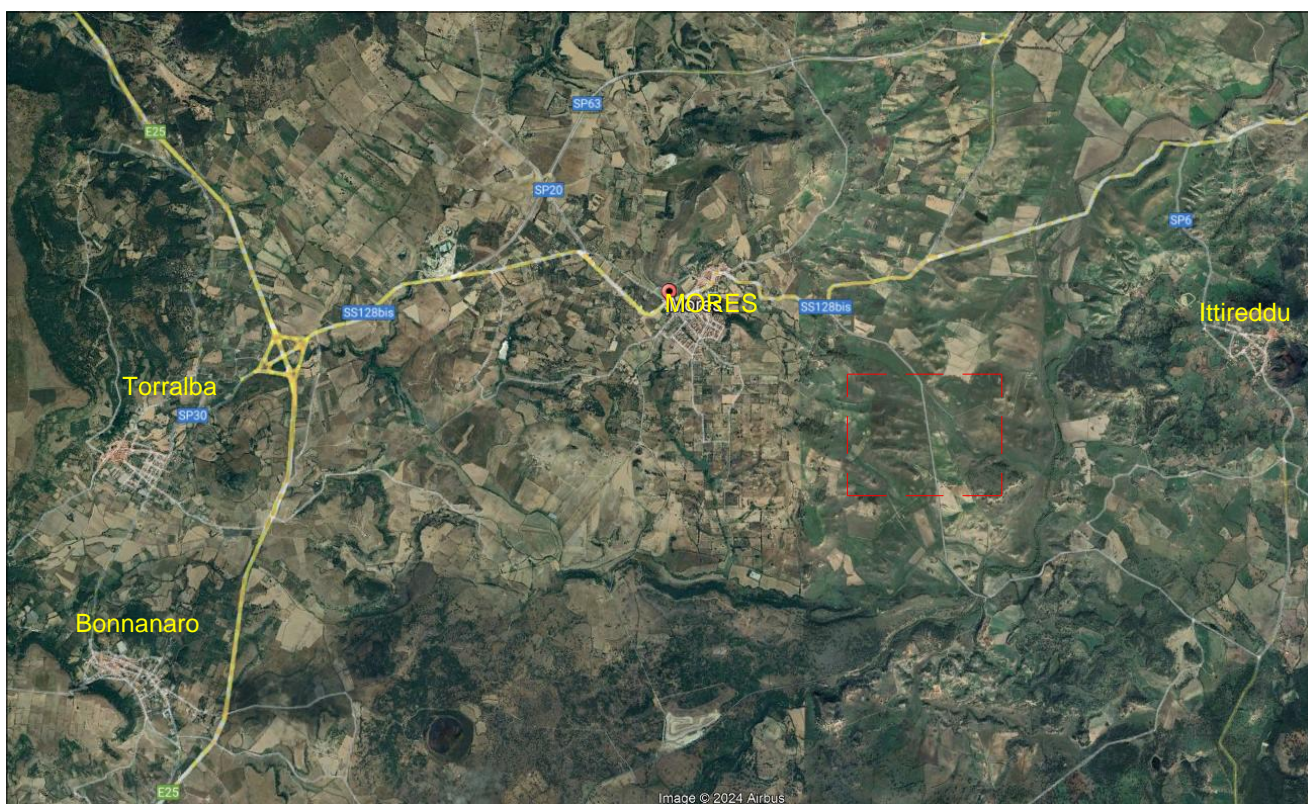


Figura 1 – Ubicazione generale dell'area d'intervento rispetto ai centri abitati

¹ Geodes – Studio geologico e geotecnico del dott. Andrea De Santis – Via F. Guarino n°4 – 07100 SASSARI

QUADRO NORMATIVO DI RIFERIMENTO

Per la redazione dello studio geologico e sismico e la definizione dei contenuti da illustrare si è fatto riferimento alla seguente normativa:

- D.M. 17.01.2018 "Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni" e relativa Circolare esplicativa n. 7 del 21.01.2019;
- D.M. 14.01.2008 "Norme Tecniche per le Costruzioni" e relativa Circolare esplicativa n. 617 del 02.02.2009;
- Legge 109/94 e D.P.R. 554/99 in materia di lavori pubblici;
- DPCM 29/09/98 - Atto di indirizzo e coordinamento per l'individuazione dei criteri relativi agli adempimenti di cui all'art. 1, commi 1 e 2, del decreto-legge 11 giugno 1998, n.180;
- Legge 267 del 03/08/1998 "Individuazione e perimetrazione delle aree a rischio idraulico e geomorfologico e delle relative misure di salvaguardia";
- D.M. LL.PP. n°47 del 11/03/1988 recante "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 ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione";
- C.M. LL.PP. n°30483 del 24/09/88 recante "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 ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione. Istruzioni per l'applicazione";
- LEGGE n°64 del 02.02.1974 recante «Provvedimenti per le costruzioni, con particolari prescrizioni per le zone sismiche»;

Inoltre, le indagini geologiche e geognostiche sono state programmate con diretto riferimento alle "Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche" (1977) e "Raccomandazioni sulle prove geotecniche di laboratorio" (1994) della Associazione Geotecnica Italiana.

FINALITÀ DELLO STUDIO

L'analisi è finalizzata alla verifica delle condizioni geologico-stratigrafiche, morfologiche, idrogeologiche, sismiche e geotecniche al fine di verificare quanto necessario da predisporre per il corretto inserimento ambientale dell'infrastruttura in progetto.

Il presente elaborato, contenente le risultanze dello studio geologico e sismico dell'area d'intervento e delle zone ad essa limitrofe, ha interessato un intorno significativo all'area d'intervento ed è stato finalizzato alla caratterizzazione e modellazione geologica del sito (ai sensi del § 6.2.1 delle NTC) comprendente:

- definizione della situazione litostratigrafica del terreno di fondazione;
- verifica dell'origine e natura dei litotipi, del loro stato di alterazione e fratturazione e della loro degradabilità;
- identificazione dei lineamenti geomorfologici della zona, analisi degli eventuali processi morfologici nonché dei dissesti, in atto e potenziali, che possono interferire con l'opera da realizzare e la loro tendenza evolutiva;
- i caratteri geostrutturali generali, la geometria e le caratteristiche delle superfici di discontinuità;
- lo schema della circolazione idrica superficiale e sotterranea;
- definizione della pericolosità sismica di base (PSB) e della risposta sismica locale (RSL);
- definizione del livello di pericolosità geologica ed il livello del rischio associato (in presenza ed in assenza delle opere);
- modello geologico di riferimento con individuazione delle "eventuali incertezze nella ricostruzione geologica che possano risultare significative per lo sviluppo del progetto".

DESCRIZIONE DELLE OPERE IN PROGETTO

L'intervento in progetto prevede la realizzazione di un campo fotovoltaico di potenza 14.602 kWp, composto da 14.602 pannelli da 0.7 kWp. L'area di impianto si estende per una superficie di 325.992 mq come rappresentato nello stralcio cartografico seguente.



DATI IMPIANTO	
NOME IMPIANTO	AGRIVOLTAICO MORES
LOCALITA'	Mores
PROVINCIA	Sassari
POTENZA IMPIANTO	14.602,00 kWp
MODULI	20.860 Da 0.700 kWp
SUP. CAPTANTE	59.451 mq
CORDINATE	Lat. 40° 32' 11.00" N ; Long. 8° 51' 01.00" E
QUOTA	264 s.l.m.
TIPOLOGIA	IMPIANTO AGRIFOTOVOLTAICO A INSEGUIMENTO MONOASSIALE
VIABILITA'	STRADA PROVINCIALE 47
AREA IMPIANTO	325.992 mq

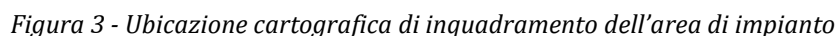
La scelta progettuale prevede l'impiego di una struttura ad inseguimento monoassiale in acciaio, ciò comporta il vantaggio di permettere una produzione di energia elettrica maggiore, a parità di altre condizioni, di circa il 20% rispetto ad una struttura fissa.

L'area d'impianto (fig. 2) si sviluppa a SE dell'abitato di Mores, come evidenziato nello stralcio cartografico seguente (stralcio da Google Earth).



Figura 2 – Ubicazione generale dell'area nel settore di SE del territorio comunale di Mores

Il sito di intervento si colloca in località “*Giuanne Seche*” nel Comune di Mores in provincia di Sassari ad una distanza di circa 1,5 km dall’abitato. L’accessibilità dell’area è regolata dalla SP47, che collega il sito al paese di Mores percorrendo la strada in direzione Nord fino all’intersezione con la SS128 bis che unisce il paese di Mores a Ozieri percorrendola verso est e alla SS131 percorrendola verso ovest.



- Foglio I.G.M. N. 480 – sez. I quadrante denominato “MORES” alla scala 1:25.000;
- Foglio C.T.R. 1:10.000 - foglio 480070 sezione 074 denominato “ITTIREDDU”;
- Foglio 16 particelle 139, 158, 159, 172, 217, 230 Foglio 17 particelle del catasto 38, 39, 40, 41, 42, 43, 45, 46, 47, 48, 50, 51, 68, 69, 77, 157, 158, 159, 165, 166, 246 247 - Terreni del comune di Mores.



Figura 4 : Inquadramento dell'area di impianto su orto foto

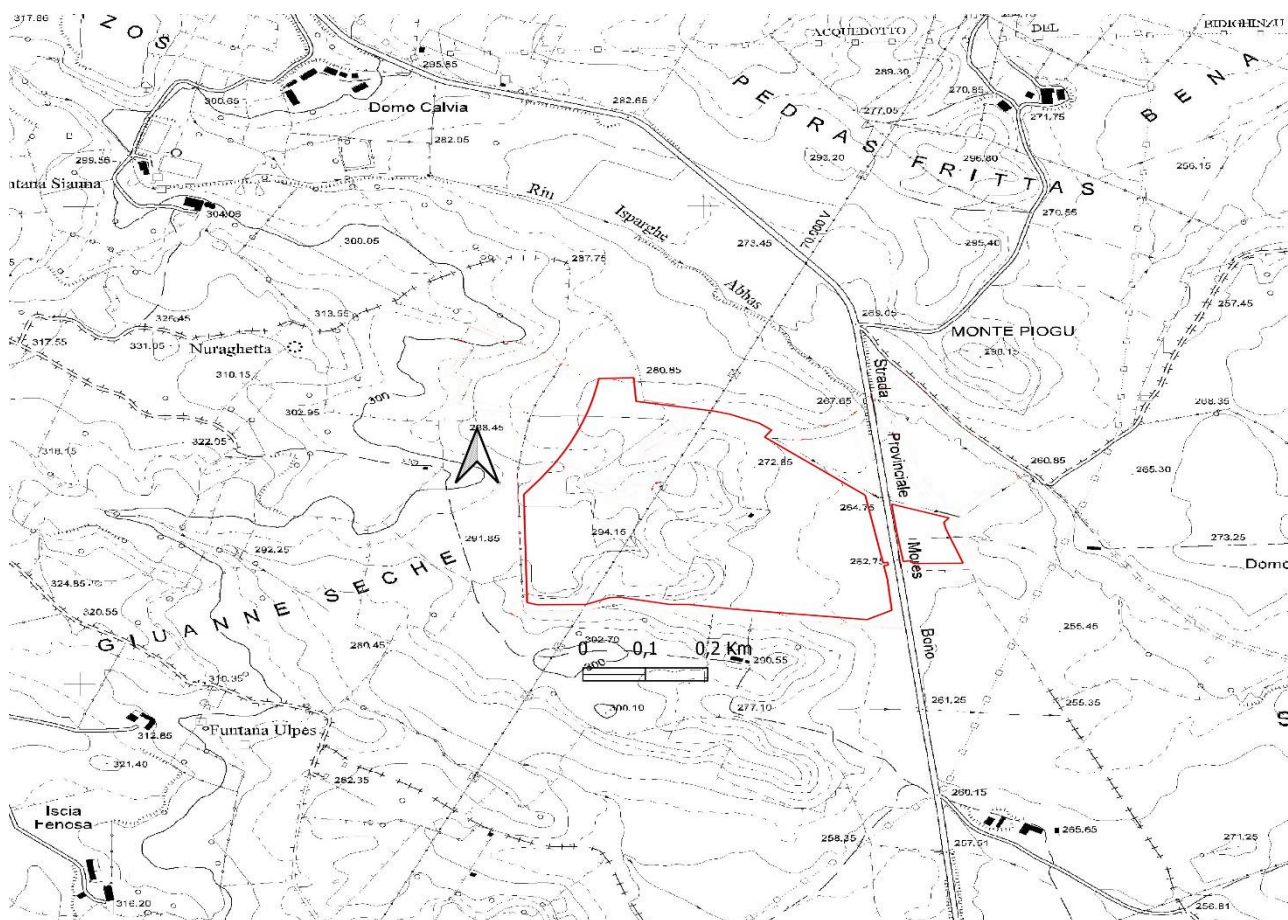


Figura 5 - Inquadramento dell'area di impianto su Carta Tecnica Regionale

ANALISI DI VINCOLI ESISTENTI PER IL PIANO STRALCIO DI ASSETTO IDROGEOLOGICO (P.A.I.) DELLA SARDEGNA

PIANO DI ASSETTO IDROGEOLOGICO P.A.I._PREMESSA GENERALE

Il PAI è lo strumento di riferimento Normativo e Tecnico nell'ambito della Difesa del suolo.

Al fine di valutare eventuali limitazioni alla fattibilità del progetto ed all'uso del territorio si è proceduto a verificare il regime vincolistico proposto dal Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico della Regione Autonoma della Sardegna (PAI), ai sensi della L. 183/1989, del D.L. 180/98 convertito in L. n. 267/98, modificato dalla L. 226/99, redatto nel Giugno 2003 e aggiornato con D.G.R. n. 54/33 del 30 Dicembre 2004 e con s.m.i..

Approvato con decreto del Presidente della Regione Sardegna n° 67/2006, il PAI definisce, nell'ambito dei vari sottobacini, facenti capo al bacino Unico della Sardegna, il Rischio idraulico e Morfologico da frana per l'intero territorio Regionale.

Dalla data di approvazione, tale strumento è stato integrato dal Piano Stralcio delle Fasce Fluviali (2013), il quale rappresenta un approfondimento specifico in tema di rischio idraulico.

Inoltre, nel 2015 è stata approvata la variante del P.A.I. per il sub-bacino 3, con lo «Studio di dettaglio per la verifica della pericolosità geomorfologica del sub-bacino 3 del Coghinas_Mannu-Temo» entro cui ricade anche il settore in analisi. Tale verifica ha portato a prevedere per il settore in esame una pericolosità geomorfologica nulla (Hg0).

Lo strumento di più recente approvazione (2016) è il Piano di Gestione del Rischio Alluvioni – P.G.R.A anch'esso incentrato sul rischio idraulico ma con specifica finalità di riduzione delle conseguenze negative derivanti dalle alluvioni sia sulla salute umana che sull'ambiente.

Il PAI, in quanto strumento di pianificazione, è in continua evoluzione, integrato e aggiornato attraverso lo strumento di Variante, sulla base di studi di maggior dettaglio promossi dalle singole amministrazioni Comunali.

PIANO DI ASSETTO IDROGEOLOGICO P.A.I._DEFINIZIONE DELLE AREE DI PERICOLOSITÀ PER FRANA E PER PIENA

A_Analisi della pericolosità geomorfologica

Il territorio comunale e l'abitato di Mores sono totalmente ricompresi nel sub bacino 3 Coghinas-Mannu-Temo del bacino unico della Sardegna. Le aree appartenenti al sub bacino 3 sono state oggetto di studi di dettaglio per la revisione del P.A.I. Sardegna nel 2015.

Di seguito si rappresenta l'estratto della tavola 75 dello studio di dettaglio per il sub bacino 3 con la rappresentazione della pericolosità geomorfologica del settore circostante l'abitato di Mores (fig. 6). Come riportato in figura 6 nel settore d'intervento (riquadro linea rossa) e nelle aree immediatamente circostanti non sono presenti aree di pericolosità geomorfologica ai sensi del P.A.I. Sardegna.

B_Analisi della pericolosità idraulica

Dal punto di vista idraulico le analisi e gli studi più recenti relativi al PSFF (Piano Stralcio Fasce Fluviali) ed al PGRA (Piano Grandi Rischi Alluvioni) hanno consentito di verificare l'assenza di pericolosità idraulica per l'area in esame, al pari delle indicazioni riportate dal PAI Sardegna.

Di seguito (fig. 7) si riporta lo stralcio cartografico del Geoportale RAS in cui si rappresenta la situazione descritta per la pericolosità per piena dei settori circostanti l'area in esame (riquadro linea rossa).








Classe	Intensità	Descrizione
		Aree studiate non soggette a potenziali fenomeni franosi
	Moderata	I fenomeni franosi presenti o potenziali sono marginali
	Media	Zone in cui sono presenti solo frane stabilizzate non più riattivabili nelle condizioni climatiche attuali a meno di interventi antropici (assetti di equilibrio raggiunti naturalmente o mediante interventi di consolidamento) zone in cui esistono condizioni geologiche e morfologiche sfavorevoli alla stabilità dei versanti ma prive al momento di indicazioni morfologiche di movimenti gravitativi
	Elevata	Zone in cui sono presenti frane quiescenti per la cui riattivazione ci si aspettano presumibilmente tempi pluriennali o pluridecennali; zone di possibile espansione areale delle frane attualmente quiescenti; zone in cui sono presenti indizi geomorfologici di instabilità dei versanti e in cui si possono verificare frane di neoformazione presumibilmente in un intervallo di tempo pluriennale o pluridecennali
	Molto elevata	Zone in cui sono presenti frane attive, continue o stagionali; zone in cui è prevista l'espansione areale di una frana attiva; zone in cui sono presenti evidenze geomorfologiche di movimenti incipienti

Figura 6 – Carta e legenda della pericolosità geomorfologica per frana da P.A.I. Sardegna per l'area d'intervento (riquadro linea rossa) - Fonte: Geoportale RAS)



*Figura 7 – Carta della pericolosità idraulica del settore di intervento (riquadro linea rossa)
(fonte: Geoportale RAS)*

STATO ATTUALE (ANTE OPERA) – DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITÀ (HG), DEGLI ELEMENTI A RISCHIO (EG) E DEL RISCHIO GEOMORFOLOGICO DELL'AREA (RG)

Di seguito si analizzano le determinazioni e le valutazioni riportate nella cartografia ufficiale relativamente al grado di pericolosità per frana (Hg), degli elementi a rischio (E) e del rischio geomorfologico dell'area (Rg) per il settore in esame, in condizioni ante opera.

Pericolosità geomorfologica - Classe di pericolosità per frana media nulla (Hg0)

L'assenza di pericolosità geomorfologica rilevata per il settore d'intervento nasce dalla combinazione di elementi del territorio (litologia, acclività e uso del suolo) la cui combinazione determina una classe di instabilità potenziale nulla o bassa. La presenza di aree Hg0 è evidenziata nello stralcio cartografico seguente (fig. 8).






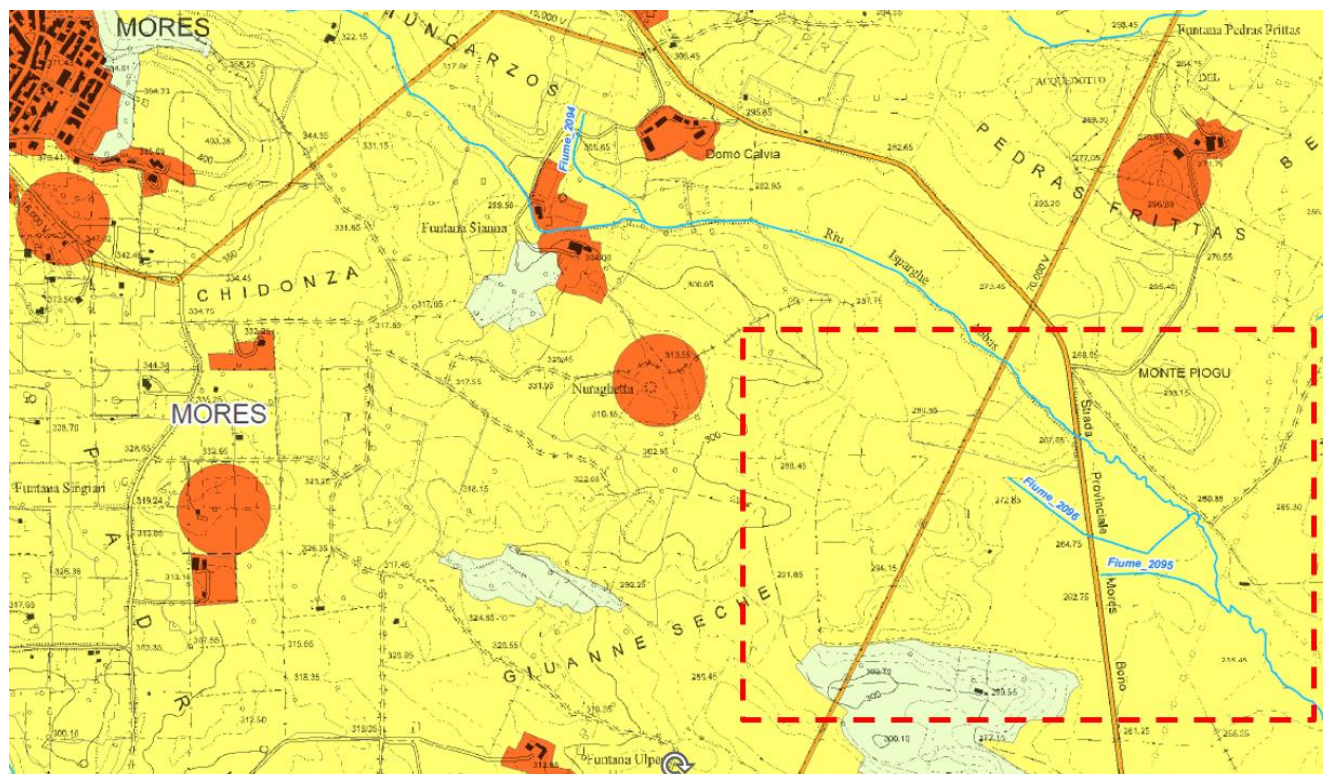
Classe	Intensità	Descrizione
		Aree studiate non soggette a potenziali fenomeni franosi
	Moderata	I fenomeni franosi presenti o potenziali sono marginali
	Media	Zone in cui sono presenti solo frane stabilizzate non più riattivabili nelle condizioni climatiche attuali a meno di interventi antropici (assetti di equilibrio raggiunti naturalmente o mediante interventi di consolidamento) zone in cui esistono condizioni geologiche e morfologiche sfavorevoli alla stabilità dei versanti ma prive al momento di indicazioni morfologiche di movimenti gravitativi

Figura 8 – Carta e legenda della pericolosità geomorfologica per frana dell'area d'intervento (riquadro rosso) (estratto tavola 75 dello Studio di dettaglio del PAI – Anno 2015)

Elementi di rischio (E)

Gli elementi di rischio rappresentati nella tavola 75 dello Studio di dettaglio del 2015 appartengono alle classi E2 e E1 (fig. 9). Risultano assenti elementi di rischio elevato e alto (E4 e E3) propri dei centri abitati e delle infrastrutturazioni stradali e ferroviarie.



