

PARCO EOLICO

COMUNE DI ISILI
PROVINCIA DEL SUD SARDEGNA (SU)



STUDIO DI IMPATTO AMBIENTALE

Elaborato:

ELABORAZIONI SIA

Relazione sulla pericolosità sismica di base

Codice elaborato:

IS_SIA_A017

Data: Dicembre 2023

Il committente: Sardeolica s.r.l.

Coordinamento: FAD SYSTEM SRL - Società di ingegneria

Dott. Ing. Ivano Distinto

Dott. Ing. Carlo Foddis

Elaborazione SIA:

BIA s.r.l.

Società di ingegneria

Elaborato a cura di:

Dott.ssa Geol. Cosima Atzori

rev.	data	descrizione revisione	rev.	data	descrizione revisione
00	01/12/2023	Emissione per procedura VIA			

SOMMARIO

SOMMARIO.....	2
1. PREMESSA	4
2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO	4
3. STUDI ED INDAGINI DI RIFERIMENTO	4
4. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO GENERALE.....	5
5. INQUADRAMENTO GEOLOGICO	11
6.1. Descrizione del contesto geologico dell'area vasta oggetto di intervento	11
6. INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO	17
9.1 Lineamenti geomorfologici dell'area di studio	18
9.2 Definizione dell'area geomorfologicamente significativa	19
7. INQUADRAMENTO SISMICO	21
7.1. Azione sismica.....	22
7.2. Vita nominale, classi d'uso e periodo di riferimento.....	22
7.3. Amplificazione stratigrafica e topografica.....	23
8. INDAGINI GEOGNOSTICHE.....	25
8.1. Indagini sismiche: MASW	26
8.1.1. Specifiche delle indagini svolte.....	27
8.1.2. Caratteristiche della strumentazione impiegata.....	28
8.1.1. Elaborazione dei dati.....	28
8.1.2. Categorie di sottosuolo - D.M. 19.01.2018 (NTC 2018)	28
8.2. Ubicazione delle indagini eseguite.....	30
8.3. Risultati delle indagini del sito SMT01-TURBINA IS02	31
8.3.1. SMT01-IS02: MASW M1	31
8.4. Risultati delle indagini del sito SMT04-TURBINA IS07	33
8.4.1. SMT04-IS07: MASW M4	33
9. CATEGORIE DI SOTTOSUOLO E PARAMETRI DI PERICOLOSITÀ SISMICA.....	35
10. CONCLUSIONI.....	36

INDICE DELLE FIGURE

Figura 1 Localizzazione del progetto	6
Figura 2 Panoramica nei pressi dell'area di studio.....	6
Figura 3 Localizzazione su foto aerea (Fonte RAS, 2016) dell'area interessata dal progetto	7
Figura 4 Inquadramento topografico su Carta IGM scala 1:25000	8
Figura 5 Inquadramento topografico su C.T.R. RAS scala 1:10000, settore Est - impianto	9
Figura 6 Inquadramento topografico su C.T.R. RAS scala 1:10000, settore ovest - sottostazione	10
Figura 7 – Stralcio della Carta Geologica d'Italia, 1:50.000 – Foglio 540 "Mandas". Nel riquadro l'area di progetto.....	13
Figura 8 – Schema Tettonico dell'area di studio (tratto da Funedda et al., 2013. Note Illustrative Foglio CARG Mandas)	13
Figura 9 Stralcio carta geologica (Fonte RAS).....	16
Figura 10 Schema dell'evoluzione geomorfologica del complesso paleozoico (non in scala)	17
Figura 11 sezione geologica dell'area vasta. vedasi l'evidenza della superficie di spianamento sulle formazioni paleozoiche successiva base d'appoggio dei depositi calcarei mesozoici (Tacchi) (Progetto CARG)	17
Figura 12 Morfologia del paesaggio nei pressi della IS01 e della IS02, l'altipiano calcareo con in primo piano i segni dell'estrazione degli inerti nella cava dismessa in località Balloiana.....	19
Figura 13 Morfologia del paesaggio nei pressi della IS03.....	20
Figura 14 Morfologia del paesaggio nei pressi della IS05.....	20
Figura 15 Carta della pericolosità sismica del territorio nazionale	21
Figura 16 Valori minimi della Vita nominale VN di progetto per i diversi tipi di costruzioni.....	23
Figura 17 Parametri di deformazione dinamici e statici dei terreni determinati tramite misure sismiche.....	32
Figura 18 Parametri di deformazione dinamici e statici dei terreni determinati tramite misure sismiche.....	34

1. PREMESSA

Nell'ambito della redazione del Progetto Definitivo del Parco Eolico dislocato nel territorio comunale di **Isili** – sub-regione del Sarcidano, Provincia del Sud Sardegna (SU), al fine di avere un quadro completo del contesto geologico e geotecnico è stata redatta la presente Relazione sulla Pericolosità Sismica di Base, la cui stesura ottempera quanto previsto dal D.M. del 17/01/2018 recante le nuove Norme Tecniche per le Costruzioni (di seguito NTC2018).

In data 05-06/07/2023 è stata eseguita una prospezione sismica eseguita con la tecnica MASW (stendimenti denominati M1 – M4) al fine di determinare la categoria di sottosuolo.

2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

La presente è redatta in osservanza a quanto stabilito dalla vigente normativa in materia, con particolare riferimento a:

- D.M. LL.PP. 11.03.1988 “Norme Tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii attuali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione in applicazione della Legge 02.02.1974 n°64.
- Circ. Min. LL.PP. n° 30483 del 24.09.1988 – Istruzioni per l'applicazione del D.M. LL.PP.11.03.1988.
- Raccomandazioni, programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche, 1975 – Associazione Geotecnica Italiana.
- D.M. Infrastrutture 17.01.2018 - Norme Tecniche per le Costruzioni. (6.2.1 – Caratterizzazione e modellazione geologica del sito, 6.4.2 Fondazioni superficiali)
- Circ. Min. Infrastrutture e Trasporti 21.01.2019 n°7 – Istruzioni per l'applicazione delle Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al Decreto Ministeriale 17.01.2018.

3. STUDI ED INDAGINI DI RIFERIMENTO

Le informazioni topografiche e geologiche dell'area oggetto della presente sono state ricavate dalle pubblicazioni ufficiali e cartografia tematica esistente. Si elencano di seguito:

- Carta Topografica I.G.M. scala in 1:25000
- Carta Tecnica Regionale in scala 1:10000
- Carta Geologica dell'Italia in scala 1:100000
- Carta Geologica dell'Italia in scala 1:50.000 (CARG).
- Cartografia Geologica di base della R.A.S. in scala 1:25.000

- RAS - Carta dell'Uso del Suolo della Regione Sardegna, 2008
- I.S.P.R.A. - Archivio nazionale delle indagini nel sottosuolo (legge 464/84)
- RAS – Studio dell'Idrologia Superficiale della Sardegna, annali idrologici 1922-2009
- RAS – Autorità di Bacino - Piano Stralcio d'Assetto Idrogeologico
- RAS – Autorità di Bacino - Piano di Tutela delle Acque
- RAS – Autorità di Bacino - Piano Stralcio delle Fasce Fluviali
- Foto aeree, Regione Sardegna

I dati a disposizione sono stati integrati con le informazioni derivanti dai sopralluoghi effettuati dalla scrivente in sito e dagli esiti della campagna di indagini geognostiche eseguita in data **29/05/2023** e **5-6/06/2023** nella zona di interesse.

4. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO GENERALE

Isili si eleva ai margini di un altopiano che si affaccia sulla vallata del Sarcidano, in un paesaggio caratterizzato da estese valli e colline. La superficie pianeggiante, resa fertile da numerosi fiumi e ruscelli, è coltivata soprattutto a cereali e foraggi. Le abbondanti acque del territorio sono imbrigliate dalla diga realizzata nella gola di Is Borrocos (il cui nome è stato erroneamente distorto secondo il lessico campidanese in "Is Barrocos", divenuta poi la denominazione ufficiale dell'invaso), tra il 1985 e il 1991, che, ostruendo il corso del fiume, ha creato un bacino artificiale nel quale spicca un isolotto formatosi per effetto del riempimento dell'invaso, sul quale è presente una vecchia chiesetta (ristrutturata) intitolata a San Sebastiano. Il lago di Is Borrocos viene utilizzato prioritariamente come bacino di acqua potabile e, secondariamente, per la pratica di diverse discipline sportive quali la pesca sportiva, la canoa e le escursioni.

Le pareti ripide o più spesso strapiombanti delle gole che si aprono nel suo territorio, attirano gli appassionati del free climbing. Isili è il capolinea della linea ferroviaria a scartamento ridotto per Cagliari, e della tratta turistica del Trenino Verde per Laconi (sino a poco tempo fa si arrivava sino a Sorgono). Il vecchio percorso della ferrovia che collegava Isili Sarcidano a Villacidro è stato parzialmente trasformato in pista ciclabile panoramica che parte da Isili e raggiunge Barumini.

Nella zona settentrionale del territorio comunale si trova l'area industriale di Perd' 'e Cuaddu, a nord-est della quale sorgerà l'impianto in progetto, purtroppo mai decollata e oggi in gran parte ricoperta da un impianto fotovoltaico per la produzione di energia elettrica. Ancora più a nord è presente una Casa di reclusione con circa 650 ha di terreno forestale e porzioni dedicate al pascolo e alla coltivazione, lavorate dai detenuti.

L'inquadramento cartografico di riferimento è il seguente:

- Cartografia ufficiale dell'Istituto Geografico Militare I.G.M scala 1:25 000. Serie 25 -Fogli: **540 sez. IV "Isili"**;
- Carta Tecnica Regionale scala 1:10 000 - Foglio: **540020 "Nurallao"**.