- E4 - Zone residenziali**
 - Edifici pubblici, anche al di fuori delle aree residenziali
 - Strutture ospedaliere, sanitarie e scolastiche
 - Zone industriali e commerciali
 - Zone industriali, commerciali ed insediamenti produttivi
 - Reti di comunicazione e trasporto strategiche (strade statali)
 - Reti di comunicazione e trasporto primarie (aree portuali, reti ferroviarie e spazi annessi, aree aeroportuali ed eliporti)
 - Strutture ed impianti a supporto delle reti di comunicazione e trasporto che non ricadono nelle aree residenziali
 - Impianti a rischio
 - Aree di rilievo storico-culturale e archeologico
 - Aree protette (parchi nazionali, regionali ed aree protette)

- E2 - Aree verdi urbane**
 - Reti di comunicazione e trasporto secondarie (strade comunali)
 - Zone agricole permanenti ed eterogenee
 - Superfici agricole seminate

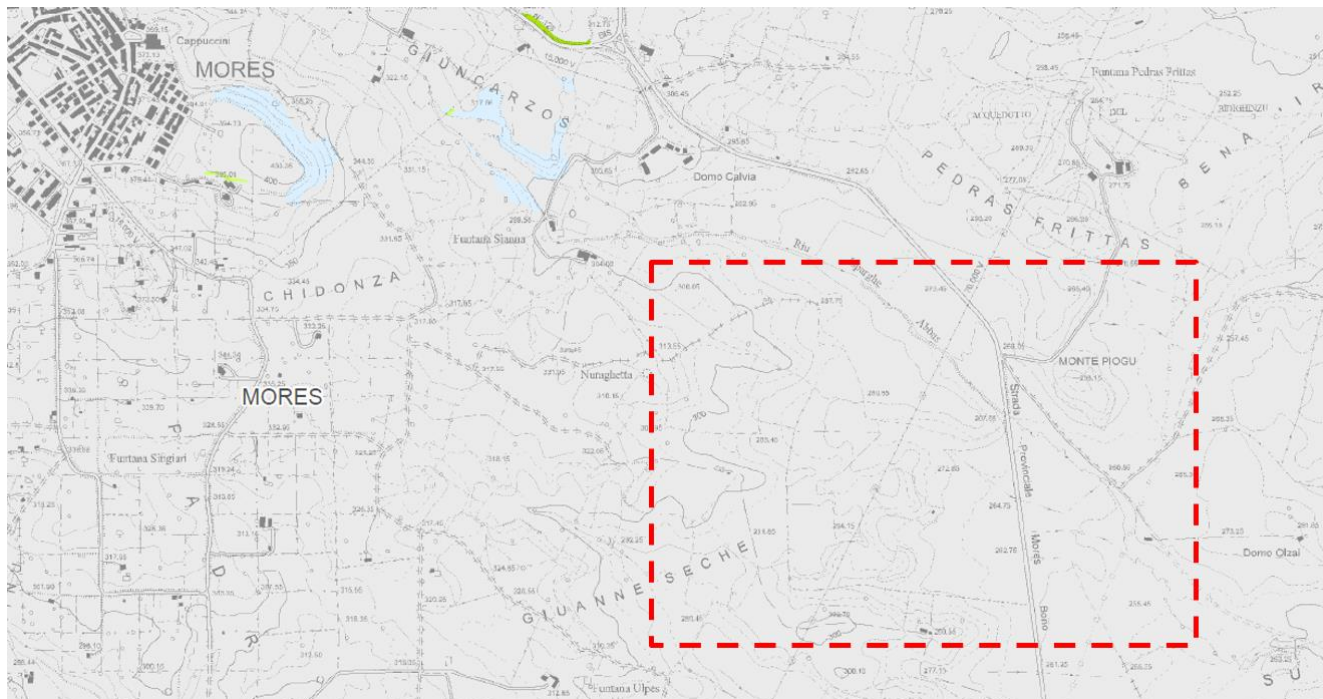
- E1 - Superfici a vegetazione rada**
 - Aree boscate e prati
 - Corpi idrici
 - Zone umide




*Figura 9 – Carta e legenda degli elementi a rischio (R)
(stralcio cartografico della Tavola 75 - Studio di dettaglio della pericolosità per frana – Anno 2015)*

Rischio geomorfologico - Classe di rischio per frana Rg1

La presenza di aree di rischio geomorfologico è correlata alla pericolosità geomorfologica dell'area esaminata.

Nell'area d'intervento non sono state rilevate zone di pericolosità per frana e, di conseguenza, non sono presenti aree con rischio per frana ($R_g=0$), come rappresentato nello stralcio cartografico seguente (fig. 10).



Classe	Intensità	Descrizione degli effetti
		Aree studiate non soggette a rischio da frana
	Moderato	Danni sociali, economici e al patrimonio ambientale marginali.
	Medio	Sono possibili danni minori agli edifici, alle infrastrutture e al patrimonio ambientale che non pregiudicano l'incolumità del personale, l'agibilità degli edifici e la funzionalità delle attività economiche

*Figura 10 – Carta del rischio geomorfologico (Rg)
(stralcio cartografico della Tavola 75 - Studio di dettaglio della pericolosità per frana – Anno 2015)*

Per la definizione del rischio geomorfologico è necessario introdurre il concetto di vulnerabilità. Si riporta, di seguito, la definizione di **Vulnerabilità** (come proposta dal DPCM 29.09.98) intesa come “V = vulnerabilità intesa come capacità a resistere alla sollecitazione indotte dall’evento e quindi dal grado di perdita degli elementi a rischio in caso del manifestarsi del fenomeno”.

Il rischio per frana è definito dal prodotto dei pesi di tre fattori: vulnerabilità (V), elementi di rischio (E_g) e pericolosità (H_g).

Per le aree con pericolosità geomorfologica si utilizza la matrice di calcolo, rappresentata nella figura seguente, che permette di definire il rischio geomorfologico (R_g) per i differenti elementi di rischio (E).

Tabella 1 - Matrice di calcolo del grado di rischio per frana (condizioni ante intervento)

<i>Classe</i>	<i>Hg4</i>	<i>Hg3</i>	Hg2	<i>Hg1</i>
<i>E1</i>	<i>Rg1</i>	<i>Rg1</i>	<i>Rg1</i>	<i>Rg1</i>
<i>E2</i>	<i>Rg2</i>	<i>Rg2</i>	<i>Rg1</i>	<i>Rg1</i>
<i>E3</i>	<i>Rg3</i>	<i>Rg3</i>	<i>Rg2</i>	<i>Rg1</i>
E4	<i>Rg4</i>	<i>Rg3</i>	Rg2	<i>Rg1</i>

Considerata l’assenza di pericolosità geomorfologica ($Hg0$) il rischio geomorfologico del settore è nullo ($Rg=0$).

INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E GEOLOGICO REGIONALE DEL TERRITORIO

INQUADRAMENTO DEL TERRITORIO D'INTERVENTO

L'area è ubicata nel quadrante nord-occidentale dell'Isola, all'interno della Regione storico-geografica del Logudoro.

Preliminarmente alla definizione dei principali elementi geologici, morfologici ed idrografici, si è proceduto ad una verifica dello stato dei luoghi in un intervallo temporale compreso fra il 1954÷2019 al fine di verificare l'impatto delle eventuali trasformazioni antropiche indotte sul territorio in esame.

Analisi storica dell'area d'impianto

Il settore oggetto d'esame, destinato alla realizzazione di un impianto fotovoltaico, come rappresentato dalle foto aeree, di seguito allegate, per il periodo 1954÷2019 (fonte: Geoportale RAS), non è stato interessato da attività antropiche di rilievo con riferimento a lavori di movimento terra di entità rilevabili. Pertanto, si verifica che il piano di calpestio attuale corrisponde all'originario piano di campagna per cui le attività agricole e pastorali prevalenti nel settore di Mores, hanno comportato unicamente lavori del primo livello agricolo del suolo.



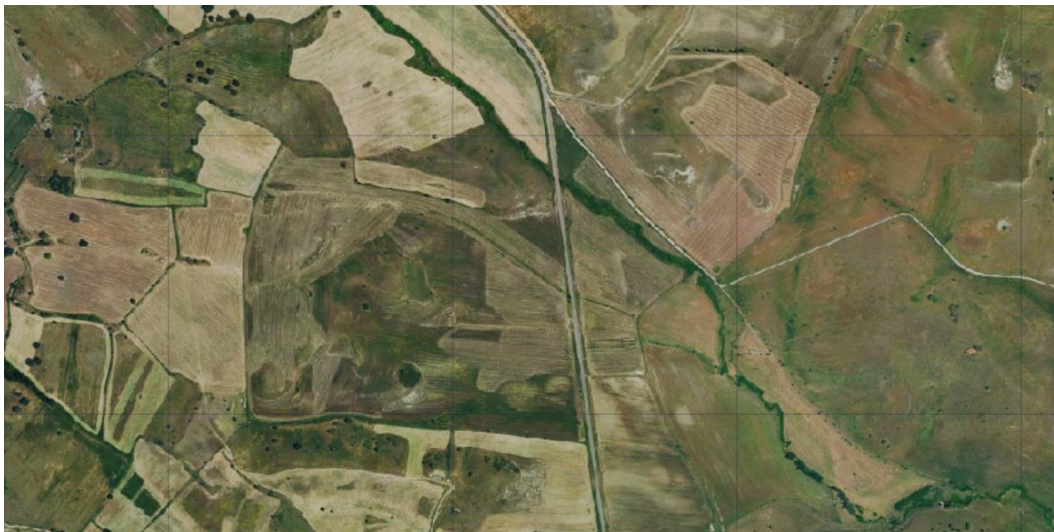
1954



1977



2003



2019

STORIA GEOLOGICA DEL TERRITORIO

PREMESSA

I principali lineamenti strutturali del settore in esame derivano dall'evoluzione stratigrafica e tettonica oligo-miocenica, responsabile dello sviluppo dei bacini sedimentari del Logudoro e di Porto Torres e dell'intenso vulcanismo calcalcalino. Solo nel settore occidentale acquistano rilevanza anche strutture riconducibili a tettonica di età mesozoica.

Tuttavia, gran parte delle strutture tettoniche presenti nel settore sono assenti in affioramento poiché in prevalenza sono sigillate dalle coperture vulcaniche e soprattutto sedimentarie mioceniche.

Pertanto, se da un lato la comprensione dei modelli cinematici e la loro collocazione in un corretto quadro geodinamico è da considerarsi soddisfacente, rimane difficile documentare e descrivere le singole strutture per via dei vincoli suddetti. Di seguito si illustrano per sintesi i caratteri delle differenti fasi tettoniche cenozoiche.

LA FASE TETTONICA POST-CRETACICO SUPERIORE E PRE-IGNIMBRITI

Tra il Cretacico superiore e il Miocene medio si sono sviluppate diverse fasi tettoniche che tradizionalmente vengono riferite genericamente alla fase "Pirenaica" (CHERCHI & TRÉMOLIÈRES, 1984).

Le pieghe principali generate da tale tettonica hanno direzione assiale circa NE-SW e mostrano un raccorciamento con direzione circa N140E, differente da quello riferito alla fase pirenaica nella Sardegna sud-occidentale (BARCA & COSTAMAGNA, 1997; CARMIGNANI *et alii*, 2004).

Non essendoci *marker* stratigrafici che possano vincolarla, sia inferiormente sia superiormente, tale tettonica, oltre che alla fase Pirenaica, potrebbe essere attribuita al Cretacico superiore o anche all'Oligocene-Aquitano.

In questo secondo caso sarebbe riferibile alla collisione appenninica, che nella Sardegna orientale ha generato importanti faglie trascorrenti sinistre con associate fasce transpressive (CARMIGNANI *et alii*, 1994a; 1995; OGGIANO *et alii*, 2009).

A questa fase tettonica sono attribuibili le pieghe che interessano le successioni mesozoiche. Particolarmente evidenti sono l'anticlinale di Campanedda, nel settore nord-occidentale del Foglio e la sinclinale di Serralonga, presente nella stessa area, ad E di M. Nurra tra casa Migheli e Casa Bazzoni. Si tratta di strutture a piano assiale verticale ed asse sub-orizzontale orientato da NE-SW a NNE-SSW con debole immersione assiale verso NE.

L'anticlinale di Campanedda non mostra alcuna espressione morfologica, in quanto l'area risulta completamente peneplanata, presenta al nucleo i sedimenti triassici del Keuper, attraversati in sondaggio per circa 300 m (POMESANO CHERCHI, 1968), sovrastati da calcari e dolomie giurassici della formazione di Monte Zirra. Verso NE, l'anticlinale viene intersecata da una faglia diretta, ad andamento N-S, che interrompe la continuità dei depositi triassici e di quelli giurassici più antichi.

Anche la sinclinale di Serralonga, a causa della peneplanazione dell'area non ha evidenze morfologiche; presenta un'estensione complessiva in affioramento di circa 3 km. È ben cartografabile per la presenza del livello-guida costituito dalla formazione di Grascioleddu, che separa la formazione di Punta Cristallo dalla formazione di Capo Caccia.

LA FASE TETTONICA OLIGO-AQUITANA

Questa fase tettonica si manifesta con faglie trascorrenti sinistre di direzione ENE-WSW. Ad essa sono legati i bacini transtensivi (CARMIGNANI *et alii*, 1994a; OGGIANO *et alii*, 1995; PASCI *et alii*, 1998), le strutture transpressive e quelle ad esse correlate. Nel settore del territorio rilevato le manifestazioni legate a tale tettonica sono mascherate sia dai flussi piroclastici successivi, sia dai sedimenti trasgressivi *post-burdigaliani*. Tuttavia, non si può escludere che alcune faglie con direzione ENE-WSW rappresentino la riattivazione di faglie precedenti e siano legate a tale tettonica.

LA FASE TETTONICA DISTENSIVA DEL BURDIGALIANO

Questa fase tettonica distensiva riveste notevole importanza nella strutturazione definitiva di questo settore dell'Isola. Infatti, ad essa è riferibile il generale *tilting* verso NE del blocco crostale della Nurra, ben deducibile dall'immersione orientale sia delle strutture planari e lineari del basamento che degli assi delle pieghe che interessano le successioni mesozoiche della Nurra, nel settore occidentale.

Le strutture più importanti legate a tale fase distensiva sono rappresentate dalle faglie ad orientazione NNW-SSE che generano l'approfondimento del bacino di Porto Torres verso E.

Sempre durante questa fase devono essersi attivate le faglie coniugate ad orientazione E-W o WNW-ESE, come la Faglia di San Martino e altre faglie ad orientazione E-W che affiorano nel settore meridionale del foglio "Sassari" (progetto CARG), responsabili del trasferimento dell'estensione dal Bacino di Porto Torres al Bacino del Logudoro. Come accennato gran parte di queste strutture sono sepolte al di sotto delle successioni sedimentarie mioceniche.

Le strutture più evidenti appartenenti a questa fase tettonica sono rappresentate dalla coppia di faglie dirette che, con direzione WNW-ESE ed immersione ad alto angolo verso N, dislocano a gradinata le unità ignimbriche mioceniche all'altezza del Lago del Cuga e lungo il corso del Riu su Català poco più a W.

La Faglia del Cuga presenta uno sviluppo cartografico di circa 5 km. Ribassa verso N le vulcaniti mioceniche con rigetti verticali non inferiori a circa 150 m.

La Faglia di Cantoniera Rudas, più meridionale, è stata cartografata per circa 7 km. Ribassa verso N le vulcaniti mioceniche, con rigetti verticali di ordine ettometrico, isolando a S un blocco di calcari del Coniaciano (formazione di Capo Caccia).

L'età delle dislocazioni può essere attribuita ad un intervallo tra il Burdigaliano medio ed il Burdigaliano superiore in quanto le strutture sono sigillate, lungo il bordo meridionale del Lago del Cuga, dai sedimenti marini della formazione di Mores.

LA FASE TETTONICA DEL SERRAVALLIANO

Durante il Serravalliano una fase tettonica distensiva si è manifestata con l'attivazione di faglie ad orientazione prevalente E-W.

Tale tettonica ha generato alti strutturali collocati a S del Bacino del Logudoro ed in parte ha riattivato le faglie della zona di trasferimento tra i due bacini.

La manifestazione più evidente di tale tettonica è la discordanza tra la Formazione di Monte Santo (NST) e le marne della Formazione di Borutta (RTU), ben osservabile in località Badde Sant'Andria.

La sezione geologica allegata (fig. 11) di seguito (fonte: progetto CARG) evidenzia i rapporti stratigrafici e strutturali delle unità litologiche rilevate in un settore a nord dell'abitato di Ittiri (SS).

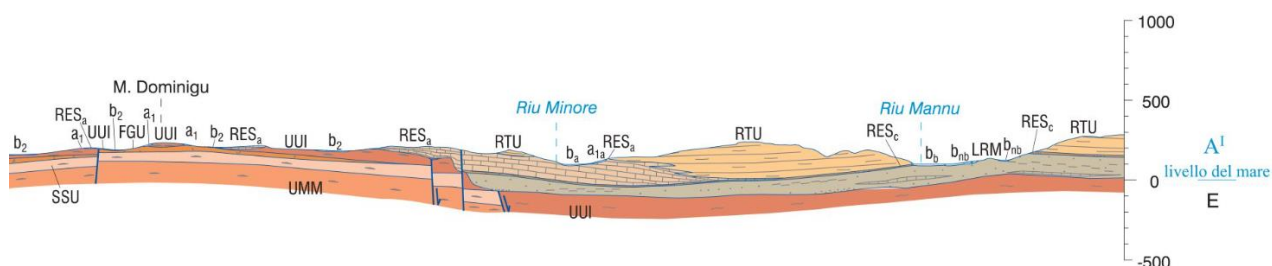


Figura 11 -Sezione geologica (A-A1) con evidenza della giacitura e dei rapporti fra le unità litologiche

LA FASE TETTONICA DEL PLIOCENE

Questa fase tettonica, a carattere distensivo, è responsabile del sollevamento recente della regione del Sassarese e si manifesta con faglie dirette e sollevamenti in blocco.

Le faglie hanno spesso andamento meridiano ed in genere agiscono riattivando faglie precedenti con differenti direzioni, e generando depressioni ad andamento N-S ed ENE-WSW all'interno delle quali si conservano vulcaniti mioceniche e depositi clastici del Miocene superiore.

Queste faglie controllano anche il sollevamento *post*-Messiniano di questo settore dell'Isola, che deve essere stato attivo fino al Pleistocene, come documentato dall'inversione del rilievo determinata dalle colate basaltiche pleistoceniche nell'area del Rio Coloru (MARINI & MURRU, 1983).

A questa fase tettonica è riferibile la faglia diretta subverticale di direzione N-S (**Frb** - Faglia del Rio Barca, fuori carta), che ad E di Sassari mette in parte a contatto, presumibilmente riattivando una struttura più antica, i depositi carbonatici delle formazioni di Mores e di Monte Santo lungo Valle Barca.

Alla stessa fase tettonica appartengono, inoltre, le faglie ad andamento NW-SE presenti tra Ittiri e Usini con immersione ad alto angolo verso NE (**Fso** - Faglia di Serra Orzu e **Fsv** - Faglia su Vincoladu) e la faglia che con immersione verso W disloca le unità vulcaniche ad E di Uri (**Fml** - Faglia di Monte Ladu).

SINTESI DEGLI EVENTI TETTONICI RILEVANTI NEL QUADRANTE NW DELLA SARDEGNA

Gli eventi tettonici sopra descritti sono riassunti nella tabella seguente (fig. 12) in cui si riportano i dati relativi alla fase tettonica di riferimento, alla direzione delle strutture e gli eventi geodinamici associati.

PERIODO	FASE TETTONICA	DIREZIONI DELLE STRUTTURE	STRUTTURE PRINCIPALI	EVENTI GEODINAMICI ASSOCIATI
Pliocene	Regime distensivo	NS, NE-SW	Faglie dirette verticali ad immersione variabile e riattivazione di strutture precedenti, Faglia del Rio Barca, Faglia di Su Vincoladu, Faglia di Serra Orzu.	Sollevamento generale della regione, attivo fino al Pleistocene.
Serravalliano	Regime distensivo	E-W	Faglie normali verticali e immersione verso N, Faglia di Ittiri.	Creazione di alti strutturali a S del Bacino del Logudoro. Riattivazione delle faglie nelle zone di trasferimento fra il Bacino del Logudoro e il Bacino di Porto Torres.
Burdigaliano	Regime distensivo	E-W, WNW-WSE	Faglie dirette ad alto angolo e immersione verso N, Faglia del Cuga, Faglia di Cantoniera Rudas.	Apertura del Bacino Balearico, rotazione del Blocco sardo-corso, formazione della "Fossa Sarda" <i>Auct.</i> Strutturazione dei bacini del Logudoro e di Porto Torres. <i>Tilting</i> generale del blocco della Nurra verso NE.
Oligo - Aquitaniano	Regime trascorrente	ENE-WSW	-----	Strutturazione dei bacini transtensivi di Chilivani-Berchidda, Anglona, Ottana e dei <i>flower-structure</i> e sovrascorrimenti del M. Albo e del Supramonte.
Cretacico superiore	Regime compressivo	NE-SW	Pieghe: Anticlinale di Campanedda, Sinclinale di Serralunga.	Tettonica "Laramica", provoca piegamenti di grande ampiezza con assi NE-SW.
Cretacico superiore	Regime transpressivo	NNE-SSW	Faglie trascorrenti sinistre (Nalvonazzos - Su Zumaru); pieghe blande a assi che rimarkano le direzioni delle strutture.	
Albiano - Aptiano	Regime distensivo	ENE-WSW	Faglie normali che riattivano discontinuità tardo-erciniche nel basamento metamorfico; la piattaforma carbonatica viene sollevata; creazione di alti strutturali.	Movimenti "bedouliani": movimenti differenziali, a componente verticale, dei blocchi del reticolo tardo-ercinico, con suddivisione della Nurra in due blocchi.