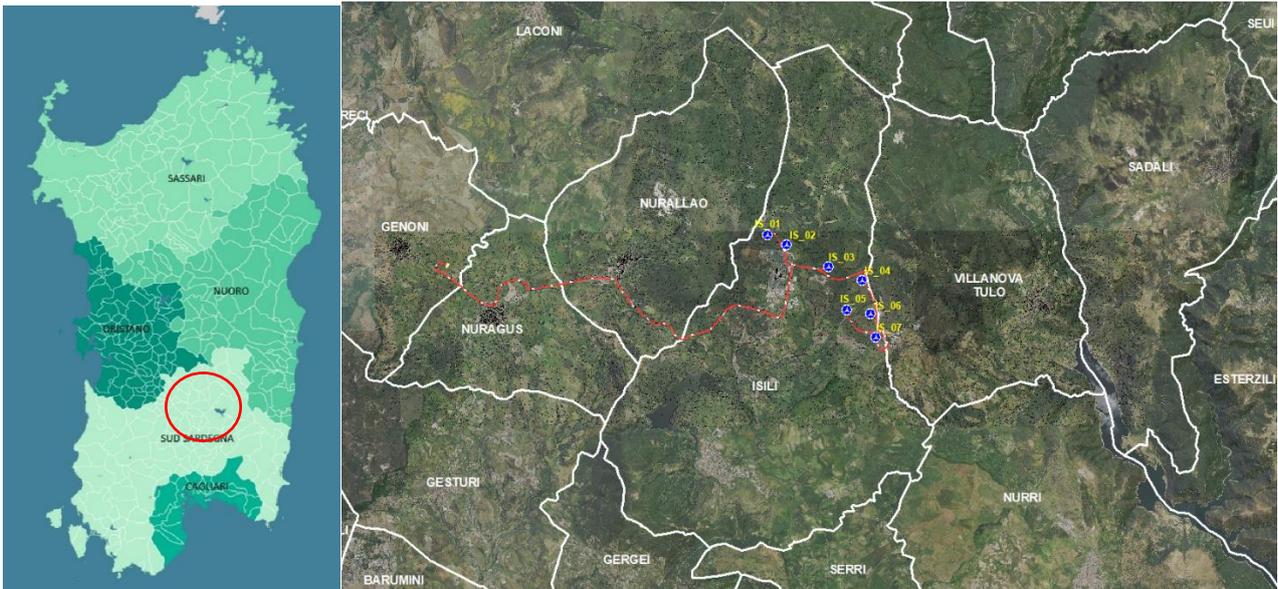


Figura 1 Localizzazione del progetto



Figura 2 Panoramica nei pressi dell'area di studio

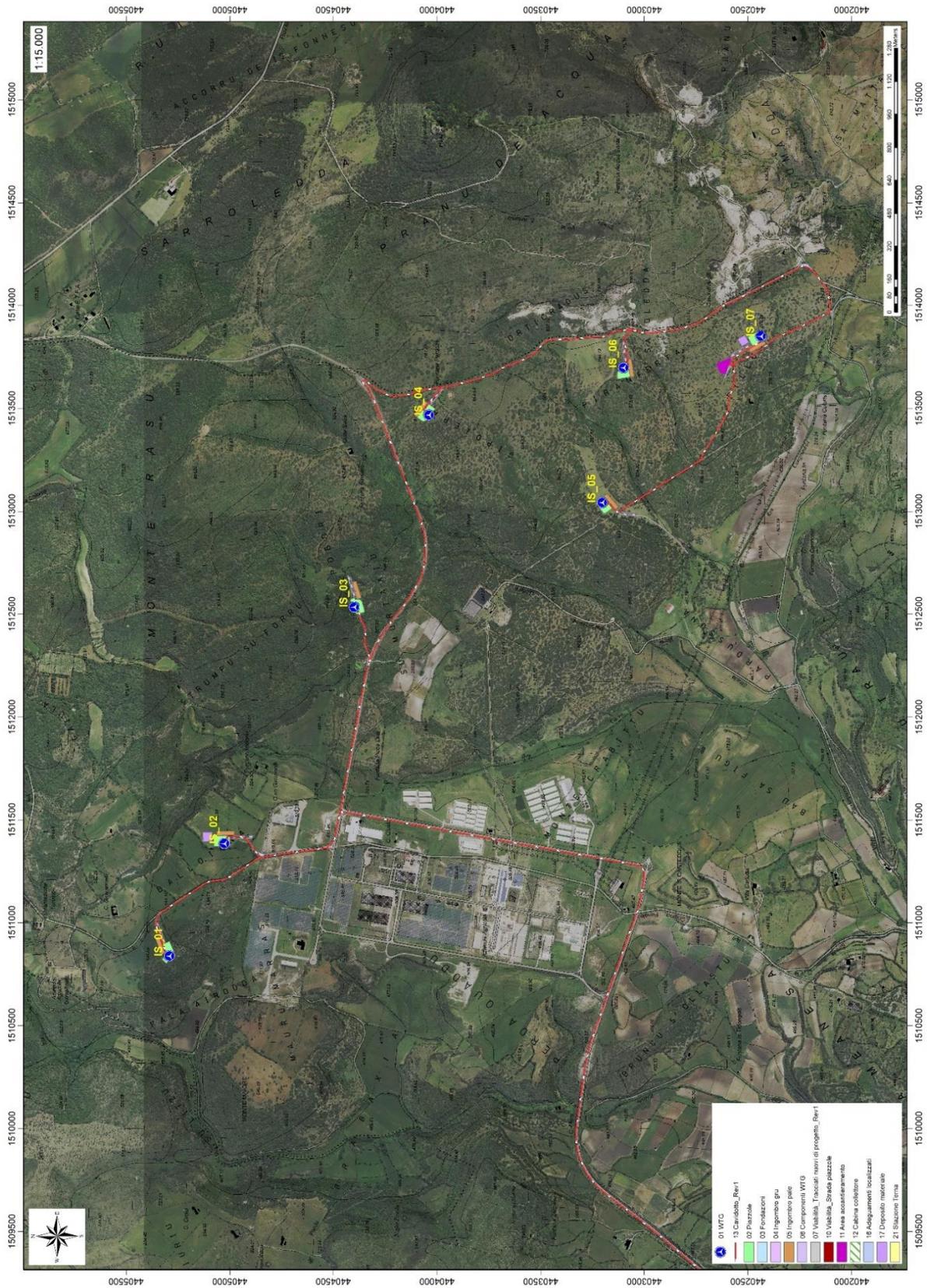


Figura 3 Localizzazione su foto aerea (Fonte RAS, 2016) dell'area interessata dal progetto