Figura 12 -Tabella di sintesi delle fasi tettoniche e degli eventi geodinamici associati

INQUADRAMENTO GEODINAMICO DELLE COPERTURE TERZIARIE

Con l'inizio dell'Eocene il mare torna a sommergere buona parte della Sardegna meridionale. Questa trasgressione è stata preceduta da movimenti tettonici; infatti, i sedimenti eocenici poggiano su vari termini della successione mesozoica e talora direttamente sul basamento paleozoico. Con l'Eocene medio-superiore si ristabiliscono in tutta l'Isola condizioni di continentalità che perdurano fino a tutto l'Oligocene. Da un punto di vista tettonico, questo intervallo di tempo è caratterizzato da una relativa stabilità marcata anche dalla totale assenza di attività vulcanica fino all'Oligocene superiore.

Nel settore d'interesse, le coperture terziarie sono rappresentate dalle vulcaniti del ciclo calcalcalino oligo-miocenico e dai depositi sia terrigeni sia carbonatici, marini e continentali, del Miocene medio-superiore.

Nell'Oligocene superiore-Miocene inferiore, il Blocco sardo-corso subisce gli effetti attenuati della collisione tra il Margine sud-europeo e la Placca Apula che portano allo sviluppo della catena appenninica, di cui il Blocco sardo-corso rappresenta il retropaese (PRINCIPI & TREVES, 1984; CARMIGNANI *et alii*, 1994a; 1995).

Nella Sardegna centro-settentrionale, come del resto nella Corsica "ercinica", è attiva un'importante tettonica trascorrente di età Oligocene superiore-Aquitano (PASCI, 1997) espressa con faglie a rigetti plurichilometrici. A queste faglie trascorrenti sono associate sia zone di transpressione, sia zone di transtensione; a queste ultime si associano bacini di *pull-apart* con potenti depositi continentali dell'Oligocene superiore-Aquitano, coevi con un'importante attività vulcanica (OGGIANO *et alii*, 1995). Durante il Burdigaliano-Langhiano, contemporaneamente alla rotazione del Blocco sardo-corso e all'apertura del Bacino balearico e del Tirreno settentrionale, una fase estensionale sviluppa, tra il Golfo di Cagliari e quello dell'Asinara, un sistema di fosse colmate da notevoli spessori di sedimenti prevalentemente marini e da vulcaniti calciche. Sia la tettonica trascorrente che quella distensiva sono accompagnate dal vulcanismo oligo-miocenico sardo, che rappresenta uno degli eventi geologici terziari più importanti del Mediterraneo occidentale.

IL QUADRO GEODINAMICO DEL VULCANISMO CALCICHE IN SARDEGNA

Il Blocco sardo-corso rappresenta un arco magmatico residuo, generatosi in seguito a subduzione di crosta oceanica con trasporto a NW ed all'apertura di un bacino di retroarco (Bacino ligure-provenzale) con conseguente rotazione del Blocco stesso (BOCCALETTI & GUZZONE, 1972; 1974). Questo quadro geodinamico è in genere accettato e viene confermato ed integrato nelle sue linee fondamentali da successivi lavori sul vulcanismo oligo-miocenico della Sardegna (BECCALUVA *et alii*, 1987) e dai dati geofisici sul Bacino Ligure-Provenzale (BURRUS, 1984).

I rapporti del Blocco sardo-corso con la Provenza-Linguadoca sono ormai ben documentati in numerosi lavori. Alcune divergenze riguardano ancora l'età e la durata della rotazione, collocabile tra 24 e 19,5 Ma secondo BURRUS (1984), tra 20,5 e 19 Ma secondo MONTIGNY *et alii* (1981) e THOMAS & GENNESSAUX (1986), e tra 20,5 e 15 Ma secondo VIGLIOTTI & LANGENHEIM (1995) e SPERANZA *et alii* (2002). Meno chiari appaiono dai dati di letteratura i rapporti e le interazioni tra Appennino settentrionale e Sardegna. Alcuni autori considerano la fine della rotazione (burdigaliana o più recente) come conseguenza della collisione del Blocco sardo-corso col Blocco apulo (GIGLIA, 1973; CHERCHI & MONTADERT, 1982).

Lavori più recenti dimostrano invece che tale collisione era già cessata al Burdigaliano medio, in quanto il segmento toscano di tale catena in questo periodo era soggetto a estensione e collasso gravitativo (CARMIGNANI & KLIGFIELD, 1990), e che la collisione, eventualmente preceduta da subduzione di tipo "b" al disotto della Sardegna, deve essersi sviluppata dall'Oligocene all'Aquitano.

Le evidenze di tale collisione in Sardegna si sarebbero manifestate con l'importante tettonica trascorrente caratterizzata sia da strutture transpressive (strutture a fiore di M. Albo), sia da importanti bacini di trascorrenza con riempimenti vulcanici e sedimentari di età oligo-aquitano (OGGIANO *et alii*, 1995). In un'ipotesi del genere il Blocco sardo-corso avrebbe ruotato insieme all'Appennino settentrionale a collisione avvenuta. La separazione tra i due insiemi sarebbe più recente, legata all'apertura del Tirreno.

Durante l'Oligocene la Sardegna rimase in condizioni di prevalente continentalità, con l'inizio delle prime manifestazioni vulcaniche ad affinità calciche che si prolungarono fino al Miocene medio. I prodotti di questo vulcanismo sono concentrati soprattutto lungo la fascia occidentale dell'Isola e coprono un'area di circa 10.000 km² estendendosi per circa 69% a N, 17% al centro e il 14% al S.

Di seguito (fig. 13) si rappresenta la distribuzione delle unità vulcaniche del ciclo oligo-miocenico nel quadrante nord-occidentale della Sardegna in cui si evidenzia la netta prevalenza dei prodotti a chimismo riolitico nel settore in esame (quadrato rosso).

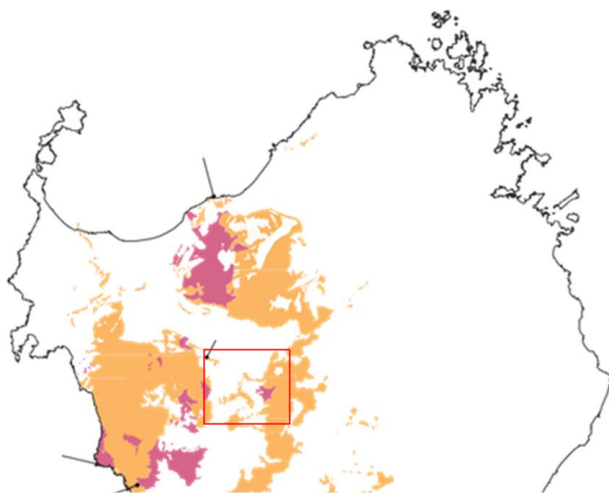


Figura 13 - Distribuzione delle unità del complesso vulcanico oligo-miocenico nel quadrante NW della Sardegna

La letteratura sul vulcanismo oligo-miocenico della Sardegna è molto vasta. I primi lavori, che rappresentano un tentativo di sistemazione del vulcanismo terziario nello spazio e nel tempo su basi stratigrafiche, risalgono agli anni '60 e si devono principalmente a DERIU (1962). Più di recente numerosi lavori hanno contribuito ad inquadrare questo vulcanismo in un preciso contesto geodinamico (SELLI, 1974; BECCALUVA *et alii*, 1987; LUSTRINO *et alii*, 2002) stabilendo le affinità seriali dei prodotti vulcanici in diverse aree dell'Isola e in differenti intervalli di tempo. Secondo COULON (1977) esiste una zoneografia chimica e temporale, con prodotti di chiara affinità calcalcalina con più alti tenori in K nel Logudoro-Bosano, le cui età sono comprese tra 31 e 24 Ma. I prodotti con affinità tholeiitica affiorano invece nel settore meridionale (Arcuentu, Marmilla) e mostrano età comprese tra i 30 e i 16 Ma. Questa zonazione è conforme con quella osservata negli archi insulari e nei margini continentali attivi (JAKES & WHITE, 1972).

Sulla base di tali osservazioni è stata ipotizzata l'esistenza di un piano di subduzione attivo in un periodo di tempo compreso tra 32 e 13 Ma immergente a NW-NNW (COULON, 1977; BECCALUVA *et alii*, 1987). Tuttavia, prodotti ad affinità tholeitica di arco si trovano anche nella Sardegna nord-occidentale, come ad Alghero (GIRAUD *et alii*, 1979) e a Montresta (MORRA *et alii*, 1997); inoltre un'evoluzione temporale, e non solo spaziale, da termini calcalcalini a calcalcalini alti in potassio fino a shoshonitici sembra esistere anche in Anglona all'interno di uno stesso massiccio andesitico (MAMELI, 2000). Questi dati indicano che la zonazione ipotizzata nel vulcanismo terziario sardo e le direttrici di subduzione con essa coerenti andrebbero reinterpretate.

Anche i meccanismi petrogenetici che danno ragione della diversa natura e serialità dei prodotti vulcanici sono stati interpretati in maniera differente. COULON (1977) propone per i magmi basici una derivazione per fusione parziale del mantello superiore e successivi processi di cristallizzazione frazionata e contaminazione, mentre per i magmi riolitici e riodacitici un'origine per anatessi di crosta continentale favorita dal flusso di calore derivante dalla risalita dei magmi basici. Tali processi genetici sono stati successivamente confermati da DOSTAL *et alii* (1982) e BECCALUVA *et alii* (1987).

Secondo MORRA *et alii* (1994), invece, l'intera successione vulcanica deriverebbe da una progressiva evoluzione petrogenetica per frazionamento di magmi mantellici, fino a liquidi residuali peralcalini.

I prodotti più evoluti in genere sono rappresentati da successioni ignimbriche che ricoprono vaste aree collocate soprattutto nella Sardegna occidentale. Le caratteristiche petrografiche e geochemiche di queste ignimbriti riolitiche, dacitiche e riodacitiche suggeriscono una derivazione di questi fusi da anatessi di crosta continentale granitoidale, probabilmente favorita da una prolungata risalita di fusi basici derivanti dal mantello. L'attività sia esplosiva sia effusiva del vulcanismo calcalcalino, che nel periodo compreso tra 21 Ma e 18 Ma mostra la maggiore intensità, termina intorno ai 13 Ma.

Il quadro dei rapporti stratigrafici tra le varie unità vulcaniche della serie, nel settore di Banari in cui è stata rilevata la sezione-tipo rappresentata, è evidenziato nella figura seguente (fig. 14).

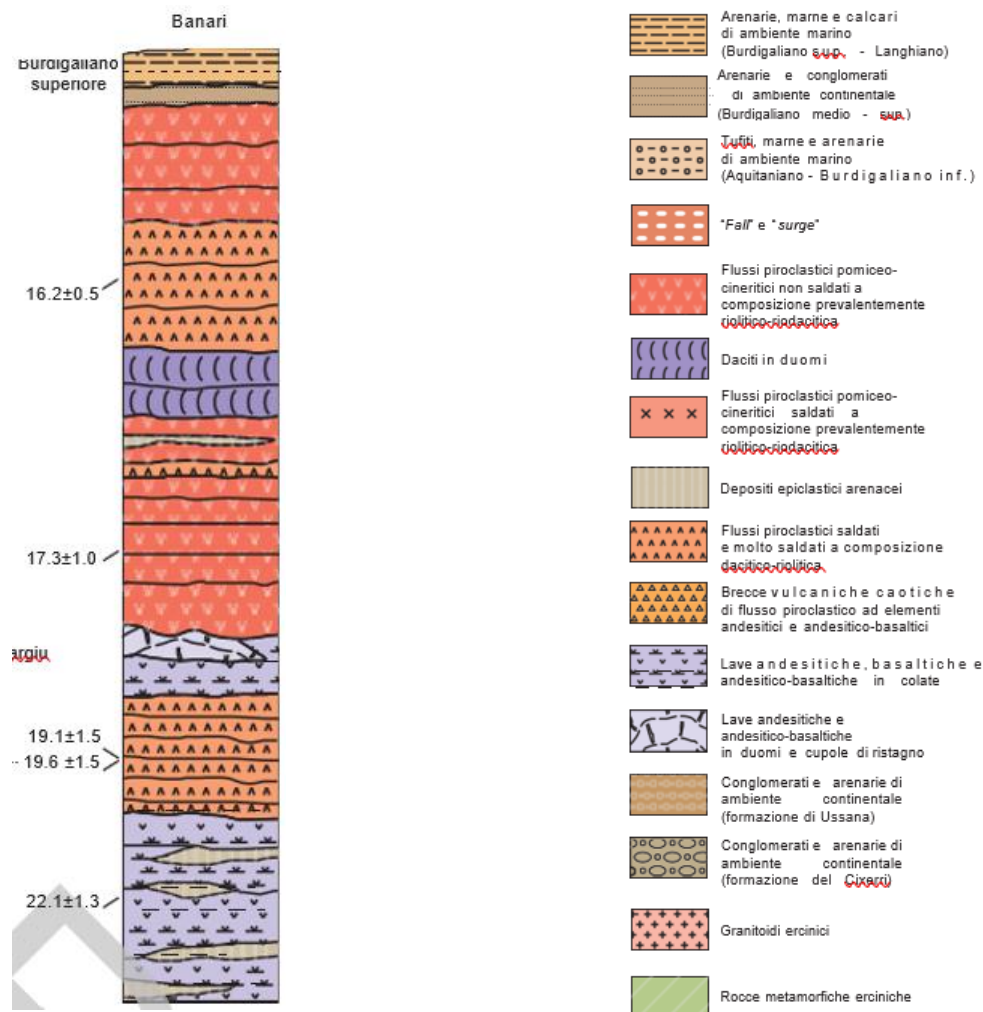


Figura 14 -Sezione-tipo della serie vulcanica - Schema stratigrafico delle successioni vulcaniche affioranti nel settore di Banari (da PROGEMISA S.P.A. (1993a; 1993b; 1993c), LECCA et alii (1997), CARMIGNANI et alii (2001); modificato)

IL QUADRO GEODINAMICO NEL CENOZOICO

Tra l'Oligocene superiore ed il Tortoniano la Sardegna settentrionale è stata sede, come già detto, di un'importante tettonica e di una diffusa attività vulcano-sedimentaria che si è manifestata in diversi bacini, in parte coalescenti.

Tali bacini, peraltro, si differenziano per essere legati a due differenti orientazioni strutturali e per avere differenti, e successive, evoluzioni tettono-sedimentarie. Questi bacini costituiscono quello che viene tradizionalmente definito come "Fossa sarda" *Auct.* (VARDABASSO, 1962; CHERCHI & MONTADERT, 1982; CASULA *et alii*, 2001). Questa è interpretata come un lineamento tettonico orientato N-S che attraversa tutta l'Isola, legato ad una estensione crostale orientata E-W (CHERCHI & TRÉMOLIÈRES, 1984).

Secondo un'interpretazione più recente (OGGIANO *et alii*, 1995; CARMIGNANI *et alii*, 2001), i bacini miocenici della Sardegna settentrionale sono contraddistinti da due diverse strutturazioni successive: una con fosse orientate prevalentemente da E-W a N60E (bacini di Chilivani-Berchidda, Anglona, Ottana, di età Oligocene superiore-Aquitano denominati "Bacini transtensivi aquitaniani"), ed una con fosse orientate NNW-SSE (bacini del Logudoro e di Porto Torres) di età Burdigaliano-Tortoniano (?Messiniano).

I depositi sedimentari appartenenti ai bacini transtensivi hanno evidente carattere sintettonico, riconosciuto anche da CHERCHI & MONTADERT (1982). Questi ultimi Autori individuano come *sin-rift* la successione oligo-aquitana e *post-rift* quella burdigaliano-tortoniana, anche se quest'ultima presenta

comunque caratteri riconducibili a tettonica sin-sedimentaria.

I bacini *transtensivi aquitaniani* occupano principalmente la parte più orientale dell'Isola dove si sviluppano direttamente sul basamento ercinico, caratterizzato prevalentemente da granitoidi intrusi in metamorfiti di medio e basso grado. In genere si impostano in corrispondenza di "releasing-bend" lungo faglie trascorrenti sinistre orientate circa N60E, ed hanno una caratteristica forma allungata parallela alle faglie principali.

Le successioni sedimentarie sono di ambiente prevalentemente continentale, in genere depositi lacustri con intercalati prodotti vulcanici e vulcanoclastici alternati a depositi alluvionali, e con associati depositi sintettonici in prossimità delle faglie. Talvolta le successioni evolvono a marine.

Le faglie trascorrenti sinistre di cui sopra sono considerate come la risposta deformativa, nel retropaese europeo, alla collisione che ha originato la catena nord-appenninica (CARMIGNANI *et alii*, 1992b; 1994a). Sono quindi legate ad un quadro geodinamico collisionale, compatibile con un campo di *stress* regionale che in Sardegna settentrionale mostra direzione del σ_1 circa NE-SW in coordinate pre-rotazione (PASCI, 1997), e che solo in corrispondenza di *releasing bend* genera estensioni N-S (OGGIANO *et alii*, 1995).

In un'ipotesi alternativa, tale estensione N-S riguarderebbe tutto il Blocco sardo-corso e potrebbe rappresentare una distensione *orogen parallel*, analoga a quella riscontrata in altri contesti geodinamici del Pacifico occidentale (FACCENNA *et alii*, 2002).

I bacini *burdigaliani* sono più recenti, hanno direzioni tra N-S e NNW- SSE, ed interessano la parte occidentale della Sardegna settentrionale, dal Golfo dell'Asinara a N fino all'altipiano di Campeda a S. Strutturalmente si configurano come *semi-graben* con faglie principali che generano *tilting* in direzione opposta, tra due bacini adiacenti. I *semi-graben* sono connessi mediante zone di trasferimento ad orientazione E-W (fig. 15).

Questi bacini intersecano quelli *transtensivi* orientati N60E interrompendone sia la continuità di affioramento della successione stratigrafica sia le faglie trascorrenti che li strutturano (FUNEDDA *et alii*, 2000).

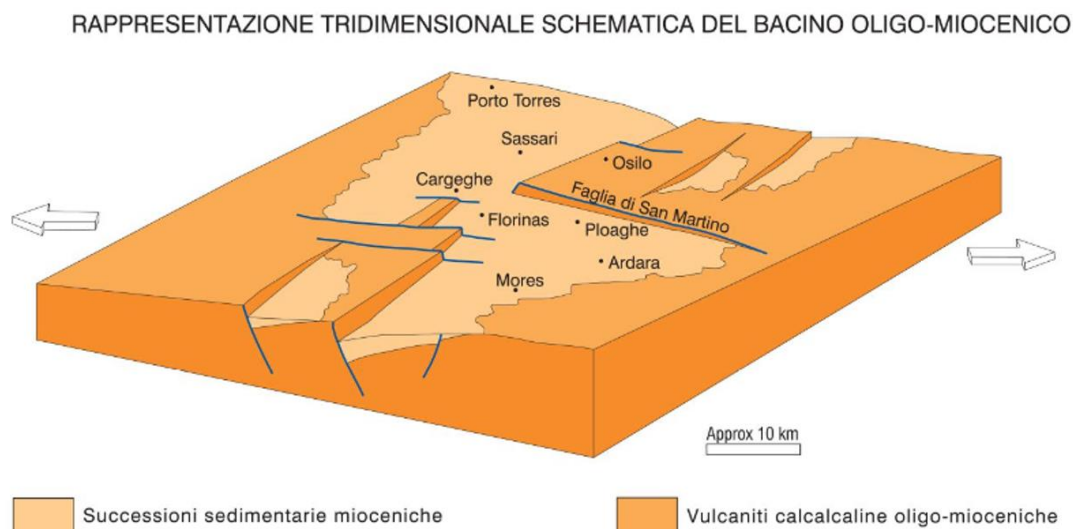


Figura 15 -Schema di rappresentazione del *tilting* nei bacini *burdigaliani* (da FUNEDDA *et alii*, 2000, modificato)

Nella successione stratigrafica di questi bacini è possibile distinguere tre sequenze deposizionali; la prima va dal Burdigaliano superiore fino al Langhiano, la seconda dal Serravaliano al Tortoniano (? Messiniano). Ambedue sono caratterizzate da un passaggio da depositi clastici di ambiente fluvio-deltizio a depositi carbonatici francamente marini di piattaforma (MAZZEI & OGGIANO, 1990).

Infine una terza sequenza riferita al Messiniano superiore, di cui rimane testimonianza nella zona a W dell'abitato di Porto Torres, si caratterizza per la presenza di sedimenti clastici grossolani di ambiente alluvionale (CORDY *et alii*, 1995; SAGE *et alii*, 2005). Il campo di *stress* attivo durante la formazione dei

bacini NNW-SSE è compatibile con un'estensione circa E-W legata alla rotazione del Blocco sardo-corso, contemporanea con l'apertura del Bacino balearico, la distensione nel Tirreno settentrionale ed il collasso dell'Appennino toscano (CARMIGNANI *et alii*, 1995).

La sezione seguente (fig. 16) illustra lo schema dei rapporti stratigrafici delle sequenze deposizionali per le unità mioceniche lungo una sezione SSW-NNE del bacino sedimentario.