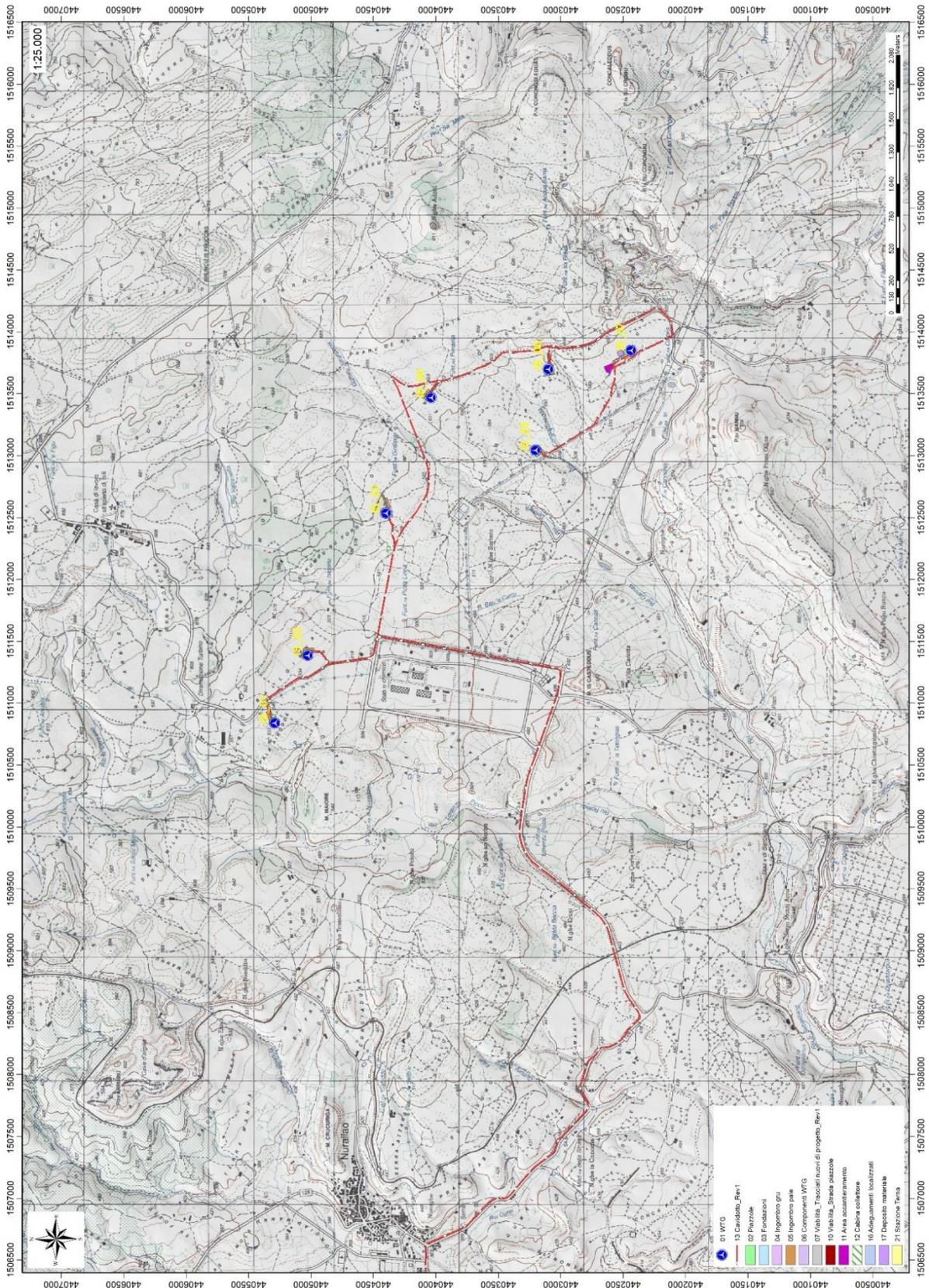


Figura 4 Inquadramento topografico su Carta IGM scala 1:25000

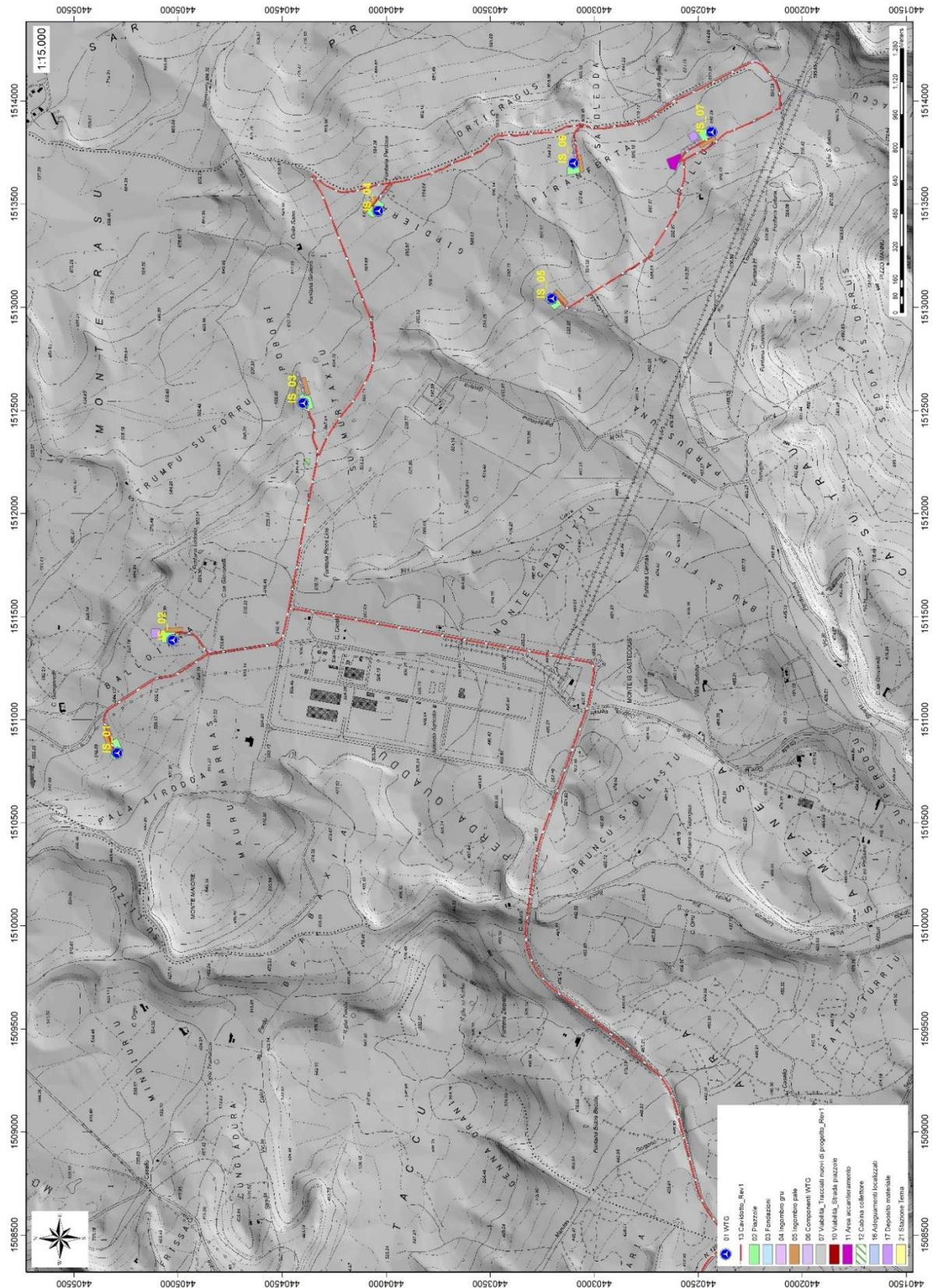


Figura 5 Inquadramento topografico su C.T.R. RAS scala 1:10000, settore Est - impianto

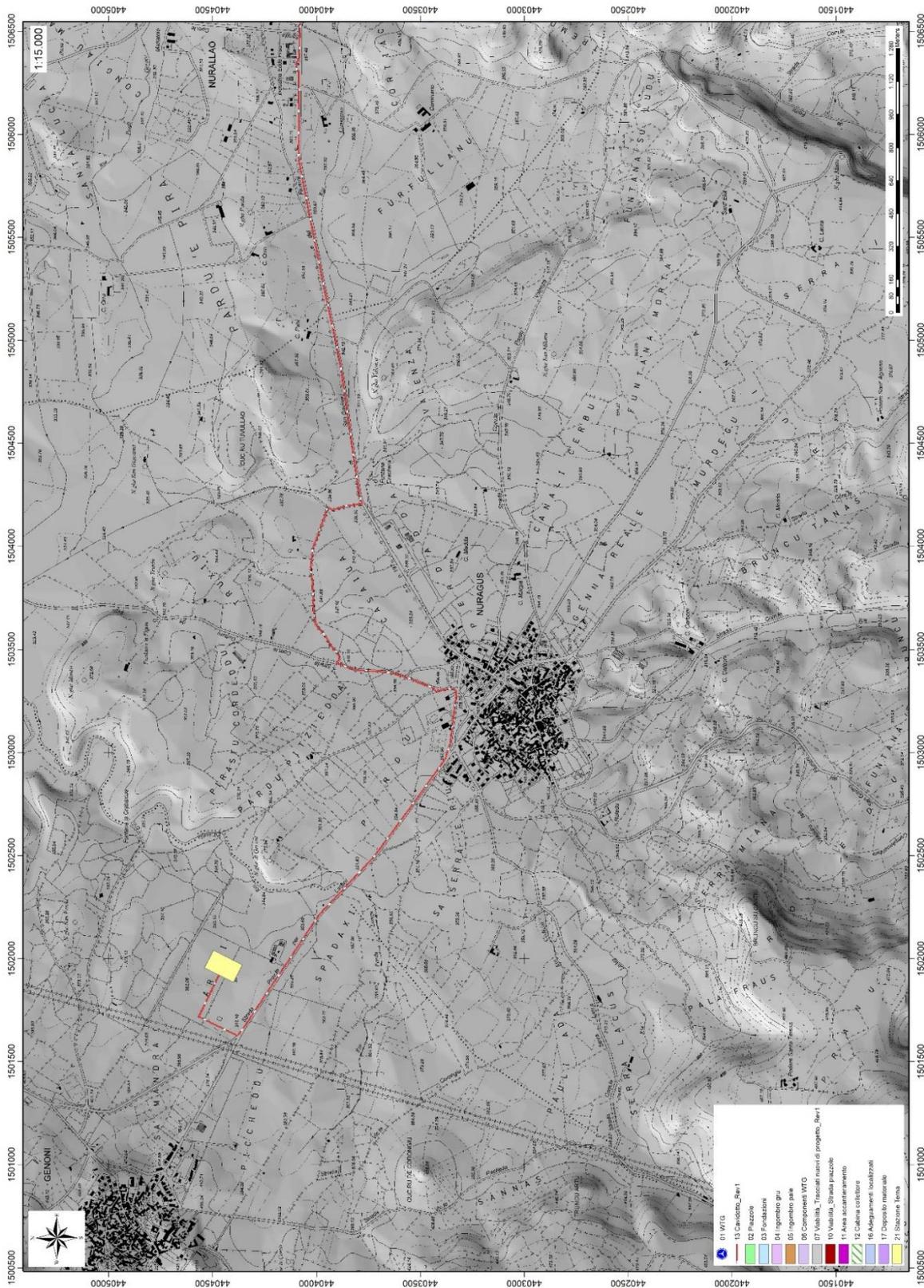


Figura 6 Inquadramento topografico su C.T.R. RAS scala 1:10000, settore ovest - sottostazione

5. INQUADRAMENTO GEOLOGICO

L'obiettivo dell'analisi dell'assetto geologico è quella di caratterizzare geologicamente e geotecnicamente l'area ove verrà installato il parco eolico e quella geomorfologicamente significativa, con particolare riferimento alle condizioni del substrato roccioso, agli scavi ed ai riporti necessari per la realizzazione del sistema di fondazione e delle sue potenziali interazioni con le condizioni al contorno (dinamica geomorfologica, circolazione idrica superficiale e sotterranea, rapporti fra le componenti litologiche interessate) attraverso:

- Definizione dell'assetto geologico-strutturale e idrogeologico di area vasta e dell'area geomorfologicamente significativa;
- Definizione dell'assetto stratigrafico dell'area di sedime delle opere;
- Definizione del modello geologico di sito;

6.1. DESCRIZIONE DEL CONTESTO GEOLOGICO DELL'AREA VASTA OGGETTO DI INTERVENTO

A partire dal Paleozoico si sono susseguiti una serie di eventi geologici sviluppatasi nell'arco di circa mezzo miliardo di anni, che hanno reso la Sardegna una delle regioni geografiche più antiche del Mediterraneo centrale e, morfologicamente e cronologicamente eterogenea.

L'isola riflette pertanto una storia geologica molto articolata, che testimonia, in maniera più o meno completa, alcuni dei grandi eventi geodinamici degli ultimi 400 milioni di anni.

L'orogenesi Caledoniana, la più antica, le cui tracce si rinvengono principalmente nel nord della Gran Bretagna e nella Scandinavia occidentale, fu causata dalla progressiva chiusura dell'oceano Giapeto, a seguito della collisione dei continenti Laurentia, Baltica e Avalonia, dando così origine al super continente Laurussia.

La successiva fase dell'orogenesi Ercinica (o Varisica) ha avuto corso a partire dal Carbonifero, circa 350 Ma fa e si è protratta fino al Permiano determinando un'estesa catena montuosa ubicata tra il Nord America e l'Europa.

Quest'orogenesi ha prodotto in Sardegna tre zone metamorfiche principali. Procedendo dal nucleo orogenetico verso l'avanfossa si trovano le zone dette: Assiale (Sardegna NE) – a Falde interne (Sardegna centrale) - a Falde esterne (Sardegna SW).

Successivamente, tra il Carbonifero Sup. e il Permiano Inf., il basamento paleozoico è soggetto a magmatismo, intrusioni di differente composizione, che danno luogo a un batolite granitico composito, la cui ossatura fondamentale affiora in continuità nella Sardegna Settentrionale e nella Corsica Occidentale.

Nel resto dell'Isola affiorano plutoni isolati, anch'essi composti, di minori dimensioni, quali quelli dell'Iglesiente e del Sarrabus.

L'area di studio ricade nella zona a Falde Esterne del basamento varisico sardo; principalmente è costituita dalle metamorfiti di basso grado, appartenenti all'Unità Tettonica del Gerrei, dalle metamorfiti dell'Unità tettonica di Meana Sardo e da quelle dell'unità di Riu Gruppa, dalle coperture sedimentarie eoceniche, dalle rocce della successione vulcano-sedimentaria Miocenica, e dai depositi quaternari.

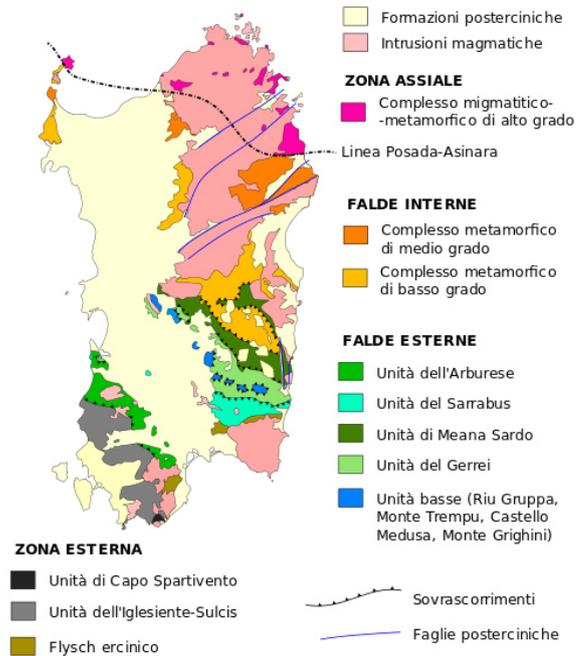
Le Unità Tettoniche affioranti sono costituite da originarie successioni sedimentarie e vulcaniche di età compresa tra il Cambriano e il Carbonifero inferiore.

L'impilamento tettonico delle Falde esterne, nell'area di studio, vede alla base l'Unità tettonica di Riu Gruppa, su cui sovrascorre l'Unità del Gerrei a sua volta sovrascorsa dall'Unità di Meana Sardo. Queste tre unità tettoniche sono caratterizzate da significative differenze nella successione stratigrafica, soprattutto nella successione vulcanica dell'Ordoviciano medio.

L'Unità tettonica del Gerrei è divisa in due sottounità: la Sottounità di Arcu de su Bentu e la Sottounità di M. Lora. Le due sottounità si caratterizzano per la presenza dei Porfiroidi nella sottounità di Arcu de su Bentu e delle Vulcaniti di Monte Santa Vittoria in quella di Monte Lora.

Le unità tettoniche sono interessate da una serie di fasi plicative compressive, tardo compressive e distensive che generano sistemi di pieghe e una foliazione pervasiva di piano assiale. Tra le strutture plicative maggiori che interessano il settore di studio vi è l'Antiforme del Flumendosa al cui nucleo affiora l'unità tettonica di Riu Gruppa.

Il basamento varisico è stato interessato da più fasi di emersione a partire dal Permiano; nel Cretaceo si ha nuovamente emersione, che sembra aver interessato tutta l'isola, che ha generato una lacuna che comprende quasi tutto il Paleocene, ricoperta dai depositi trasgressivi dell'Eocene inferiore e del Miocene, dai prodotti dell'attività vulcanica Pliocenica, e dalle coperture dei depositi quaternari costituiti da depositi di versante coltri eluvio colluviali e depositi alluvionali.