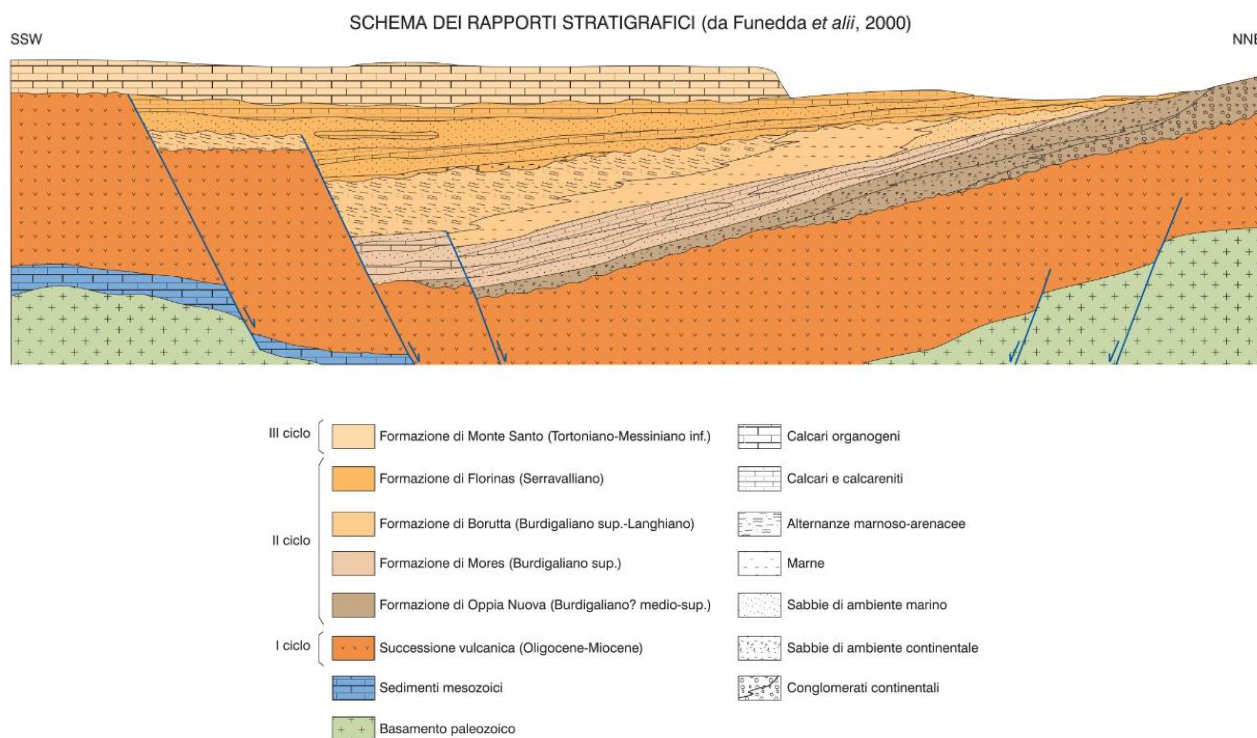


Figura 16 -Schema di rappresentazione del tilting nei bacini burdigaliani (da FUNEDDA *et alii*, 2000, modificato)

IL BACINO DEL LOGUDORO

Il bacino del Logudoro (FUNEDDA *et alii*, 2000) è un semi-*graben* orientato NNW-SSE che si estende dall'altopiano di Campeda a S fino alla zona di Ittiri e Ploaghe a N; più a settentrione si sviluppa il bacino di Porto Torres, di cui è noto il proseguimento a mare (THOMAS & GENNESSEAU, 1986). La strutturazione del bacino del Logudoro avviene tramite una serie di faglie dirette che ne identificano il margine occidentale, mentre quello orientale è caratterizzato dalla trasgressione miocenica su un substrato costituito prevalentemente dalle vulcaniti aquitaniane-burdigaliane e da sedimenti mesozoici.

I sedimenti miocenici, procedendo da E verso W, mostrano un'evoluzione da ambienti prossimali a distali. La sequenza più antica ha un'età che va dal Burdigaliano superiore al Langhiano. Essa poggia con rapporti di *onlap* sulle sottostanti vulcaniti oligo-aquitane e ed è interrotta superiormente da una superficie erosiva. È caratterizzata da una successione sedimentaria costituita alla base da sedimenti clastici grossolani tipici di ambiente fluvio-deltizio che passano a calcari litorali e sabbie, seguiti da siltiti e marne arenacee tipiche di ambiente marino più profondo.

Su quest'ultima giace la seconda sequenza deposizionale che arriva fino al Tortoniano-(?)Messiniano, costituita da sabbie fluvio-marine alla base, cui seguono calcari di piattaforma interna ricchi in alghe ed episodi hermalini (MAZZEI & OGGIANO, 1990).

Movimenti tettonici responsabili di sollevamenti differenziali di settori di piattaforma sono evidenziati sia da strutture deposizionali sintettoniche che dall'erosione di parte della prima sequenza (fig. 17).

IL BACINO DI PORTO TORRES

In questo bacino THOMAS & GENNESSEAU (1986) riconoscono tre sequenze; la prima, riferita

all'Aquitano "sin-rift", non si riscontra sulla terraferma. I primi depositi marini trasgrediscono la piattaforma mesozoica o le vulcaniti aquitano-burdigaliane e sono riferibili alla sequenza del Burdigaliano superiore-Langhiano. In questo bacino mancano le evidenze di *unconformity* tra le sequenze burdigaliano-langhiane e quelle tortoniano-messiniane pre-evaporitiche.

Non si può escludere comunque che tra le due esista una *disconformity* di tipo erosivo. Una terza sequenza, che affiora unicamente in una piccola area in località Scala Erre, è costituita da alternanze di argille e conglomerati continentali. Le argille, di colore rosso-giallastro, sono stratificate, bioturbate e pedogenizzate; al loro interno non è raro trovare noduli di manganese.

Le argille sono interpretate come depositi di piana alluvionale. I conglomerati, eterometrici, sono organizzati in lenti con strati amalgamati e con strutture di tipo *cut and fill*, e sono costituiti prevalentemente da clasti di rocce metamorfiche appartenenti al basamento della Nurra. Questi conglomerati sono interpretati come depositi fluviali di tipo *braided*.

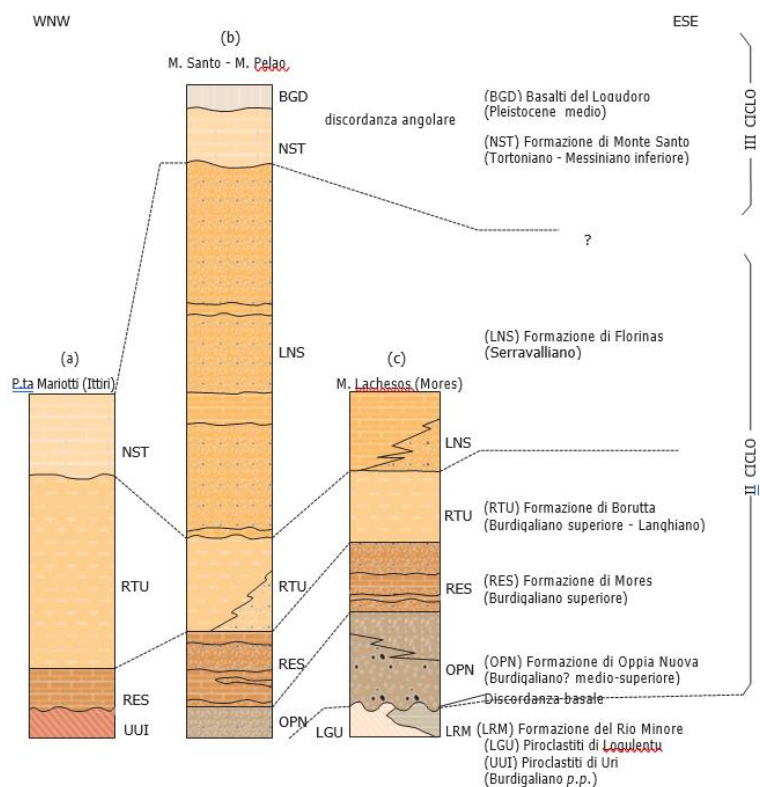


Figura 17 - Successioni mioceniche del 2° e 3° ciclo sedimentario affioranti nel Logudoro (FUNEDDA et alii, 2000, modificato)

LE COPERTURE PLIO-QUATERNARIE

A partire da circa 5 Ma e fino al Pleistocene (0,14 Ma, BECCALUVA *et alii*, 1977), la Sardegna è interessata da un nuovo ciclo vulcanico, con emissione di basalti e prodotti differenziati, connesso con una tettonica di tipo distensivo, che avrebbe interessato tutto il bacino del Mediterraneo occidentale (SELLI & FABBRI, 1971; FINETTI & MORELLI, 1973) e sarebbe all'origine dell'apertura del Tirreno centro-settentrionale.

Questo vulcanismo è rappresentato da massicci vulcanici, talvolta di grandi dimensioni, e da estesi altopiani che si sono trovati a varie altitudini coprendo formazioni di diverse età. Contemporaneamente all'attività vulcanica si ha la sedimentazione di depositi clastici di ambiente continentale (fluviale, lacustre, di versante) di transizione e marino litorale.

Questa notevole varietà di ambienti va senz'altro ricercata nei mutamenti climatici e conseguenti variazioni del livello del mare (glacio-eustatismo), conosciute e ben documentate durante la fine del Terziario e particolarmente nel Pleistocene, che hanno controllato l'evoluzione delle piattaforme continentali e dei settori emersi costieri, determinandovi la migrazione degli ambienti sedimentari.

ASSETTO STRATIGRAFICO DEL SETTORE D'IMPIANTO

Il settore in esame è caratterizzato dalla presenza di litologie ascrivibili ai due principali complessi litologici del settore: complesso vulcanico oligo-miocenico e successione sedimentaria miocenica.

Per la definizione dello schema stratigrafico di riferimento del settore SE di Mores si differenziano le seguenti unità litologiche (riportate in ordine cronostratigrafico dalla più antica):

A_UNITÀ LITOLOGICHE DELLA SUCCESSIONE VULCANICA

HVN Piroclastiti Unità di Chilivani_Depositi di flusso piroclastico non saldati, grigio-biancastri, a chimismo riolitico, massivi, ricchi di fenocristalli (plagioclasio, biotite), lapilli mediamente centimetrici, in matrice cineritica medio-grossolana. Localmente alla base affiorano depositi di ceneri di caduta massivi. Spessore da pochi metri a un massimo di 100 metri. *Burdigaliano inferiore*.

Di seguito (fig. 18) si allega lo stralcio cartografico della successione delle unità vulcaniche rilevate nel settore di Ittiri, come estratto dalla cartografia geologica ufficiale del foglio "Sassari" del progetto CARG (in scala 1:50.000) in cui si rappresentano le unità stratigrafiche presenti.

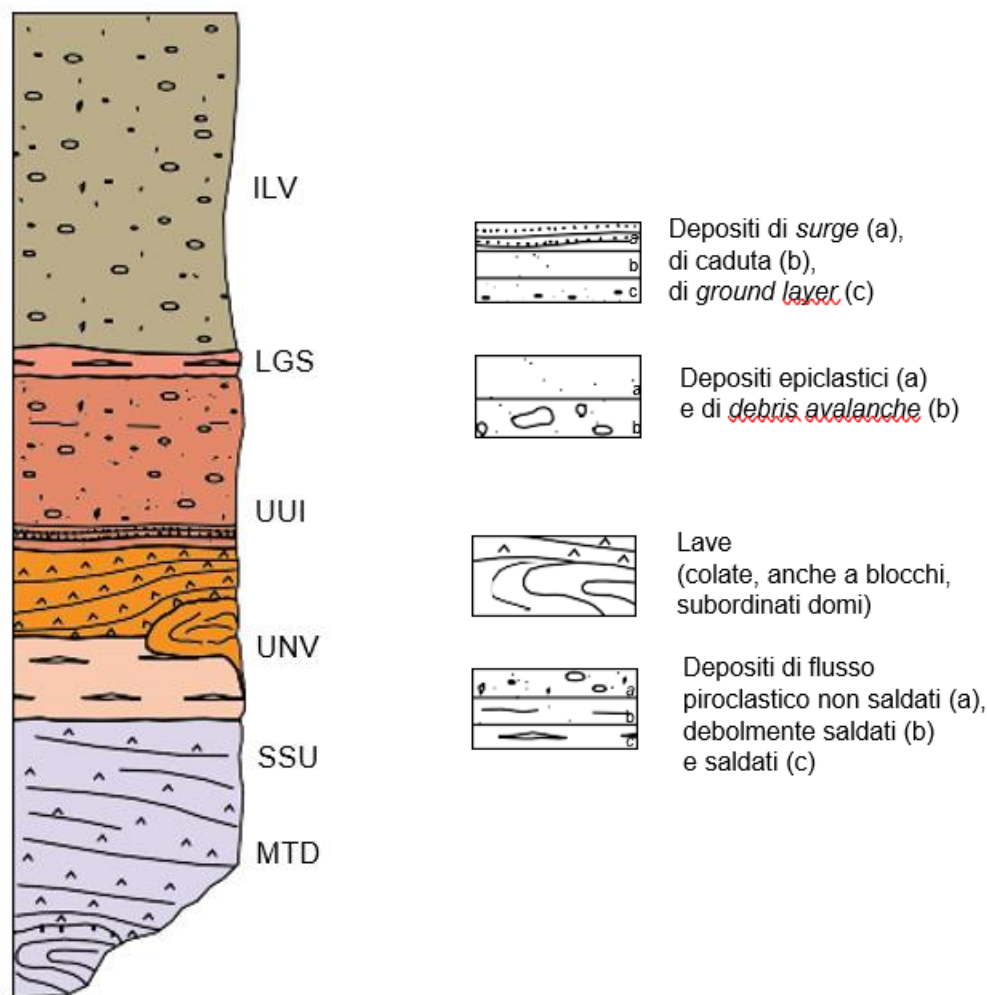


Figura 18 -Sezione illustrativa dei rapporti stratigrafici delle vulcaniti oligo-mioceniche rilevato in località M.te Sa Figu (comune di Ittiri)

B_SCHEMA STRATIGRAFICO DELLA SUCCESSIONE SEDIMENTARIA MIOCENICA

Nel settore d'impianto la successione delle unità litologiche appartenenti alla successione sedimentaria miocenica (Burdigaliano Superiore – Messiniano Superiore) è delimitata alla base dalle litologie della Unità

di Chilivani, della serie vulcanica oligo-miocenica (Burdigaliano Inferiore). Di seguito si riporta, a partire dal tetto della successione stratigrafica, la descrizione delle differenti unità mioceniche presenti nel settore, come descritta nel foglio "Sassari" in scala 1:50.000 del Progetto CARG.

OPN Formazione di Oppia Nuova

È costituita da depositi continentali analoghi a quelli che affiorano nella località Oppia Nuova (Logudoro), dove questa formazione è stata descritta da FUNEDDA *et alii* (2000).

Nella Carta Geologica 179 "Alghero", in scala 1:100.000, tale unità non era distinta dai depositi marini miocenici.

Nel Foglio Sassari affiora estesamente quasi senza interruzioni tra Olmedo, nella parte occidentale del Foglio, e Nuraghe Pilotta, sul bordo settentrionale. Inoltre alcuni piccoli affioramenti sono presenti nel margine nord-orientale (valle del Riu Mascari), mal distinguibili sul terreno per la presenza di estese coperture detritiche quaternarie. Si tratta di arenarie e depositi conglomeratici in matrice sabbiosa e argillosa (fig.35), massivi o con strutture tipo *cut-and-fill* (FUNEDDA *et alii*, 2003); localmente prevalgono depositi limoso-argillosi senza evidenze di stratificazione. I ciottoli, in genere ben elaborati, di dimensioni sino a decimetriche, sono rappresentati soprattutto da calcari della serie mesozoica della Nurra e da vulcaniti terziarie, con evidenti apporti dai quadranti occidentali, mentre negli scarsi affioramenti della valle del Riu Mascari la natura granitica dei ciottoli indica un'alimentazione dai rilievi granitici presenti negli alti strutturali tra la Gallura e Alà dei Sardi.

Nella matrice sono evidenti miche e caolinite dovuta all'alterazione del feldspato.

Il letto della formazione è costituito da calcari mesozoici o da ignimbriti burdigaliane, mentre a tetto sono presenti in genere facies ad elevata componente clastica della formazione di Mores (RES_b). L'ambiente di sedimentazione è da ri- collegare ad una vasta conoide alluvionale con canali intrecciati tipo *braided*. Sovrastando i depositi ignimbritici, che anche in altri settori della Sardegna settentrionale non sono mai più antichi del Burdigaliano inferiore-medio (GATTACCECA *et alii*, 2007; OUDET *et alii*, 2010), questi depositi continentali sono da collocare nel Burdigaliano medio e precedono la trasgressione del Burdigaliano superiore.

Gli spessori in affioramento sono limitati ad alcune decine di metri. Burdigaliano ?medio-superiore

RESa Formazione di Mores_Calcareniti e calciruditi algali sovente clinostratificati, con echinidi e bivalvi, subordinati calcari biohermali a coralli, spessore variabile fino a 40-50 metri. *Burdigaliano Superiore*. È la formazione miocenica che affiora con maggiori estensioni ed una notevole varietà di facies in relazione ai contesti deposizionali che accompagnano l'evoluzione del bacino di sedimentazione (*Rift sardo Auct.*). Gli affioramenti più importanti occupano la parte centrale del quadrante NE dell'Isola interessando le regioni del Sassarese e del Logudoro. Delle quattro litofacies distinte nella carta geologica ufficiale, quella più diffusa (**RESa**) è costituita da biocalcareniti e calcari bioclastici a banchi di ostriche ed altri bivalvi, ed echinidi (*Amphiope*, *Scutella*, *Clypeaster*), spesso con evidenti clinostratificazioni, più raramente si vedono strutture tipo dune sottomarine. In alternanza irregolare, talora, sono presenti le litofacies RESb costituite da conglomerati, presenta invece un contenuto principalmente silicoclastico con cemento carbonatico da abbondante a scarso; i clasti, in genere ben arrotondati, presentano dimensioni variabili da millimetriche a centimetriche talvolta decimetriche, e sono principalmente costituiti da quarzo e localmente da vulcaniti terziarie e rocce del basamento paleozoico. In genere la litofacies RESb affiora in posizione sottostante alla litofacies RESa (Riu Mannu, M. Minudo, Sas Monzas), mentre più a S (Sas Giorras, Campagnuzzu) è la litofacies carbonatica (RES_d) che precede stratigraficamente quella terrigena (RESb).

C_SCHEMA STRATIGRAFICO DELLA SUCCESSIONE SEDIMENTARIA OLOCENICA

Nel settore d'impianto la successione delle unità litologiche appartenenti alla successione sedimentaria

olocenica è delimitata alla base dalle litologie della successione sedimentaria miocenica descritte al punto precedente. Nel settore d'impianto si distinguono.

bn **Depositi alluvionali terrazzati**_Sabbie, sabbie ghiaiose e conglomeratiche, talora con massi e ciottoli pluricentrici poligenici (basamento paleozoico e rocce carbonatiche mesozoiche), talora con lenti sabbiose. Spessore da 2-3 m sino a 15 m (Riu Mannu). Questi depositi affiorano solo lungo la valle del Riu Mannu nel tratto medio del suo corso, a SE del Foglio. Si tratta di depositi alluvionali generalmente sabbiosi, con limitate lenti e livelli di ghiaie fini. Essi sono incisi e terrazzati dai corsi d'acqua attuali, solitamente non sono interessati dalle dinamiche in atto, possono essere raggiunti dalle piene solo durante gli eventi idrometeorologici eccezionali. La loro formazione in parte deriva dagli apporti sedimentari di alcune valli laterali che hanno dato luogo a piccole conoidi. Lo spessore di questi depositi è nella maggior parte dei casi difficilmente valutabile, ma in alcune sezioni può raggiungere qualche metro.

Di seguito (fig. 19) si allega lo stralcio cartografico del settore in esame, estratto dalla cartografia geologica ufficiale del foglio "Sassari" del progetto CARG (in scala 1:50.000) in cui si rappresentano le unità stratigrafiche presenti in affioramento nel settore.

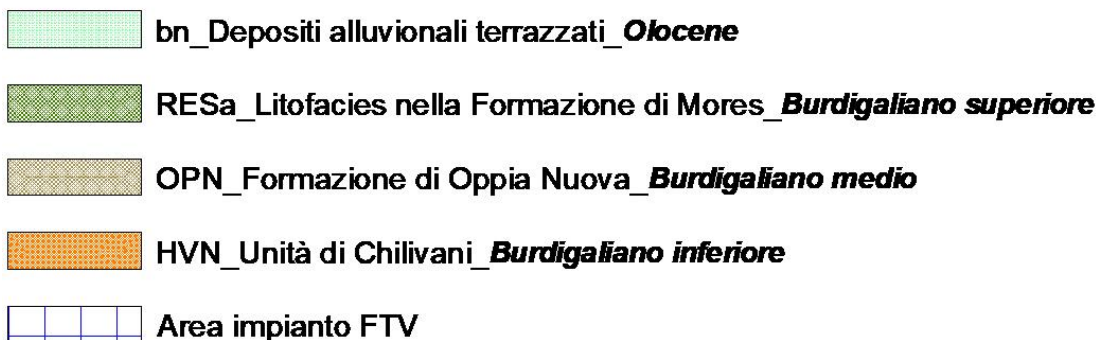
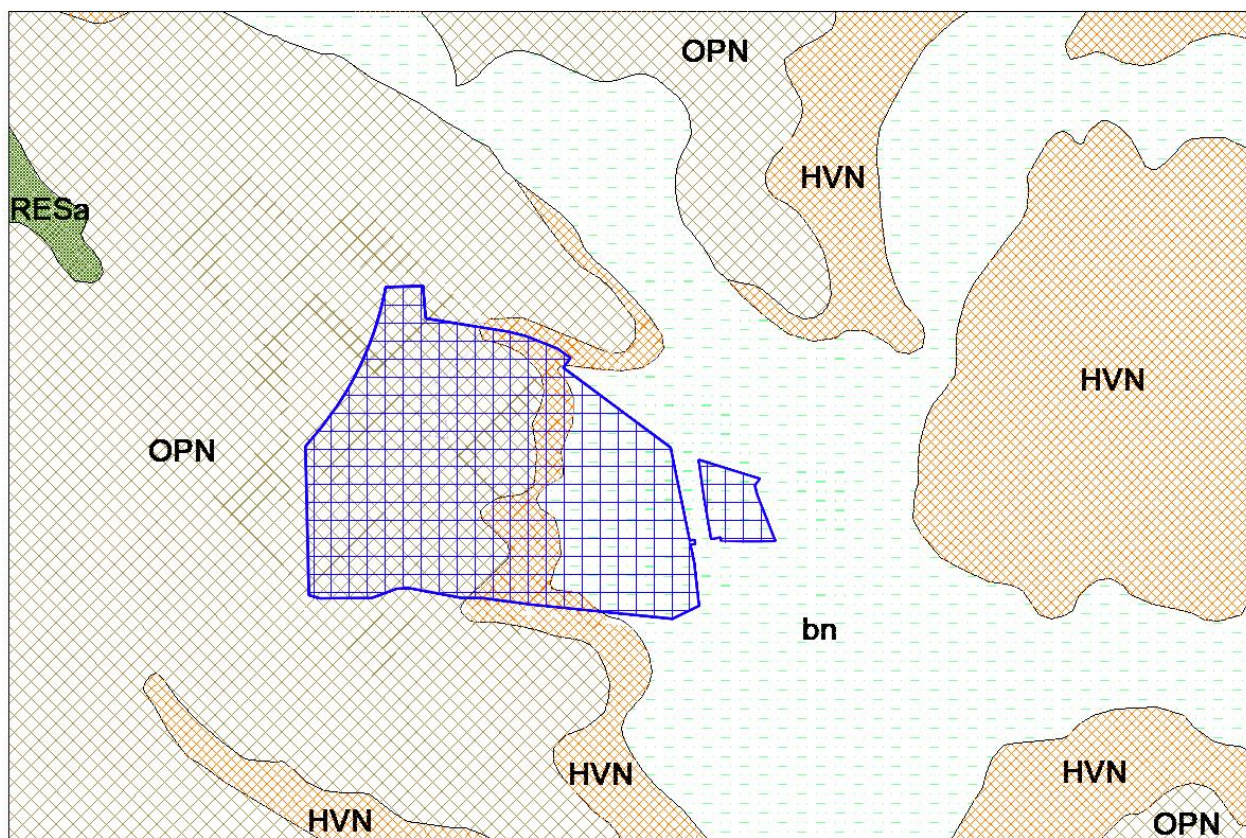
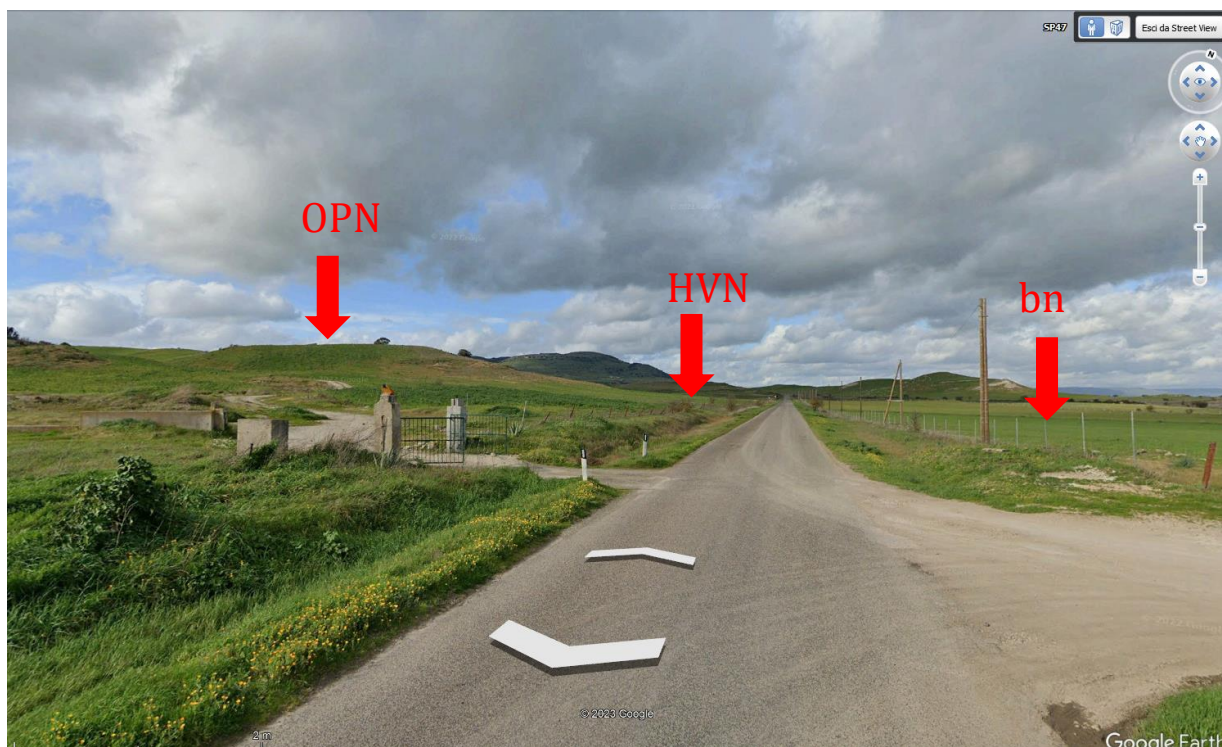


Figura 19 -Stralcio della carta litologica con rappresentazione delle unità litologiche in affioramento nel settore di sviluppo dell'impianto in progetto (retino quadrettato blu)_[fonte: Geoportale RAS]

Nella sezione seguente si illustrano le litologie del settore lungo una sezione W-E.



Nella foto seguente, scattata da NNE si evidenzia l'affioramento delle vulcaniti dell'Unità di Chilivani (HVN) a lato della strada lungo la scarpata.



GEOMORFOLOGIA E PROCESSI MORFOGENETICI

ELEMENTI GEOMORFOLOGICI ED IDROGRAFICI DEL TERRITORIO

L'area d'intervento è inserita in un settore del quadrante NW dell'Isola caratterizzato da una morfologia collinare articolata, le cui quote più elevate si raggiungono nel settore nord-orientale (M. Uttari a 469 m, M. Crastivosu a 469 m, M. Crastu Muradu a 521 m, M. Ozzastru a 471 m, M. Crastuala a 503 m e M. Orolacche a 517 m) ed in quello SE (M. Corona 'e Teula a 504 m e il N.ghe Giorgi Massone a 517 m).

La maggior parte di questi rilievi sono modellati sulle calcareniti e calciruditi della formazione di Mores (Burdigaliano sup.) o sui calcari bioclastici della formazione di Monte Santo (Serravalliano - ?Tortoniano-Messiniano), più resistenti delle formazioni circostanti, spesso costituite da formazioni marnose o dalle varie unità andesitiche e da depositi di flusso piroclastico o epiclastici talora non saldati (lave di Osilo, piroclastiti di Sa Funtaneda, di Su Suerzu, di Sa Teula, *etc.*). Talora i rilievi sono modellati anche su litologie vulcaniche, mettendo in evidenza le porzioni saldate da quelle non saldate.

La relativa uniformità dell'altezza dei rilievi, che aumenta gradatamente verso E, ed il fatto che alla medesima quota si rinvenivano formazioni di età differente, suggeriscono che in passato questo settore sia stato caratterizzato da un'estesa superficie di spianamento. La morfologia attuale sarebbe il risultato della progressiva dissezione di questo altopiano da parte delle acque dilavanti e dei corsi d'acqua. I corsi d'acqua principali ed in particolare il Riu d'Ottava a N, il Riu Mascari al centro e il Riu Mannu nel settore meridionale hanno disseccato profondamente il rilievo, generando in corrispondenza delle formazioni calcaree profonde gole delimitate da pareti verticali e sub-verticali.

Sui terreni più erodibili le valli si ampliano e originano un paesaggio collinare con versanti più dolci e piccoli dossi isolati. Il dilavamento e l'erosione dei corsi d'acqua minori sarebbe invece responsabile dell'erosione della parte alta dell'antico rilievo spianato che è oggi conservato con "cime di uguale altezza".

Questo paesaggio secondo DAVIS (1899; 1922) corrisponderebbe alla fase terminale dello smantellamento di un altopiano durante la fase di giovinezza e suggerirebbe processi di sollevamento pleistocenici in questo settore.

Le cause dei movimenti di sollevamento in Sardegna sono di più difficile inquadramento sebbene movimenti *post*-Miocenici siano già stati segnalati (MARINI & MURRU, 1983; OLLIER *et alii*, 2006). Sebbene ENGLAND & MOLNAR (1990) asseriscano che il sollevamento di estese aree possa essere associato a compensazione isostatica dei volumi erosi, altri autori confutano tale asserzione richiamando l'importanza dei processi tettonici (GILCHRIST *et alii*, 1994). Una possibile causa potrebbe essere ricercata nelle conseguenze di un *mantle plume* nel mediterraneo occidentale come suggerito da BELL *et alii* (2006) e da LAVECCHIA & CREATI (2006). Movimenti di sollevamento in altre parti dell'Isola sono segnalati nel Golfo di Orosei dove MARIANI *et alii* (2009) associano il maggior sollevamento del solco di battente tirreniano rispetto all'altezza media di 6 m (± 3 m) desunta nel resto del Mediterraneo (FERRANTI *et alii*, 2006) ad effetti locali associati ad intrusioni magmatiche, sebbene le intrusioni magmatiche siano molto più antiche della formazione dei solchi (BECCALUVA *et alii*, 1977). I movimenti recenti desunti da misurazioni GPS di precisione effettuati nel sud della Sardegna hanno dato risultati contrastanti e probabilmente legati a movimenti locali (FERRANTI *et alii*, 2009) malgrado l'elevata incertezza dei dati riguardanti i movimenti verticali (BENNET & HREINSDÓTTIR, 2007), DEVOTI *et alii* (2011) riportano movimenti negativi in atto per tre località poste nei pressi del livello del mare in una località non lontana dall'area di studio. Più recentemente però SERPELLONI *et alii* (2013) riportano valori neutri o positivi proprio nel settore in esame.

Il reticolo idrografico nella parte orientale del foglio geologico è angolare ed angoloso, secondo direttrici principalmente orientate N-S, NNE-SSW e E-W che seguono verosimilmente faglie minori e soprattutto il campo di fratture.

La differente resistenza all'erosione dei terreni affioranti sui fianchi delle valli ha condotto localmente alla formazione di *mesas* e di versanti a gradini. Questi ultimi sono particolarmente evidenti al contatto tra le

formazioni piroclastiche ed i calcari di Mores e di Monte Santo.

Lungo la valle del Riu Mannu si può inoltre seguire per chilometri la cornice generata al contatto tra i calcari e le marne della formazione di Borutta.

Questi contrasti litologici sono inoltre quelli che hanno favorito la genesi e lo sviluppo di fenomeni franosi di varia tipologia, i cui depositi sono stati descritti nella parte stratigrafica.

Nel lato centro-orientale del Foglio, tra il Riu de Montes e il Riu Murrone, il crinale su cui sorge il N. ghe S. Maria è un classico esempio di inversione del rilievo. La sommità del crinale sub-pianeggiante e debolmente inclinata verso NW, tra quota 233 m e 219 m, corrisponde alla superficie deposizionale di una estesa colata dei basalti del Logudoro, nota con il toponimo locale "Su Coloru", datata a circa 370 ka. Il crinale, posto a circa 50-60 m sul fondovalle attuale e dissecato su entrambi i lati, costituisce i resti dell'antico fondo vallivo al cui interno si era incanalata la colata basaltica (fig. 20).



Figura 20 - Fenomeni di inversione del rilievo in loc. Campomela. Al centro della foto il plateau basaltico denominato "Su Coloru", allungato in direzione WNW-ESE.

L'inversione del rilievo, già segnalata nell'area ed in altri settori della Sardegna (MARINI & MURRU, 1983; GINESU, 1990), confermerebbe non solo i fenomeni di sollevamento in atto ma anche la velocità dei processi di incisione durante il Pleistocene medio e superiore.

I corsi d'acqua hanno un regime fortemente contrastato, con un tracciato irregolare solo localmente interrotto da meandri. Sui fianchi delle valli sono presenti piccole conoidi alluvionali, piccole placche di tufi calcarei e lembi, in genere limitati, di terrazzi alluvionali olocenici e/o del Pleistocene superiore.

Sulla destra idrografica del Riu Mascari presso M. Frundas si osservano fenomeni di deformazione gravitativa profonda di versante (DGPV, cfr. § VII - 4.). Spostandosi verso la piana settentrionale, una lunga scarpata orientata NNE- SSW, a tratti discretamente ripida, a tratti smussata ed a bassa inclinazione, si segue dai pressi di Sennori fino a Tissi; verso S risulta meno evidente. Essa raccorda la sommità del rilievo al Golfo dell'Asinara tramite un'ulteriore estesa superficie di spianamento con caratteri pedimentari, che taglia indipendentemente i calcari della formazione di Mores (RESa) e le marne della formazione di Borutta (RTU).

L'approfondimento del reticolo idrografico e l'incisione di valli scavate anche per oltre 20 m nelle formazioni sopra citate hanno generato uno spettacolare reticolo parallelo sovrainposto, orientato NW-SE, che si estende sin quasi ai limiti nord-occidentali del Foglio.

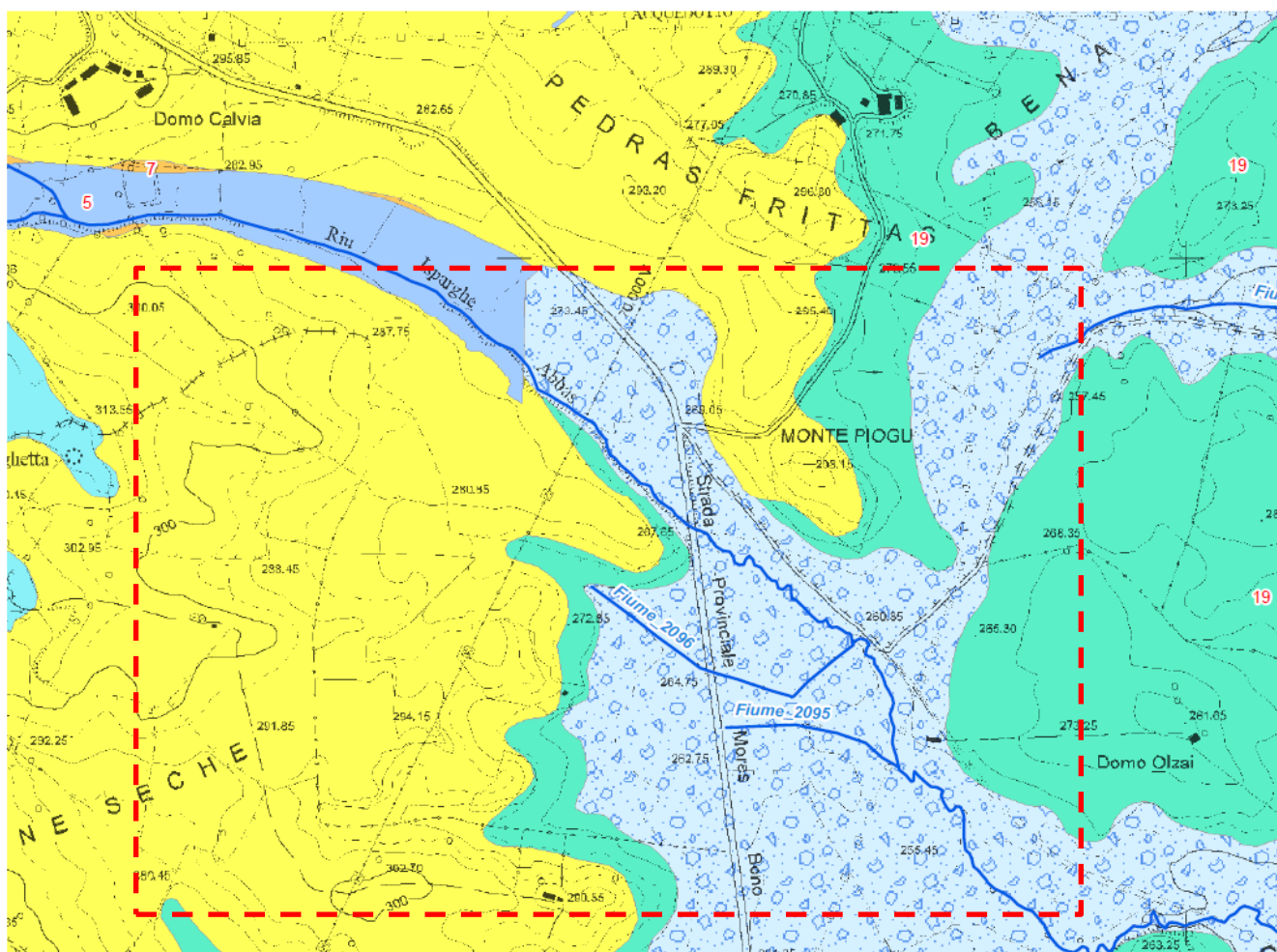
Nel settore sud-occidentale la situazione è complicata dalla presenza della estesa *mesa* di M. Su Suerzu (219 m), anch'essa orientata NNE-SSW come la scarpata di Sennori. I versanti sono modellati su una serie di depositi di flusso piroclastico che localmente originano anch'essi versanti a gradini.

Il settore occidentale del quadrante NW dell'Isola è caratterizzato da una estesa pianura, che a S si presenta ricoperta dai depositi pleistocenici, in genere di ridotto spessore, mentre a N è modellata direttamente sui calcari più o meno marnosi delle formazioni di Mores, Gamba di Moro, M. Zirra e Capo Caccia, sui calcari della formazione di Punta Cristallo, sui calcari e dolomie del Keuper e del Muschelkalk e persino sulle arenarie e conglomerati della formazione di Oppia Nuova. Questa superficie nettamente spianata presenta una quota di circa 52 m al N. ghe Bonassai, nella parte più meridionale di rocce carbonatiche affioranti, fino a quasi quota 70 m nella parte centrale dell'area ad E di M. Casteddu, per tornare a quote di circa 50 m nel settore settentrionale (Piano Darideri).

Si tratta ancora una volta di un'evidente superficie spianata, della quale è difficile stabilire l'origine. Si potrebbe trattare della parte distale della lunga superficie pedimentaria prima descritta, dato che tra le due non esistono cesure morfologiche. Non si può però escludere che si tratti di una superficie di abrasione marina, cioè un vero e proprio terrazzo, ben conservato proprio per la natura calcarea del substrato.

Peculiare è la presenza di rilievi più o meno elevati sulla pianura (M. Uc- cari a 123 m, M. Nurra a 133 m e M. Casteddu a 99 m), anch'essi modellati sui medesimi litotipi calcarei e dunque non originati da processi di erosione selettiva. Non si può inoltre escludere che spostandosi verso i versanti si tratti di una superficie sedimentaria mentre sul fondo valle rappresenti una superficie di abrasione marina.

Come esaminato dallo stralcio cartografico allegato (fonte: Geoportale RAS) relativo alla carta geomorfologica e degli eventi franosi (fig. 21) si evidenzia che nel settore non sono segnalate forme morfologiche riferibili a evoluzione morfologica in essere o potenziale.



Elementi puntuali

	Stato		
	Attivo	Quiescente	Stabilizzato
Cavità artificiale			
Cavità naturale			
Frana puntuale			

Elementi lineari

	Alveo inciso
	Scarpata di terrazzo
	Scarpata rocciosa
	Scarpata stradale instabile
	Imbocchi di cavità (naturali o/artificiali) potenzialmente instabili

Elementi areali

	Stato		
	Attivo	Quiescente	Stabilizzato
Cavità artificiale			
Complessa			
Crollo			
Dilavamento diffuso			
Falesia costiera			
Scivolamento o scorrimento			
Colamento			
Deformazione gravitativa profonda			
Espansione laterale			
Conoide			
Franosità diffusa			
Soil slip			
Cava attiva			
Cava abbandonata			
Dolina			

Tipi litologici

	1 - Depositi di versante, detriti di falda, con detritici e conoidi di deiezione		15 - Anfiboliti, quarziti, metagabbri
	1.1 - Corpi di frana stabilizzati e/o paleofrane		16 - Gneiss con elevata densità di giunti di fratturazione, paragneiss anche associati a micascisti
	2 - Depositi lagunari, lacustri e palustri		17 - Gneiss massicci e con giunti di fratturazione radi, metatessiti
	3 - Alluvioni ghiaiose recenti ed attuali degli alvei fluviali		18 - Piroclastiti mioceniche (tufi, tufi conglomeratici)
	4 - Alluvioni ghiaiose, antiche e terrazzate		19 - Ignimbriti
	5 - Alluvioni prevalentemente sabbiose		20 - Basalti
	7 - fine talora con intercalazioni di suoli più o meno evoluti arricchiti in frazione organica		21 - Trachiti, Fonoliti
	8 - Sabbie eoliche; depositi di spiaggia sabbioso-ghiaiosi attuali		22 - Andesiti
	9 - Sabbie, anche grossolane con livelli ghiaiosi ed intercalazioni di arenarie e conglomerati		22.1 - Andesiti alterate
	10 - Arenarie, arenarie conglomeratiche, metarenarie e metaconglomerati, epiclastiti		23 - Rioliti e daciti
	11 - Marne, bauxiti		25 - Graniti, granodioriti, leucograniti, monzograniti, tonaliti, gabbri massicci privi di copertura di alterazione
	12 - Calcarei, calcari marnosi miocenici, marne e calcari marnosi mesozoici, travertini		27 - Depositi antropici
	13 - Dolomie, calcari mesozoici e metacalcari		28 - Depositi antichi di spiaggia
	14 - Calcescisti, micascisti, argilloscisti, metapeliti, metargilliti		29 - Filoni di varia natura

Risorse idriche

	Rete idrografica
	Laghi

	Limite del Sub Bacino n° 3 Coghinas - Mannu - Temo
	Limite comunale



Figura 21 - Stralcio della carta e della legenda geomorfologica e degli eventi franosi (Studio di dettaglio della pericolosità per frana per il sub-bacino 3 – Anno 2015)

Di seguito (fig. 22) si allega lo stralcio della carta della permeabilità dei suoli per il settore d'impianto. Questo evidenzia come una rilevante porzione dell'area risulta essere occupata da suoli con permeabilità elevata (in corrispondenza dei depositi alluvionali terrazzati).