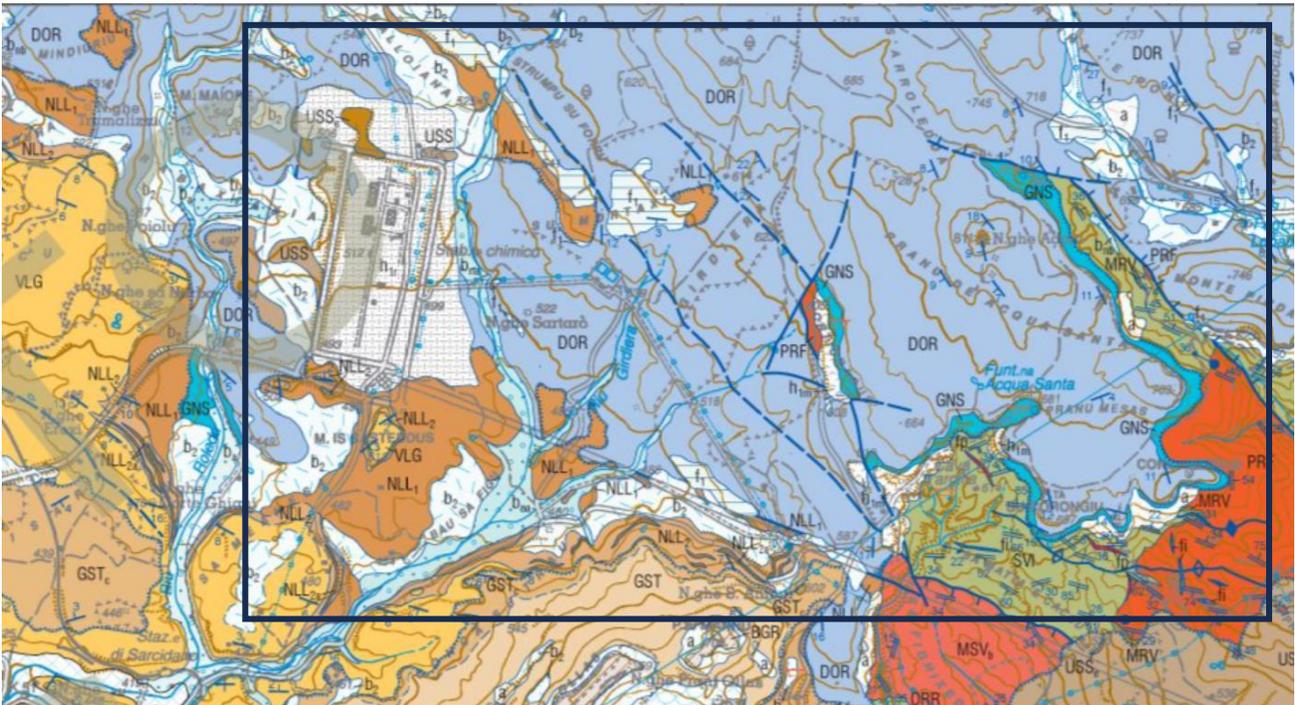


Figura 7 – Stralcio della Carta Geologica d'Italia, 1:50.000 – Foglio 540 “Mandas”. Nel riquadro l'area di progetto

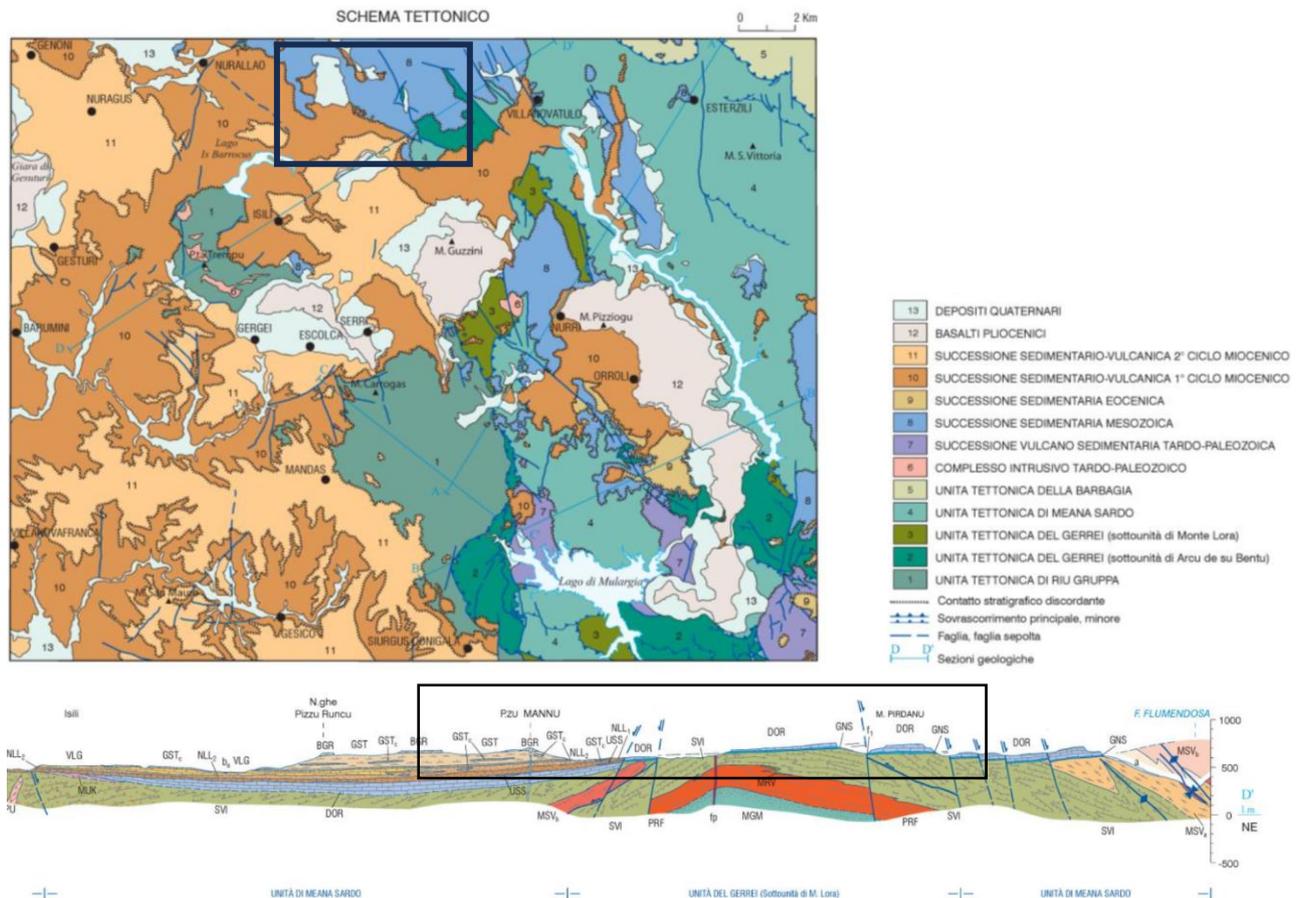


Figura 8 – Schema Tettonico dell'area di studio (tratto da Funedda et al., 2013. Note Illustrative Foglio CARG Mandas)

L'ossatura geologica del territorio di Isili è quindi rappresentata dalle litologie metamorfiche paleozoiche che affiorano sia nel settore Nord che sud del territorio. Tutto il settore centrale del territorio è invece occupato dai depositi sedimentari mesozoici e terziari a cui si sovrappongono prodotti vulcanici delle Giare e tutti i depositi quaternari dei fondi valle (depositi alluvionali) e delle pendici (corpi di frana antichi, depositi detritici, pluvio colluviali) derivati dall'erosione dei rilievi e che si sono depositati nella piana antistante. E proprio nel settore centrale si configura l'area in cui sorgerà l'impianto proposto. Nello specifico, la successione litologica riscontrata nel territorio e uniformata con la nomenclatura ufficiale, può essere così riassunta come segue, dal più recente al più antico:

Depositi quaternari dell'area continentale

- **h1m**, Depositi antropici - Discariche minerarie, Olocene
- **b2**, Coltri pluvio colluviali. Detriti immersi in matrice fine, talora con intercalazioni di suoli più o meno evoluti arricchiti in frazione organica, Olocene
- **ba**, Unità: Depositi alluvionali. Ghiaie da grossolane a medie. OLOCENE,
- **baa**, Unità: Depositi alluvionali terrazzati. Ghiaie con subordinate sabbie. Olocene
- **bnb**, Unità: Depositi alluvionali terrazzati. sabbie, Olocene
- **f1**, Unità: Travertini, depositi carbonatici travertinosi, ben cementati, fitoermali, fitostromali e fitoclastici con tracce di resti vegetali e gusci di gasteropodi, Olocene
- **PVM2a**, Unità: Litofacies nel Subsistema di Portoscuso (SINTEMA DI PORTOVESME). Ghiaie alluvionali terrazzate da medie a grossolane, con subordinate sabbie, Pleistocene sup.