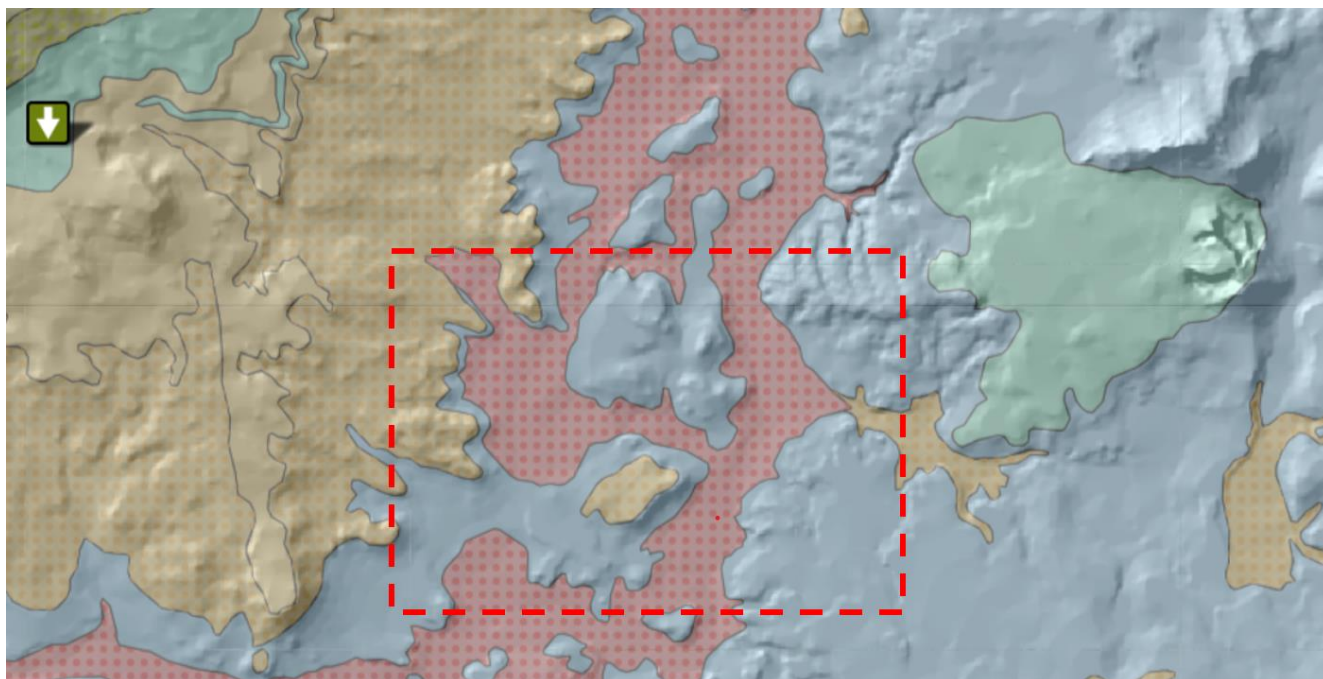


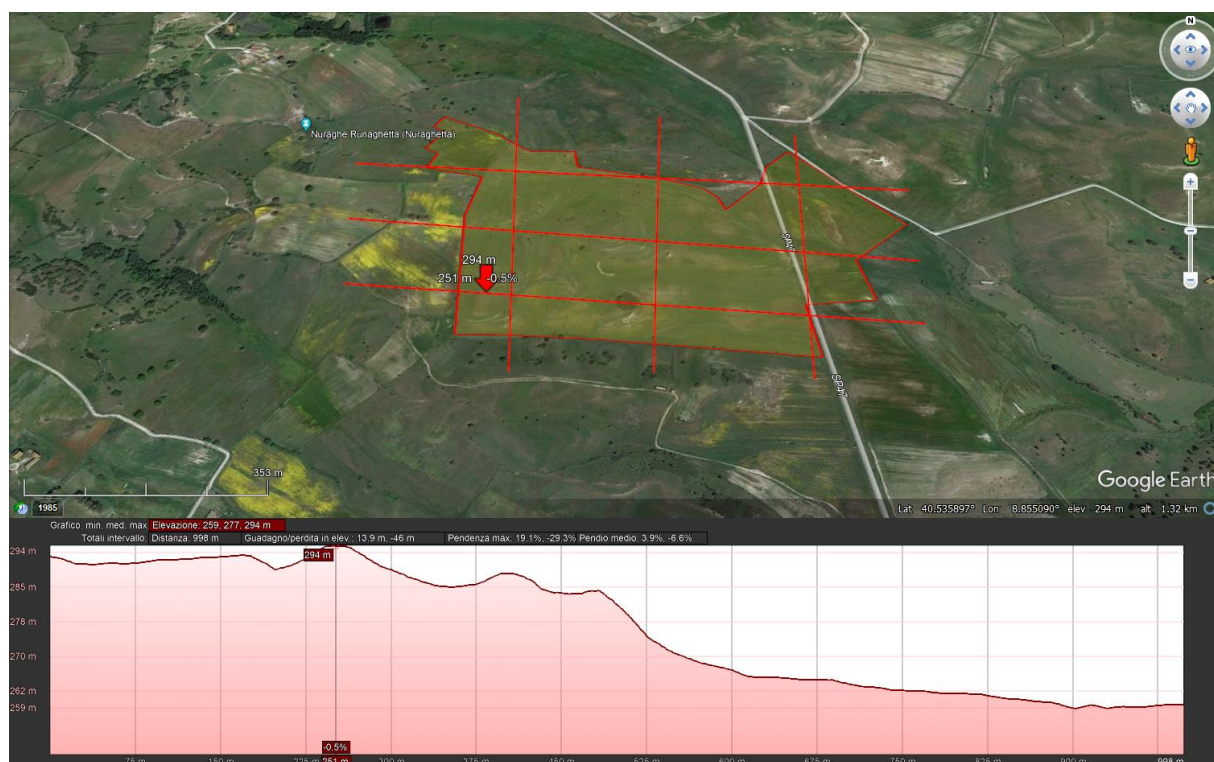
Figura 22 – Carta della permeabilità dei suoli (fonte: Geoportale RAS).

ELEMENTI GEOMORFOLOGICI DEL SETTORE D'IMPIANTO

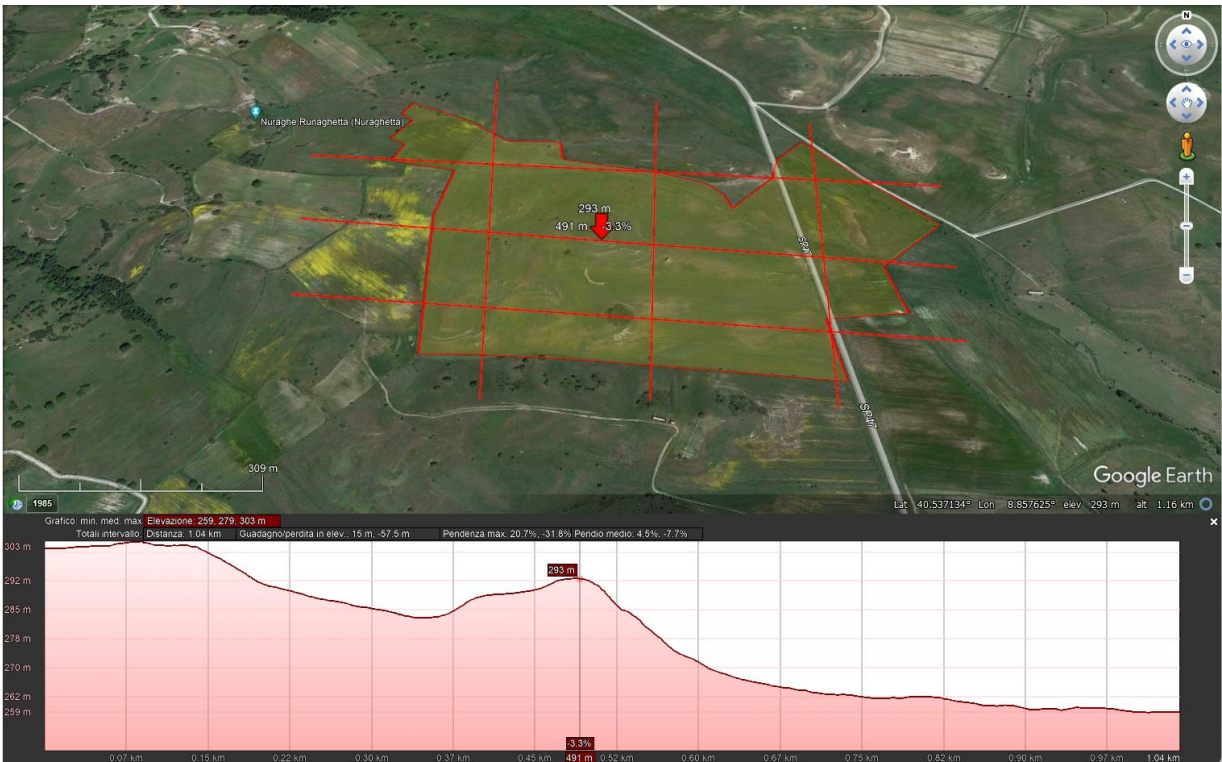
Per la rappresentazione della morfologia del paesaggio nel settore di impianto si è proceduto ad analizzare le sezioni di riferimento nel settore d'impianto. A tale scopo è stato utilizzato il materiale informatico esistente ed in particolare si è proceduto a creare una maglia informativa formata da tre sezioni con direzione WE e tre sezioni con direzione NS.

Di seguito si riporta per ciascuna traccia l'ubicazione planimetrica e la sezione topografica relativa. In ciascuna la freccia rossa lungo la traccia del profilo rappresenta la quota massima di elevazione del piano di campagna.

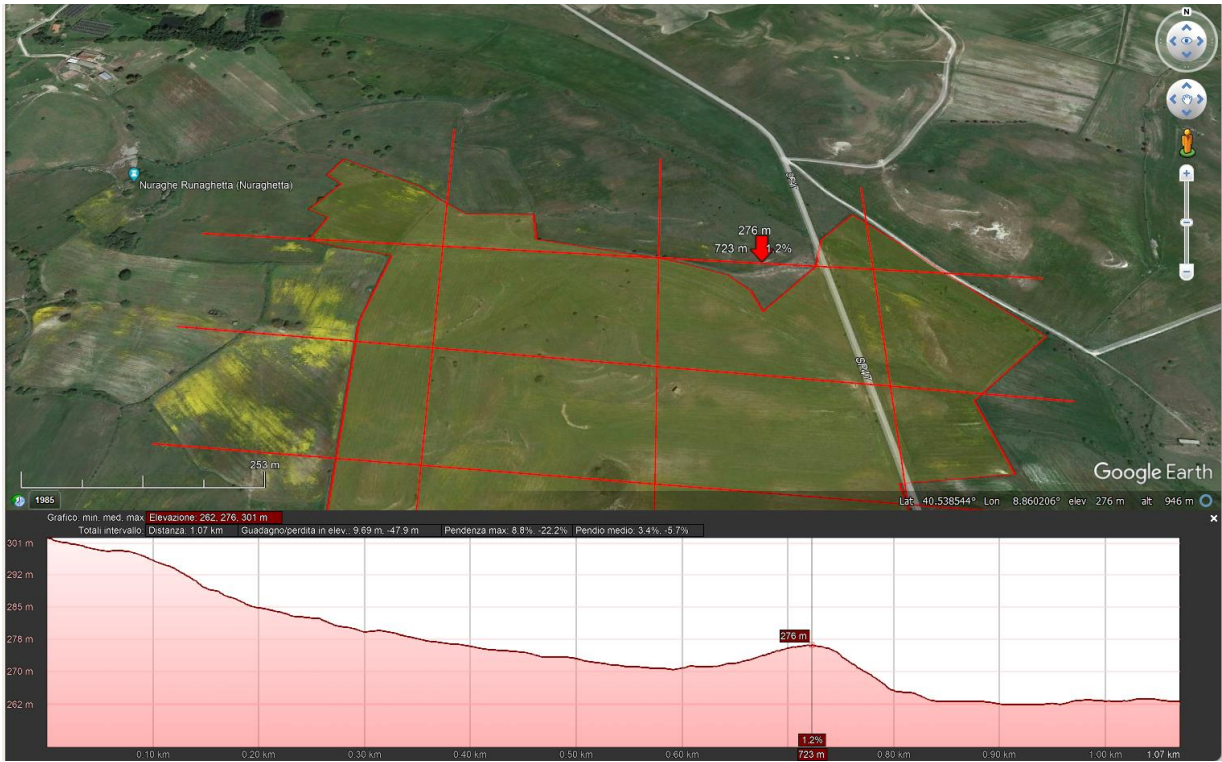
Sezione WE_01



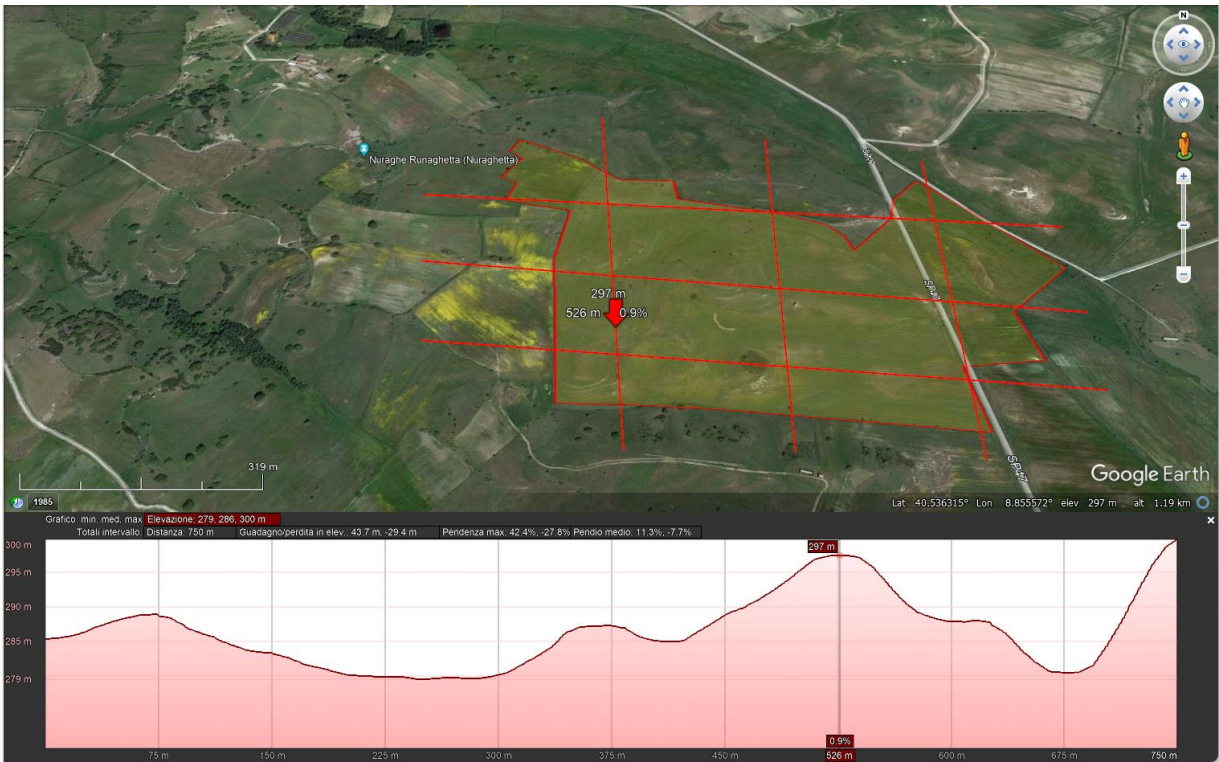
Sezione WE_02



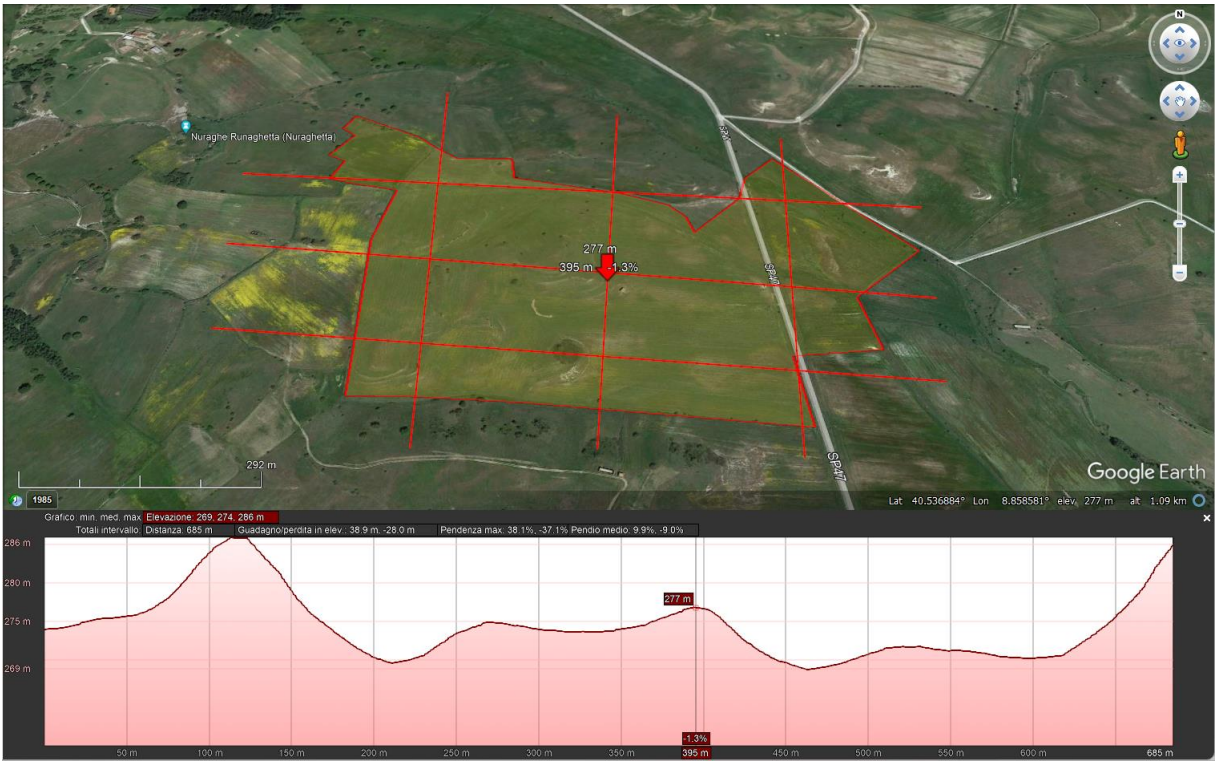
Sezione WE_03



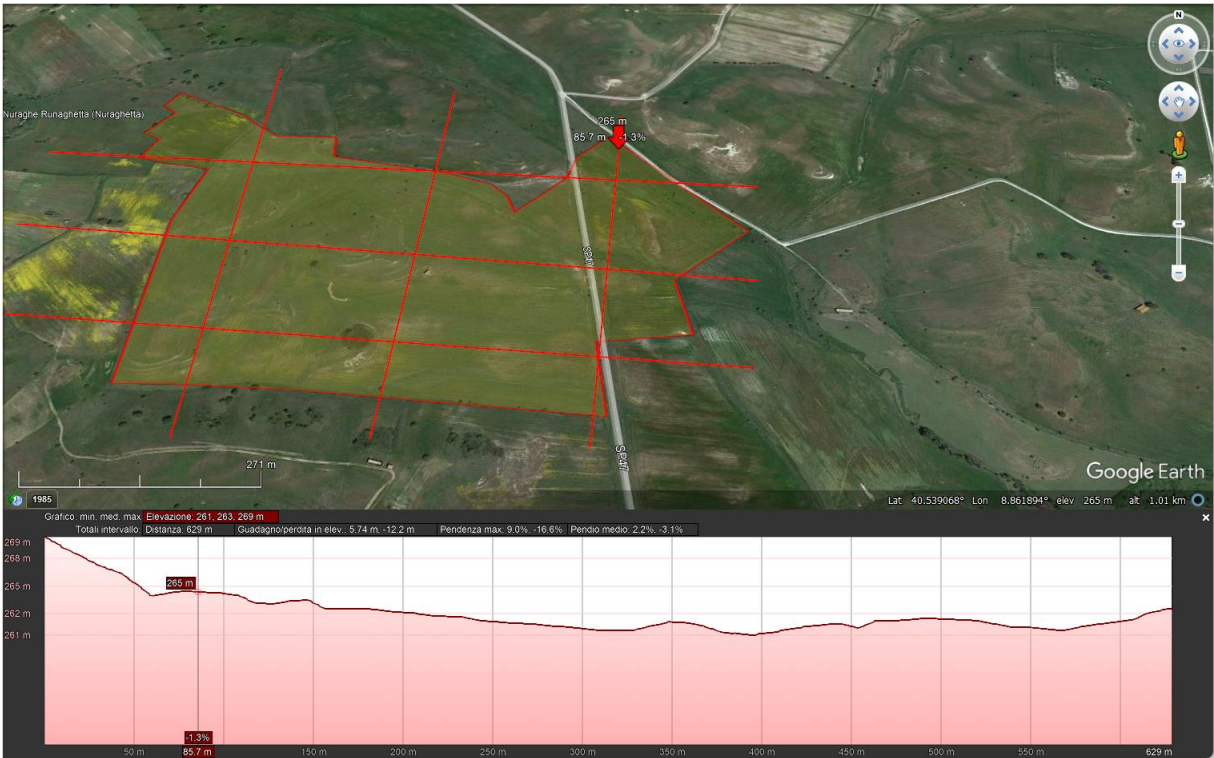
Sezione NS_01



Sezione NS_02



Sezione NS_03



ELEMENTI IDROGEOLOGICI DEL SETTORE NW DELL'ISOLA

Nel settore in esame affiorano litologie che vanno dall'Oligo-Miocene al Quaternario. Schematicamente possono ricondursi a: lave, piroclastiti saldate e sciolte, calcari, marne, arenarie della successione vulcano-sedimentaria terziaria; sabbie, alluvioni, argille, limi, etc. dei depositi quaternari.

L'area di interesse idrogeologico è costituita da diversi contesti morfologici rappresentati dai rilievi collinari variamente articolati della successione vulcano-sedimentaria miocenica e dal settore, essenzialmente pianeggiante, delle alluvioni terrazzate oloceniche.

La disponibilità idrica per i differenti usi deriva principalmente da risorse idriche superficiali, regolamentate da alcuni sbarramenti artificiali; le acque sotterranee rappresentano parimenti una fondamentale risorsa alternativa e di importanza strategica, soprattutto se considerate in relazione all'incremento evolutivo dell'uso antropico ed agli eventi climatici estremi, quali siccità e/o alluvioni, che hanno caratterizzato questo territorio negli ultimi quindici anni. Negli anni recenti l'area è stata oggetto di una tematica di ricerca approfondita, che ha messo in relazione i processi di desertificazione e le risorse idriche (GHIGLIERI et alii, 2006; 2009). Lo studio rientra tra le attività previste dal progetto RIADE (Ricerca Integrata per l'Applicazione di tecnologie e processi innovativi per la lotta alla Desertificazione: <http://www.riade.net>), cofinanziato dal MIUR (Ministero dell'Istruzione, dell'Università e della Ricerca) nell'ambito del Programma Operativo Nazionale "Ricerca, Sviluppo Tecnologico e Alta Formazione" 2000-2006. In particolare, è stato sviluppato con una partnership composta da: ACS (Advanced Computer System), ENEA (Ente per le Nuove Tecnologie, l'Energia e l'Ambiente), NRD - Università di Sassari (Nucleo Ricerca Desertificazione).

In seguito ai risultati del progetto RIADE, nel 2007 il MATTM (Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare), con coordinamento ARPAS, ha finanziato NRD-UNISS per una ricerca sulle strategie di salvaguardia e tutela delle risorse idriche sotterranee attraverso approcci innovativi (GHIGLIERI et alii, 2010).

Tutte queste ricerche hanno consentito di caratterizzare gli acquiferi presenti, da sempre sfruttati soprattutto per usi agricoli, ormai anche per usi civili e industriali.

A parte il modesto acquifero ospitato nei sedimenti quaternari, che possiede una permeabilità prevalentemente per porosità, gli altri hanno permeabilità secondarie per fessurazione e per carsismo che in alcuni casi coesistono. Nell'area sussistono anche circuiti sotterranei estremamente condizionati da strutture tettoniche, le quali talvolta costituiscono zone preferenziali di drenaggio e talaltra costituiscono limiti laterali stagni.

Nel settore NW dell'Isola, gli acquiferi presenti nella Nurra di Alghero sono una risorsa strategica in termini quantitativi: sulla base delle valutazioni eseguite sono state calcolate disponibilità, in termini di riserve regolatrici immagazzinate medie annue, pari a circa 37 milioni di metri cubi (GHIGLIERI et alii, 2006; 2009). La circolazione idrica superficiale e sotterranea è, inoltre, caratterizzata da importanti spartiacque morfologici e bacini idrogeologici.

La trasformazione delle attività economiche rispetto a quelle più tradizionali, quali le pratiche agricole estensive, ha favorito un'agricoltura tipicamente di tipo intensivo, particolarmente sviluppata nella parte centrale e più pianeggiante, o ha condotto verso settori specifici quali quello turistico ed industriale, specie nella zona costiera, contribuendo all'incremento di fabbisogni idrici, alla concentrazione dei consumi in aree ben delimitate ed alla presenza di centri di pericolo (CDP) puntuali e diffusi.

L'assetto dell'area è condizionato, oltre che dalle dinamiche esogene, anche dalle condizioni geolitologiche e strutturali.

Idrografia ed Idrogeologia del settore d'impianto

Dal punto di vista idrografico il settore in esame è caratterizzato dalla presenza di un reticolo idrografico superficiale sviluppato principalmente a Nord e a Sud dell'area d'impianto.

Entrambi i corsi d'acqua sono orientati, come altri del settore, con direzione prevalente NW-SE. Il corso d'acqua a carattere torrentizio e stagionale, a nord dell'impianto, è rappresentato dal Rio Isparghe Abbas.

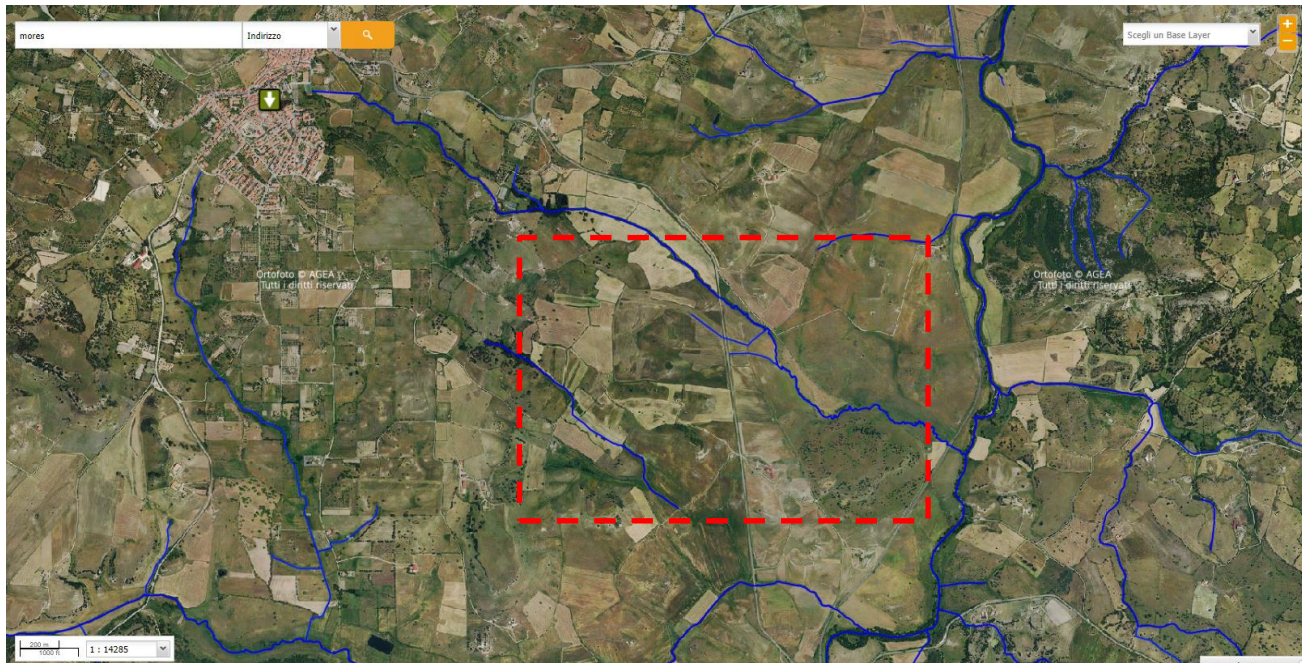


Figura 23 – Carta dello schema idrografico del settore d'impianto a SE dell'abitato di Mores (fonte: Geoportale RAS).

Dal punto di vista idrogeologico la conformazione stratigrafica del settore, caratterizzata dalla presenza di un'unità superficiale detritica, con porosità primaria medio-elevata, al di sopra di un substrato litoide con permeabilità secondaria medio-bassa determina una condizione favorevole e predisponente alla formazione di falde idriche subsuperficiali. In particolari condizioni topografiche, in corrispondenza di aree a debole pendenza o con forma concava è favorita l'infiltrazione delle acque meteoriche che possono originare, al contatto con il substrato litoide, delle falde idriche con portate assai variabili (comunque modeste) in funzione dello spessore dello strato detritico superficiale.

SISMICITÀ DELL'AREA DI PROGETTO

CLASSIFICAZIONE SISMICA

Al fine di verificare le caratteristiche sismiche del territorio in esame si è proceduto, inizialmente, alla determinazione della sismicità storica dell'area mediante la raccolta ed analisi dei dati sismici esistenti con riferimento ai principali database disponibili alla consultazione pubblica.

La caratterizzazione della sismicità di un territorio richiede, in primo luogo, una approfondita e dettagliata valutazione della storia sismica, definita attraverso l'analisi di evidenze storiche e dati strumentali riportati nei cataloghi ufficiali. A tale scopo sono stati consultati i seguenti database:

- *Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani 2015 (CPTI15)*, redatto dal Gruppo di lavoro CPTI 2015 dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV). Questo catalogo riporta dati parametrici omogenei, sia macrosismici che strumentali, relativi ai terremoti con intensità massima (I_{max}) ≥ 5 o con magnitudo (M_w) ≥ 4.0 d'interesse relativi al territorio italiano.

- *DataBase Macrosismico Italiano 2015 (DBMI15)*, realizzato dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV). Questo catalogo riporta un set omogeneo di dati di intensità macrosismiche provenienti da diverse fonti e relativo ai terremoti con intensità massima (I_{max}) ≥ 5 avvenuti nel territorio nazionale e in alcuni paesi confinanti (Francia, Svizzera, Austria, Slovenia e Croazia).

La finestra cronologico-temporale coperta dal catalogo CPTI15 e dal database DBMI15 va dall'anno 1000 d.C. circa a tutto il 2014 d.C., ed offre per ogni terremoto una stima il più possibile omogenea della localizzazione epicentrale (Latitudine, Longitudine), dei valori di Intensità massima ed epicentrale, della magnitudo momento e della magnitudo calcolata dalle onde superficiali.

Per la compilazione del **CPTI15** sono stati ritenuti di interesse solo i terremoti avvenuti in Italia e quelli che, pur essendo stati localizzati in aree limitrofe, potrebbero essere stati risentiti con intensità significativa all'interno dei confini dello stato.

In figura 24 è mostrata una mappa delle localizzazioni dei terremoti storici presenti nel catalogo CPTI15 relativi alla regione Sardegna, mentre in figura 25 è riportata una lista di tutti gli eventi sismici catalogati.

In generale, dalla consultazione di questo catalogo si evidenzia che l'area interessata dal progetto presenta una sismicità storica molto bassa. Il catalogo CPTI15 riporta solo due eventi di magnitudo $\leq 5M_w$ (1924 e 1948). In occasione dell'evento del 1948 sono state osservate intensità pari a 6MCS in alcune località della Sardegna Nord- Occidentale.

I terremoti più recenti (avvenuti nel 2000, 2004 e 2006), tutti di $M_w < 5$ e localizzati in mare, hanno prodotto in terraferma effetti di modesta intensità.

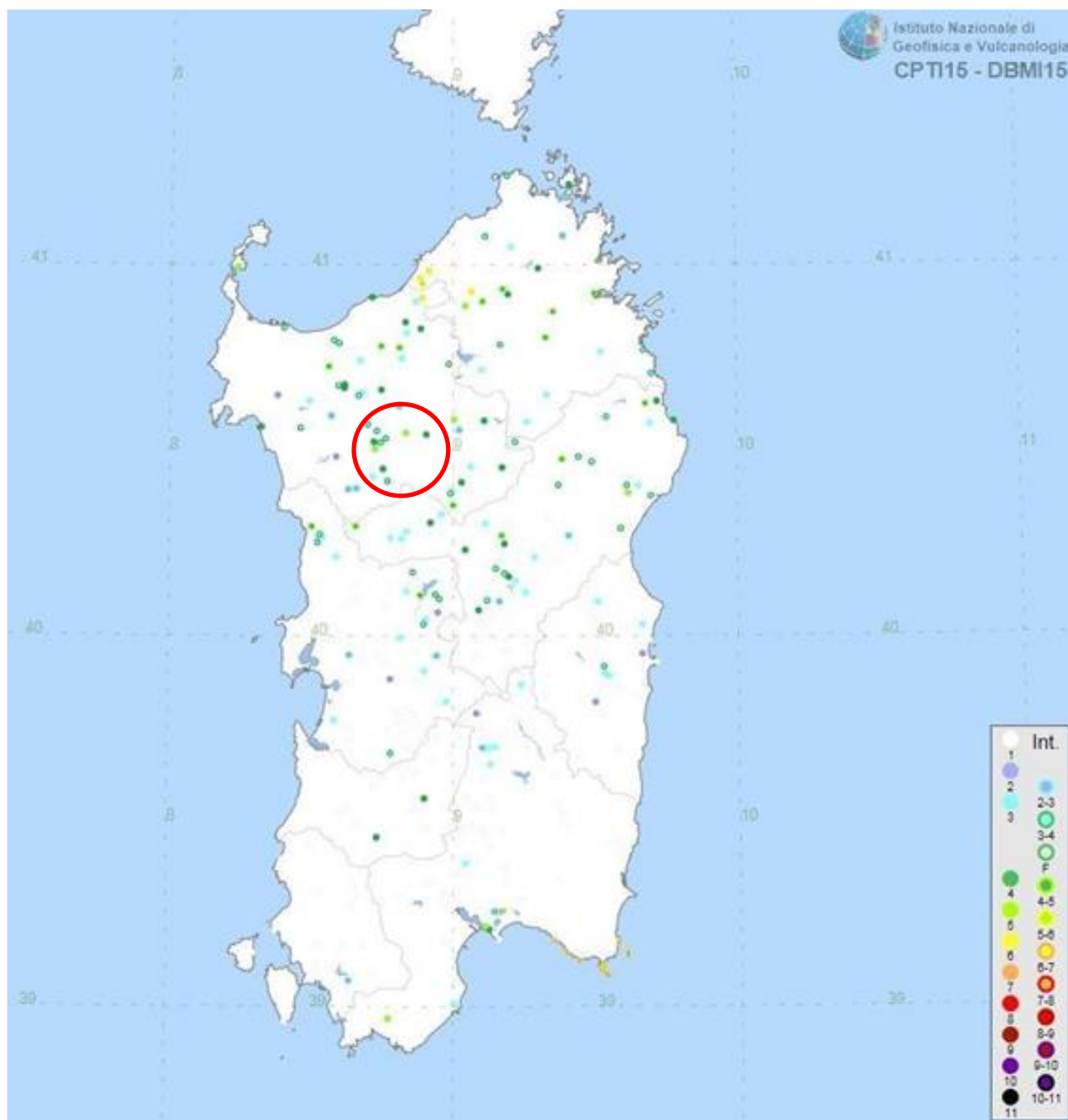


Figura 24 - Mappa con la localizzazione degli epicentri dei terremoti storici avvenuti in Sardegna
(fonte: catalogo CPTI15, redatti da INGV)

COMUNE	PROVINCIA	Imax	Terremoti	COMUNE	PROVINCIA	Imax	Terremoti	COMUNE	PROVINCIA	Imax	Terremoti
Aggius	OT	6	2	Gavoi	NU	4	1	Osilo	SS	3	1
Aglientu	OT	3-4	1	Gergei	CA	2-3	1	Osini Nuova	OG	2	1
Aidomaggiore	OR	3-4	1	Ghilarza	OR	3	1	Ossi	SS	3-4	1
Alà dei Sardi	OT	3	3	Giave	SS	4	2	Ottana	NU	4	2
Alghero	SS	4	1	Giba	CI	2-3	1	Ovodda	NU	2-3	1
Arborea	OR	3	1	Girasole	OG	2	1	Ozieri	SS	5	1
Ardara	SS	3-4	1	Ilbono	OG	3	2	Padria	SS	2-3	1
Arzachena	OT	2-3	1	Illorai	SS	4-5	1	Padru	OT	3	2
Arzana	OG	3-4	2	Ittireddu	SS	4	2	Palau	OT	2-3	1
Asinara (Fomelli)	SS	5	1	Ittiri	SS	2-3	1	Pattada	SS	4	2
Austis	NU	4	1	La Maddalena	OT	4	2	Perfugas	SS	4	1
Badesi	OT	6	1	Laerru	SS	3	1	Ploaghe	SS	4	1
Banari	SS	3-4	1	Lei	NU	4	1	Porto Torres	SS	3-4	1
Baunei	OG	3	3	Loculi	NU	3-4	3	Posada	NU	4	1
Benetutti	SS	4	2	Lodè	NU	3-4	2	Pozzomaggiore	SS	2-3	1
Berchidda	OT	3-4	2	Lodine	NU	3	1	Pula	CA	3	2
Bessude	SS	3-4	1	Lula	NU	3-4	2	Putifigari	SS	3-4	1
Bidoni	OR	3-4	1	Luogosanto	OT	3	1	Romana	SS	2	1
Birori	NU	3	1	Luras	OT	4-5	1	Ruinias	OR	3	1
Bitti	NU	4-5	3	Macomer	NU	3	1	Samugheo	OR	2-3	1
Bolotana	NU	3	1	Magomadas	OR	3	1	San Teodoro	OT	3-4	2
Bonnanaro	SS	3-4	1	Mamoiada	NU	3	3	Sanluri	VS	4	1
Bono	SS	4	1	Mandas	CA	3	2	Sant'Antonio	OT	4	1
Bonorva	SS	3-4	1	Martis	SS	4-5	1	Santa Lucia	NU	4	1
Bortigali	NU	3	1	Modolo	OR	3-4	1	Santa Maria Coghinas	SS	3	1
Bortigiadas	OT	5	1	Mogoro	OR	3-4	1	Santa Teresa Gallura	OT	3-4	2
Borutta	SS	3-4	1	Monastir	CA	3	1	Sassari	SS	4-5	4
Bosa	OR	4-5	1	Monsezzato	CA	2-3	1	Scano di Montiferru	OR	3	1
Buddusò	OT	3	3	Monti	OT	4-5	2	Sennori	SS	3-4	1
Budoni	OT	3-4	2	Mores	SS	5	1	Serri	CA	3	1
Bultei	SS	3	2	Murtiggioli	OT	5-6	1	Seulo	CA	3	1
Bulzi	SS	4	2	Muros	SS	4	1	Samaggiore	OR	2-3	1
Burgos	SS	3	1	Neoneli	OR	2	1	Sindia	NU	4-5	1
Busachi	OR	3-4	1	Nughedu di San Nicolò	SS	2-3	1	Siniscola	NU	3	1
Cagliari	CA	5	6	Nughedu Santa Vittoria	OR	3-4	1	Sorso	SS	3-4	1
Calangianus	OT	4	1	Nulvi	SS	4-5	1	Tadasuni	OR	4-5	1
Cargeghe	SS	4	1	Nurallao	CA	2	1	Telti	OT	4-5	1
Castelsardo	SS	4	2	Nureci	OR	3	1	Tempio Pausania	OT	4-5	1
Cheremule	SS	5	2	Olbia	OT	4-5	1	Teti	NU	3-4	1
Chiararamonti	SS	3	1	Oliena	NU	2-3	3	Teulada	CA	5	2
Codrongianos	SS	3	1	Ollolai	NU	3-4	1	Thiesi	SS	4	1
Convento di Bonannaro	CA	4	1	Olmedo	SS	2	1	Torpè	NU	4-5	3
Cossoine	SS	3	1	Olzai	NU	3-4	2	Tresnuraghes	OR	3-4	1
Dorgali	NU	3-4	2	Onani	NU	3-4	1	Trinità d'Agultu e Vignola	OT	6	1
Elini	OG	3	1	Onifai	NU	3	2	Tula	SS	3-4	1
Escolca	CA	3	1	Oniferi	NU	4-5	2	Ulà Tirso	OR	3	1
Esportatu	SS	3-4	1	Orani	NU	4	2	Uri	SS	3	1
Florinas	SS	3-4	2	Orosei	NU	3-4	3	Urzulei	OG	3	3
Flussio	OR	3	1	Orotelli	NU	3	2	Viddalba	SS	6	1
Fonni	NU	3	2	Orune	NU	3-4	1	Villacidro	VS	4	1
Fordongianus	OR	3	1	Oschiri	OT	3	2	Villaurbana	OR	2	1
Galtelli	NU	5	3	Osidda	NU	3-4	3				

Figura 25 - Elenco degli eventi sismici riportati nel catalogo CPTI15 relativi alla Regione Sardegna

Il database **DBMI15** archivia gli eventi sismici considerando i dati di intensità macrosismica. L'insieme di questi dati consente di elaborare la sismicità storica delle località italiane, ossia consente di definire un elenco degli effetti di avvertimento o di danno, espressi in termini di gradi di intensità, osservati nel corso del tempo a causa di eventi sismici.

In figura 26 è mostrata la distribuzione degli eventi sismici presenti nell'intero DBMI15, in particolare si nota come nell'area di interesse (cfr. ellisse rosso) sono presenti un esiguo numero di eventi sismici nell'intervallo di definizione del catalogo, sempre caratterizzati da intensità e magnitudo modeste (colorazione verde).

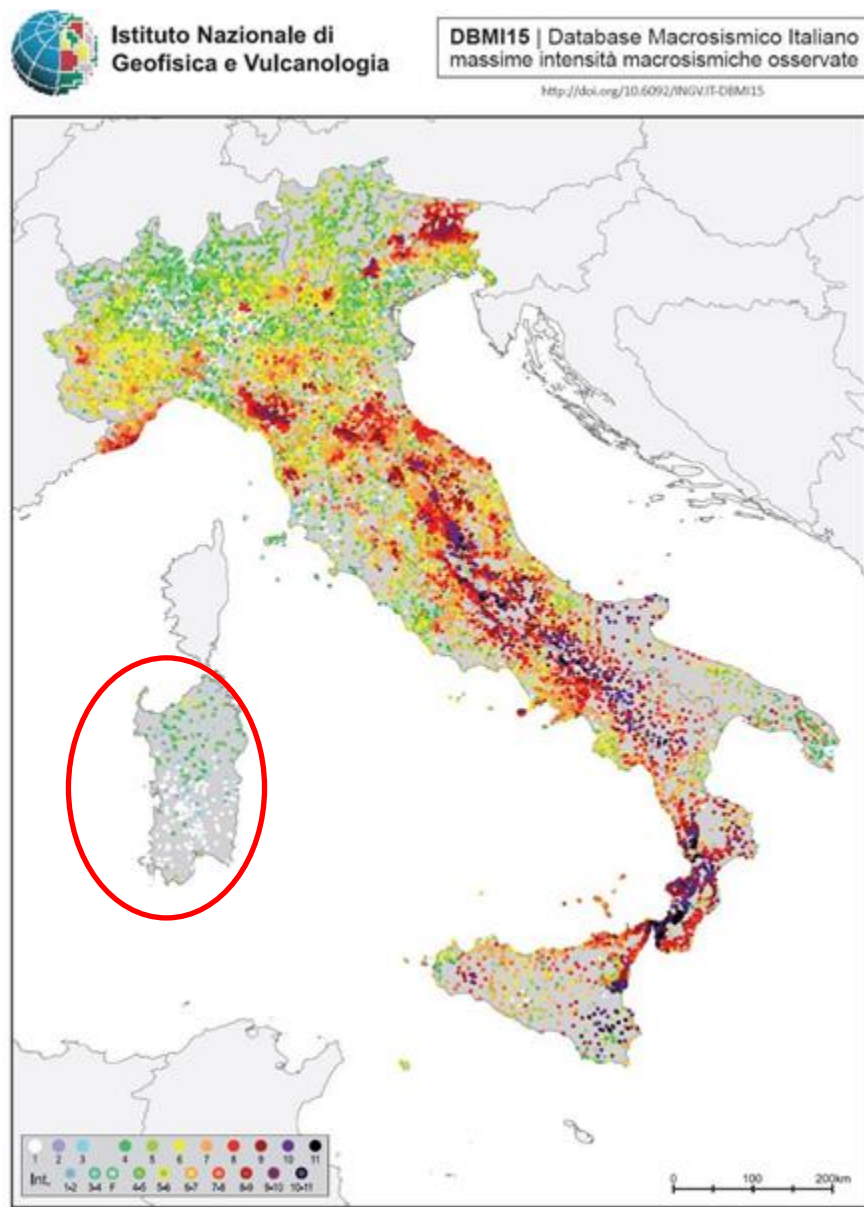


Figura 26 - Mappa con la localizzazione degli epicentri dei terremoti storici italiani riportati nel DBMI15 (fonte: INGV)

In conclusione, la distribuzione dei terremoti storici nell'area di interesse del progetto, estratti dal catalogo CPTI15 (fig. 24) e dal database DBMI15 (fig. 26), dimostra che la zona in studio è **caratterizzata da un livello di sismicità molto basso**, sia dal punto di vista della frequenza di eventi, che dei valori di magnitudo.

Caratterizzazione sismogenetica

La caratterizzazione sismogenetica dell'area in studio è stata elaborata considerando la recente Zonazione Sismogenetica, denominata ZS9, prodotta dall' INGV (Meletti C. e Valensise G., 2004). Questa zonazione è considerata, nella recente letteratura scientifica, il lavoro più completo e aggiornato a livello nazionale.

Dall'analisi dei risultati riportati nella ZS9 si può evidenziare che la regione interessata dai tracciati in progetto non è caratterizzata da nessuna area sorgente di particolare rilievo.

Studi più recenti per la valutazione del rischio sismico e della pericolosità sismica nazionale (Stucchi et al., 2007) hanno prodotto risultati in accordo a quelli evidenziati dalla ZS9 in merito alla difficoltà di individuare per il territorio sardo una mappa delle sorgenti sismogenetiche a causa della bassa sismicità che caratterizza la regione.

Il documento "Task 1 - Completamento delle elaborazioni relative a MPS04 - Deliverable D1 Valutazione standard (10%, 475 anni) di a_{max} (16mo, 50mo, e 84mo percentile) per le isole rimaste escluse nella fase di redazione di MPS04" redatto a cura di M.Stucchi, C. Meletti, V. Montaldo et alii dell'INGV - Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, riporta la mappatura del parametro " a_{max} " ovvero dell'accelerazione sismica massima.

La Sardegna è indicata come un caso a sé stante per la quale, tenendo conto che la sismicità è bassa, anche a livello strumentale, e che i dati storici non segnalano danni significativi, si ritiene ragionevole assumere per l'intero territorio un valore di default $a_{max} = 0.050$ g.

Si riporta di seguito (fig. 27) uno stralcio della tabella 12 del testo originario in cui si riassumono i valori dei principali parametri sismici analizzati per l'Isola.

1	2	5	6	8	9	12	13
N. nodo	Località	Prop. di riclass. (1998)	a_{max} in MPS04 50mo (g)	Zona sismica secondo OPCM 3274	Valore di ancoraggio secondo OPCM 3274	Valore di a_{max} adottato (g)	Spettro suggerito
	Sardegna Nord	NC	<0.025	4	0.05	0.05	zona 4
	Sardegna Sud	NC	<0.025	4	0.05	0.05	zona 4

Figura 27 - Riepilogo dei dati relativi alle isole: valori di a_{max} proposti da MPS04, da questo studio, e valori finali adottati; spettri suggeriti (cfr. tabella 12 testo originale – Stucchi et al. 2007)

Nel 2012 si è proceduto ad un aggiornamento della mappa del rischio e della pericolosità sismica e vulcanica e sono stati emanati i criteri per la nuova classificazione sismica del territorio nazionale e tutti i comuni della Sardegna sono stati classificati in zona 4 (a sismicità bassa).

Definizione della Pericolosità Sismica di Base (PSB)

La valutazione della sismicità del territorio in esame è espressa, in prima battuta, dalla determinazione della Pericolosità Sismica di Base (o di sito).

A partire dal D.M. 14/01/2008 (NTC2008) è stato introdotto il concetto di PSB in condizioni ideali di sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale.

La PSB è definita in termini di accelerazione orizzontale massima attesa a_g in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale (di categoria A come definita al § 3.2.2), nonché di ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente $S_e(T)$, con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza P_{VR} come definite nel § 3.2.1, nel periodo di riferimento V_R , come definito nel § 2.4. In alternativa è ammesso l'uso di accelerogrammi, purché correttamente commisurati alla pericolosità sismica locale dell'area della costruzione.

La PSB costituisce l'elemento di conoscenza primario per la determinazione delle azioni sismiche da applicare alle costruzioni e agli impianti connessi.

Per la valutazione della PSB le NTC2018 definiscono le forme spettrali, per ciascuna delle probabilità di superamento P nel periodo di riferimento V_R , a partire dai valori dei seguenti parametri su sito di riferimento rigido orizzontale:

- a_g accelerazione orizzontale massima al sito;
- F_0 valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- T_c^* valore di riferimento per la determinazione del periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

Per la determinazione dei suddetti parametri (a_g , F_0 e T_c^*), necessari per la determinazione delle azioni sismiche, si fa riferimento agli Allegati A e B al Decreto del Ministro delle Infrastrutture 14 gennaio 2008, pubblicato nel S.O. alla Gazzetta Ufficiale del 4 febbraio 2008, n. 29, ed eventuali successivi aggiornamenti. Allo stato attuale, la pericolosità sismica del territorio nazionale è definita su un reticolo di riferimento e per diversi intervalli di riferimento (periodo di ritorno).

Il reticolo di riferimento delle NTC2018, in accordo con la precedente definizione del 2008 suddivide l'intero territorio italiano in maglie elementari di circa 10 Km per 10 Km, per un totale di 10751 nodi, definiti in termini di coordinate geografiche (Tabella A1 delle NNTC 2008; <http://esse1.mi.ingv.it/>).

Per ciascun nodo del reticolo di riferimento e per ciascuno dei periodi di ritorno (T_r) considerati dalla pericolosità sismica, sono forniti tre parametri per la definizione dell'azione sismica di progetto:

- a_g accelerazione orizzontale massima attesa al bedrock con superficie topografica orizzontale (espressa in $g/10$);
- 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 (espresso in s).

Da un punto di vista normativo, pertanto, la PSB di un sito dipende dalla posizione dell'area in cui viene realizzata l'opera di riferimento rispetto ai nodi del suddetto reticolo.

Le accelerazioni orizzontali massime attese al bedrock (a_g) non sono più valutate genericamente sulla base dell'appartenenza del comune in cui realizzare l'opera ad una zona sismica, ma sono calcolate in funzione dell'effettiva posizione geografica del sito ove sarà realizzata l'opera.

Per ciascun nodo del reticolo di riferimento e per ciascuno dei periodi di ritorno (T_r) considerati dalla pericolosità sismica, i tre parametri si ricavano riferendosi ai valori corrispondenti al 50-esimo percentile. Per un qualunque punto del territorio, non ricadente nei nodi del reticolo di riferimento, i valori dei parametri di interesse per la definizione dell'azione sismica di progetto (a_g , F_0 , T_c^*) possono essere calcolati come media pesata dei valori assunti da tali parametri nei quattro vertici del reticolo di riferimento contenente il punto in esame, utilizzando come pesi gli inversi delle distanze tra il punto in questione ed i quattro vertici.

Per tutte le isole, con l'esclusione della Sicilia, Ischia, Procida, Capri gli spettri di risposta sono definiti in base a valori di a_g , F_0 , T_c^* uniformi su tutto il territorio di ciascuna isola. I valori di tali dati sono riportati nella in figura 28.

a_g	F_0	T_c^*
TR=30		
0,186	2,61	0,273
TR=50		
0,235	2,67	0,296
TR=72		
0,274	2,70	0,303
TR=101		

0,314	2,73	0,307
TR=140		
0,351	2,78	0,313
TR=201		
0,393	2,82	0,322
TR=475		
0,500	2,88	0,340
TR=975		
0,603	2,98	0,372
TR=2475		
0,747	3,09	0,401

Figura 28 - Parametri spettrali della Sardegna per i diversi tempi di ritorno.

AZIONE SISMICA DI PROGETTO

Le azioni sismiche di progetto, in base alle quali valutare il rispetto dei diversi stati limite considerati, si definiscono a partire dalla PSB del sito di costruzione e sono funzione delle caratteristiche morfologiche e stratigrafiche che determinano la risposta sismica locale.

Le NTC 2008 definiscono l'azione sismica considerando un periodo di ritorno (T_r) che è funzione della probabilità di superamento di un valore di accelerazione orizzontale (P_{Vr}) nel periodo di riferimento dell'opera (V_r).

Il periodo di riferimento dell'opera (V_r) si ottiene dal prodotto tra la Vita Nominale (V_n), intesa come il numero di anni nel quale l'opera è utilizzata allo scopo a cui è stata destinata, e il Coefficiente d'uso (C_u), funzione della Classe d'uso della costruzione (cfr. paragrafo 2.4.3 delle NTC 2008).

Definizione degli stati limite ultimo (SLU) e di esercizio (SLE) in funzione dell'azione sismica

Nei confronti delle azioni sismiche, sia gli Stati limite di esercizio (SLE) che gli Stati limite ultimi (SLU) sono individuati riferendosi alle prestazioni della costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali e gli impianti.

Gli **STATI LIMITE DI ESERCIZIO (SLE)** comprendono:

- **Stato Limite di Operatività (SLO):** a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali e le apparecchiature rilevanti in relazione alla sua funzione, non deve subire danni ed interruzioni d'uso significativi;
- **Stato Limite di Danno (SLD):** a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali e le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, subisce danni tali da non mettere a rischio gli utenti e da non compromettere significativamente la capacità di resistenza e di rigidezza nei confronti delle azioni verticali ed orizzontali, mantenendosi immediatamente utilizzabile pur nell'interruzione d'uso di parte delle apparecchiature.

Gli **STATI LIMITE ULTIMI (SLU)** comprendono:

- **Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV):** a seguito del terremoto la costruzione subisce rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e significativi danni dei componenti strutturali cui si associa una perdita significativa di rigidezza nei confronti delle azioni orizzontali; la costruzione conserva invece una parte della resistenza e rigidezza per azioni verticali e un margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni sismiche orizzontali;
- **Stato Limite di prevenzione del Collasso (SLC):** a seguito del terremoto la costruzione subisce gravi rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e danni molto gravi dei componenti

strutturali; la costruzione conserva ancora un margine di sicurezza per azioni verticali ed un esiguo margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni orizzontali. Le probabilità di superamento nel periodo di riferimento P_{VR} cui riferirsi per individuare l'azione sismica agente in ciascuno degli stati limite considerati, sono riportate nella tabella seguente (fig. 29).

Stati Limite		P_{VR} - Probabilità di superamento del periodo di riferimento V_R
Stato Limite di Esercizio	SLO	81%
	SLD	63%
Stato Limite Ultimo	SLV	10%
	SLC	5%

Figura 29 - Probabilità di superamento di un valore di accelerazione orizzontale al bedrock in funzione dello stato limite considerato (Tabella 3.2.1 delle NTC 2008)

Calcolo del Tempo di Riferimento (T_R) dell'azione sismica

Le azioni sismiche sulle opere vengono valutate in relazione ad un periodo di riferimento V_R che si ricava puntualmente moltiplicando la Vita Nominale (V_N) per il Coefficiente d'Uso (C_U).

$$V_R = V_N \times C_U$$

La vita nominale di un'opera strutturale V_N è intesa come il numero di anni nel quale la struttura, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, deve potere essere usata per lo scopo al quale è destinata. La vita nominale dei diversi tipi di opere è quella riportata nella tabella seguente (fig. 30).

TIPI DI COSTRUZIONE		Vita Nominale V_N (in anni)
1	Opere provvisorie – Opere provvisionali -Strutture in fase costruttiva	≤ 10
2	Opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali e dighe di dimensioni contenute o di importanza normale	≥ 50
3	Grandi opere, ponti, opere infrastrutturali e dighe di grandi dimensioni o di importanza strategica	≥ 100

Figura 30 - Vita nominale delle opere (Tabella 2.4.1 delle NTC).

L'opera in progetto appartiene alle opere ordinarie e quindi con **$V_N \geq 50$** .

In presenza di azioni sismiche, con riferimento alle conseguenze di una interruzione di operatività o di un eventuale collasso, le costruzioni sono suddivise in classi d'uso così definite (fig. 31):

Classe	Descrizione
Classe I	Costruzione con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli
Classe II	Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie che e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III in Classe d'uso IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.
Classe III	Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe d'uso IV. Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso.

Classe	Descrizione
Classe IV	Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente. Reti viarie di tipo A o B, di cui al D.M. 5 novembre 2001, n. 6792, "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade", e di tipo C quando appartenenti ad itinerari di collegamento tra capoluoghi di provincia non altresì serviti da strade di tipo A o B. Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico. Dighe connesse al funzionamento di acquedotti e a impianti di produzione di energia elettrica.

Figura 31 – Definizione delle classi d'uso

Secondo le definizioni riportate nella tabella precedente (fig. 13) l'opera ricade in **classe II**, "Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti".

Applicando la seguente formula:

$$T_R = (1 - P_V) = C_U \times V_N / \ln(1 - P_V) 1$$

si ottiene il periodo di riferimento. Nella tabella seguente (fig. 32), sulla base delle classi d'uso, della vita nominale e dei relativi valori di V_N e C_U , si riportano i valori di riferimento.

Vita nominale	Classe d'Uso dell'opera	Periodo di riferimento per l'azione sismica	Rif. legislativo
Opere ordinarie di importanza normale $V_N \geq 50$ anni	Classe II $C_U = 1$	$V_R \geq 75$	N.T.C. Tab. 2.4.I/ Istruzioni N.T.C./Decreto dal capo dipartimento della Protezione Civile nr. 3685 del 21/10/2003.

Figura 32 - Classi d'uso e tempi di riferimento

In relazione ai diversi stati limite si ottengono i tempi di ritorno T_R (fig. 33).

Stati limite d'esercizio SLE	SLO	$T_R = 30$ anni
	SLD	$T_R = 50$ anni
Stati limite ultimi SLU	SLV	$T_R = 475$ anni
	SLC	$T_R = 975$ anni

Figura 33 - Valori di T_R per i diversi stati limite calcolati per $V_R \geq 50$

Le probabilità di superamento di un valore di accelerazione orizzontale (P_{VR}) nel periodo di riferimento dell'opera (V_R) sono funzione dell'importanza dell'opera e dello stato limite considerato (cfr. § 7.1 delle NTC 2008).

Da tali assunzioni sono stati calcolati i valori dei periodi di ritorno (T_R) per i due stati limite considerati mediante la formula:

$$T_R = - V_R / \ln(1 - P_V)$$

Categorie sismiche di sottosuolo

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, l'effetto della risposta sismica locale si valuta mediante specifiche analisi, da eseguire con le modalità indicate nel § 7.11.3.

In alternativa, qualora le condizioni stratigrafiche e le proprietà dei terreni siano chiaramente riconducibili alle categorie definite nella Tab. 3.2.II, si può fare riferimento a un **approccio semplificato** che si basa sulla classificazione del sottosuolo in funzione dei valori della velocità di propagazione delle onde di taglio V_s .

I valori di V_s sono ottenuti mediante specifiche prove oppure, con giustificata motivazione e limitatamente all'approccio semplificato, sono valutati tramite relazioni empiriche di comprovata affidabilità con i risultati di altre prove in sito, quali ad esempio le prove penetrometriche dinamiche per i terreni a grana grossa e le prove penetrometriche statiche.

La classificazione del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio $V_{s,eq}$ (in m/s) come previsto dalle NTC2018 (fig. 16).

Categoria A

Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.

Categoria B

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

Categoria 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.

Categoria D

Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente 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 100 m/s e 180 m/s.

Categoria E

Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.

Figura 34 – Categorie di sottosuolo da D.M. 17.01.2018

La norma vigente individua, pertanto, cinque classi di riferimento, in funzione della natura e di specifici parametri di comportamento meccanico dei terreni. Tale comportamento induce modifiche sul segnale sismico con variazioni dell'accelerazione di picco e del contenuto in frequenza.

Per la scelta della categoria sismica del terreno di fondazione si evidenzia che, sulla base di altre verifiche eseguite nel settore in esame o in aree ad esso adiacenti, i terreni di fondazione dei supporti dell'impianto fotovoltaico sono attribuibili alla **categoria sismica B**.

Una volta definita la categoria sismica del terreno di possono utilizzare i valori riportati nella tabella seguente (tab. 3.2.IV -NTC2018) per la definizione dei parametri (fig. 35):

- **Ss** Coefficiente di amplificazione stratigrafica (necessario per calcolare l'accelerazione di picco al

suolo (a_{gs} o **PGA**);

- **Cc** Coefficiente funzione della categoria di sottosuolo C_c , necessario per il calcolo del periodo T_C e quindi della velocità orizzontale massima attesa al suolo (V_g o **PGV**).

Categoria sottosuolo	S_s	C_c
A	1,00	1,00
B	$1,00 \leq 1,40 - 0,40 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,20$	$1,10 \cdot (T_C^*)^{-0,20}$
C	$1,00 \leq 1,70 - 0,60 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,50$	$1,05 \cdot (T_C^*)^{-0,33}$
D	$0,90 \leq 2,40 - 1,50 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,80$	$1,25 \cdot (T_C^*)^{-0,50}$
E	$1,00 \leq 2,00 - 1,10 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,60$	$1,15 \cdot (T_C^*)^{-0,40}$

Figura 35 - Definizione dei parametri sismici S_s e C_c (NTC2018 - Tabella 3.2.IV)

Condizioni topografiche

Per condizioni topografiche complesse è necessario predisporre specifiche analisi di risposta sismica locale. Per configurazioni superficiali semplici si può adottare la classificazione riportata nella tabella 3.2.V delle NTC_2018 (fig. 36).

Categoria topografica	Ubicazione dell'opera o dell'intervento	S_T
T1	-	1,0
T2	In corrispondenza della sommità del pendio	1,2
T3	In corrispondenza della cresta di un rilievo con pendenza media minore o uguale a 30°	1,2
T4	In corrispondenza della cresta di un rilievo con pendenza media maggiore di 30°	1,4

Figura 36 – Valori del Coefficiente di amplificazione topografica S_T (da Tabella 3.2.V - D.M. 17.01.2018)

Le suesposte categorie topografiche si riferiscono a configurazioni geometriche prevalentemente bidimensionali, creste o dorsali allungate, e devono essere considerate nella definizione dell'azione sismica se di altezza maggiore di 30 m.

Il coefficiente di amplificazione topografica S_T e il coefficiente di amplificazione stratigrafica S_s sono necessari per il calcolo del valore di accelerazione orizzontale massima attesa al suolo (PGA).

La stima dell'accelerazione di picco in superficie a_{gs} (PGA) lungo il tracciato si ottiene dal prodotto tra il fattore di risposta sismica locale (S) e l'accelerazione orizzontale massima attesa al suolo rigido a_g :

$$a_{gs} = a_g \times S$$

Il coefficiente S , che tiene conto della categoria di sottosuolo e delle condizioni topografiche, può essere calcolato mediante la relazione:

$$S = S_s \times S_T$$

in cui S_s è il coefficiente di amplificazione stratigrafica e S_T è il coefficiente di amplificazione topografica.

Parametri spettrali

Nella tabella successiva (fig. 37), per i vari stati limite, sono indicati i valori dei parametri a_g , F_0 e T_c^* , per la Sardegna estrapolati dalla Tabella A2 delle N.T.C.

Stati limite		Tr	a_g/g	F_0	T_c^*
SLE	SLO	30	0,186	2,61	0,273
	SLD	50	0,235	2,67	0,296
SLU	SLV	475	0,500	2,88	0,340
	SLC	975	0,603	2,98	0,372

Figura 37 - Parametri spettrali: VR \geq 50 anni - Classe d'Uso II

CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Lo studio geologico e sismico eseguito ha consentito di verificare l'idoneità dell'area per il corretto inserimento ambientale dell'intervento all'interno del territorio di "Giuanne Seche", nel territorio comunale di Mores (SS). In conclusione, si riportano, in sintesi, le principali indicazioni scaturite:

- l'analisi litologica ha evidenziato l'esistenza di un modello geologico prevalente di tipo "monostrato", costituito alternativamente da litotipi di consistenza non litoide (bn e OPN) o da litotipi di consistenza litoide (HVN). Laddove presente, il substrato litoide è caratterizzato dalla prevalenza di litotipi vulcanici, tufaceo piroclastici. Si tratta di litotipi di consistenza litoide che risultano essere subaffioranti al di sotto della copertura pedogenetica; quest'ultima talora è in continuità con una zona sommitale di alterazione, prevalentemente costituita da frammenti dell'ammasso roccioso. Lo spessore medio della copertura complessiva (suolo più zona di alterazione superficiale dell'ammasso roccioso) può essere valutato pari a 1÷1.5 metri ma, come evidenziato in altri contesti rilevati, si attendono localizzate e significative variazioni di tale dato. Allo stato delle conoscenze attuali, in assenza di un'adeguata e statisticamente rappresentativa serie di dati stratigrafici, rilevati attraverso indagini dirette e/o indirette non è possibile formulare una cartografia illustrativa di tale dato in considerazione della pressoché totale assenza di scarpate naturali o tagli artificiali del terreno ove si attendono, seppure localizzati, elementi di eterogeneità degli spessori complessivi;
- l'analisi morfologica del settore ha evidenziato che in base alle caratteristiche di acclività, litologia, uso del suolo, idrografia ed idrogeologia, l'area non presenta elementi di instabilità generale del territorio, in atto o potenziali, tali da poter determinare l'insorgere di problematiche di stabilità per il terreno di fondazione e, più in generale, per le aree ad esso circostanti;
- i rilievi relativi all'analisi dell'assetto idrografico ed idrogeologico nel settore d'intervento hanno consentito di escludere la presenza di elementi che potrebbero entrare in conflitto con le opere in progetto. I pali di fondazione delle tettoie fotovoltaiche hanno uno sviluppo verticale con lunghezza limitata a 1÷1.5 metri, largamente inferiore alla profondità di soggiacenza della falda; è quindi esclusa qualsiasi interferenza della struttura di fondazione con la falda idrica sotterranea. Tutto ciò considerato l'area risulta essere pienamente idonea per l'inserimento delle strutture dell'impianto fotovoltaico;
- l'impianto delle strutture relative al campo fotovoltaico comporterà l'esecuzione di lavori di rimodellamento morfologico del terreno dell'area e, più in generale, di movimenti terra (scavi e riporti) che dovranno essere eseguiti considerando che in presenza di settori con morfologia subpianeggiante, caratterizzati da modesti valori di acclività, potrebbe determinare facilmente l'insorgere di ristagni idrici anche per riporti di dimensioni esigue;
- relativamente alla necessità di prevedere il riutilizzo in sito dei materiali movimentati si segnala che il suolo è caratterizzato da elevata componente argillosa-limosa, oltre che da abbondante scheletro ghiaioso-ciottoloso. La frazione argillosa, in prima battuta, ed in assenza di specifiche analisi geotecniche, dovrà essere scartata e non potrà essere utilizzata per la realizzazione di elementi strutturali (ad es.: rilevati stradali, sottofondi piazzali) in considerazione della forte plasticità di tali terreni;
- il sito presenta caratteri geologici, morfologici, idrografici ed idrogeologici che lo rendono pienamente idoneo per l'inserimento dell'impianto fotovoltaico nel territorio.