Successioni vulcano sedimentarie oligo - mioceniche

- **GSTc**, Unità: Litofacies nelle Marne di Gesturi. Generalmente alla base della Formazione, arenarie grossolane e conglomerati. Burdigaliano sup. – Langhiano Medio
- **VLG**, Unità: Calcari di Villagreca. Calcari bioclastici e biocostruiti (Bioerme a coralli e briozoi e biostromi ad alghe e molluschi). Aquitaniano inf.
- **NLL2**, Unità: Arenarie di Serra Longa (Formazione di Nurallao). Arenarie da grossolane a microconglomeratiche, con intercalazioni di arenarie silteose. Oligocene sup.- Burdigaliano?
- **NLL2a**, Unità: Litofacies nelle Arenarie di Serra Longa (Formazione di Nurallao). Bancate metriche di arenarie fossilifere e biocalcareniti. Oligocene sup.- Burdigaliano?
- **NLL1**, Unità: Conglomerato di Duidduru (Formazione di Nurallao). Conglomerati poligenici eterometrici e sabbie con locali livelli di biocalcareniti, talora con componente vulcanica. Oligocene sup.- Burdigaliano?
- **USS**, Unità: Formazione di Ussana. Conglomerati e breccie grossolani, eterometrici, prevalentemente a spese di basamento cristallino paleozoico, carbonati giurassici, vulcaniti oligomioceniche e livelli

argilloso – arenacei rossastri talora prevalenti nella base e rari lenti carbonatiche intercalate. Oligocene sup.- Aquitaniano inf.

Successioni sedimentarie mesozoiche e tardo paleozoiche

- **DOR**, Unità: Formazione di Dorgali. Dolomie, dolomie arenacee, calcari dolomitici da litorali a circalitorali con foraminiferi e alghe calcaree. Dogger - Malm.
- **GNS**, Unità: Formazione di Genna Selole. Conglomerati quarzosi molto maturi, con alla base livelli carboniosi e argille. Dogger.

Basamento metamorfico paleozoico

- **SVI**, Unità: Arenarie di San Vito (Unità tettonica di Meana Sardo). Alternanze irregolari da decimetriche a metriche, di metarenarie micacee, quarziti e metasiltiti, e livelli di metaconglomerati minuti quarzosi nella parte alta. Cambiano medio – Ordoviciano Inf.
- **PRF**, Unità: Porfiroidi auct. Metarioliti e metariodaciti con struttura occhiatina, metaepiclastiti. Ordoviciano ? medio.
- **SVI**, Unità: Arenarie di San Vito (Unità Tettonica del Gerrei). Alternanze irregolari di metaquarzoareniti, metarenarie micacee e metapeliti. Livelli di metaconglomerati minuti quarzosi e rari livelli carbonatici intercalati nella parte alta. Cambiano medio – Ordoviciano Inf.

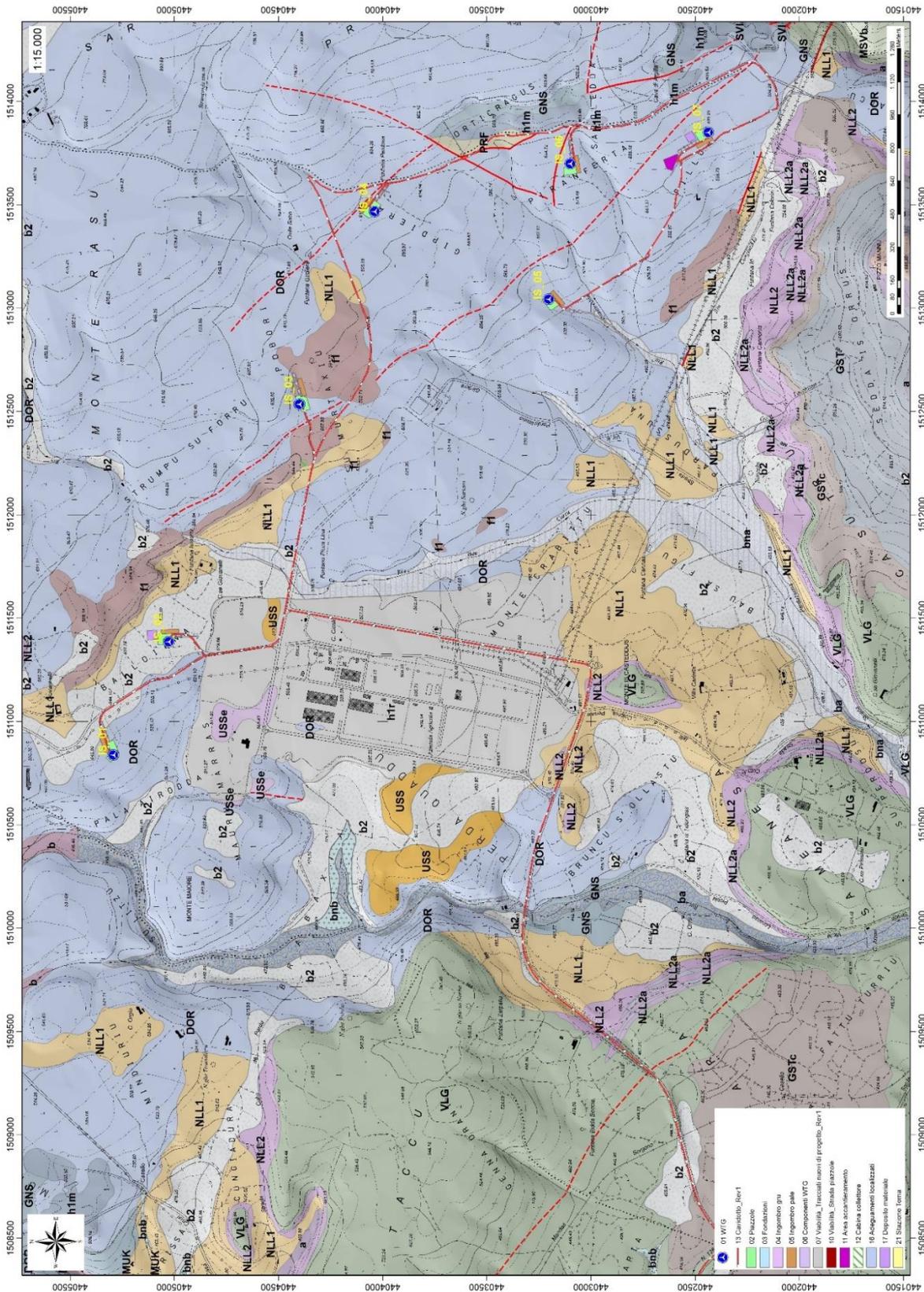


Figura 9 Stralcio carta geologica (Fonte RAS)

6. INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO

La forma prevalentemente pianeggiante di alcuni rilievi presenti nei pressi dell'area di studio sulle litologie plioceniche a nord e paleozoiche a sud est è il risultato della graduale demolizione del rilievo ad opera degli agenti erosivi, avvenuta in diverse fasi temporali, che ha portato alla formazione di una estesa superficie strutturale nota con il nome di "peneplano ercinico" sulle litologie paleozoiche. I successivi fenomeni di sollevamento tettonico, imputabili all'orogenesi alpina, hanno ridefinito la morfologia del paesaggio operando un ringiovanimento del rilievo. La superficie strutturale paleozoica si è quindi trovata ad una quota maggiore.

Questo ha innescato una nuova azione geomorfogenetica ad opera degli agenti atmosferici (acqua, vento in primis) che hanno rimodellato l'altopiano così come lo conosciamo, ovvero solcato da profonde incisioni vallive che riprendono le linee di fratturazione tettoniche, che isolano il settore montano distinguendolo nettamente dalle aree pianeggianti circostanti.

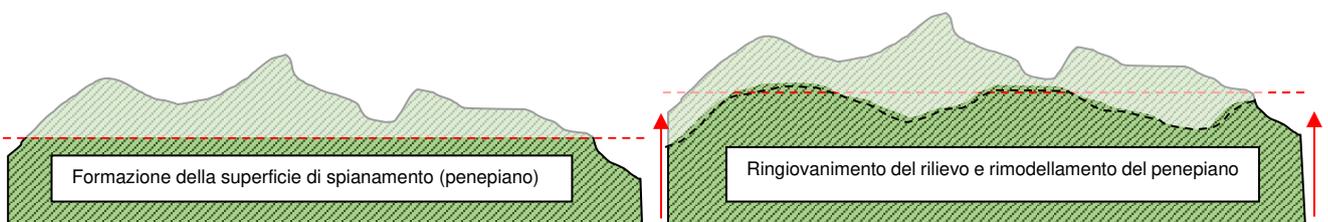


Figura 10 Schema dell'evoluzione geomorfologica del complesso paleozoico (non in scala)

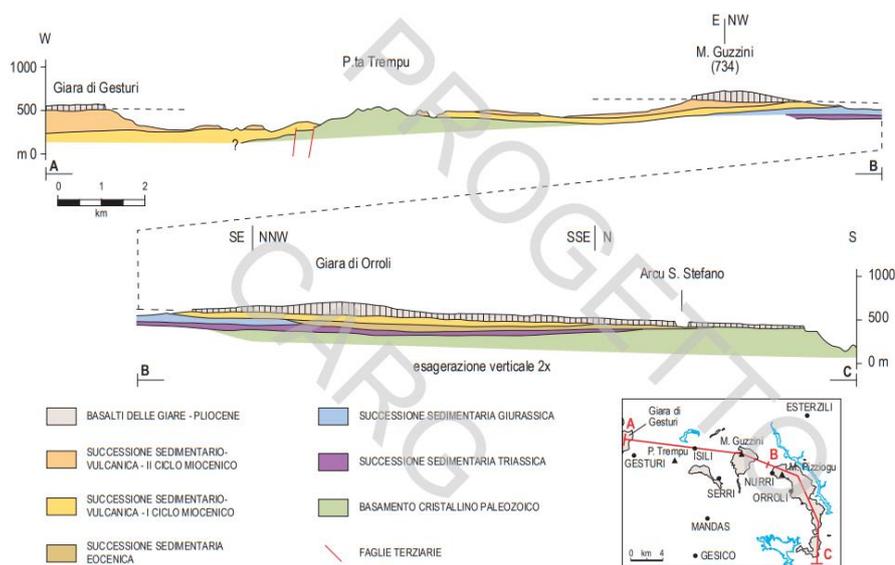


Fig. 73 - Sezione geologica schematica attraverso le Giare basaltiche del Foglio 540 "Mandas". Esagerazione verticale 2x.

Figura 11 sezione geologica dell'area vasta. vedasi l'evidenza della superficie di spianamento sulle formazioni paleozoiche successiva base d'appoggio dei depositi calcarei mesozoici (Tacchi) (Progetto CARG)

I prodotti di erosione sia della prima fase che della seconda e attuale vengono trasportati dall'acqua e dal vento e si depositano in relazione alla loro dimensione e all'energia di trasporto delle acque lungo le pendici dei versanti e nelle valli andando a costituire le coperture sedimentarie. Le morfologie osservabili in quest'area sono strettamente connesse alle caratteristiche di messa in posto delle litologie e dalle caratteristiche fisico-chimiche delle litologie presenti e dalla tipologia ed intensità degli agenti modellanti predominanti.

9.1 LINEAMENTI GEOMORFOLOGICI DELL'AREA DI STUDIO

La geomorfologia dell'area vasta è caratterizzata dalla presenza di una estesa superficie di spianamento che è tuttora ben preservata al di sotto dei basalti delle Giare e delle formazioni calcaree giurassiche. Essa taglia indistintamente tutte le formazioni pre-basaltiche giungendo ad interessare il basamento. Questa morfologia, che interessava larga parte della Sardegna meridionale, costituisce la base di partenza alla successiva evoluzione dell'area. Rappresenta la testimonianza di un'importante fase erosiva, verificatesi al livello del mare e successivamente sollevata da movimenti tettonici.

La messa in posto dei plateaux basaltici e l'esposizione dei tavolati calcarei su questa superficie e il successivo sviluppo di un reticolo idrografico spesso a controllo tettonico, generalmente NW-SE, hanno determinato la morfologia attuale dell'area vasta con rilievi tabulari sub-orizzontali spesso isolati come testimoni di un antico espandimento lavico che interessava diverse centinaia di kmq.

I tratti geomorfologici del settore sud est di studio sono dati da estesi rilievi collinari del basamento paleozoico, incisi dai corsi d'acqua principali e dai loro affluenti. I corsi d'acqua incidono il basamento paleozoico, formando valli con versanti poco acclivi. Il basamento paleozoico che affiora nell'area di studio appare inciso da un reticolo idrografico impostato sui principali lineamenti strutturali, tale aspetto è fortemente connesso con l'evoluzione tettonica dell'intero settore e in particolar modo con l'evoluzione oligo-miocenica e plio-quadernaria.

Le superfici morfologiche principali sono rappresentate da modesti rilievi sub arrotondati e dai resti di un altipiano profondamente disseccato dai processi erosivi lineari. L'originale superficie di spianamento è conservata solo per alcuni tratti mentre nella maggior parte dell'area è riconoscibile solo da rilievi di uguale altezza. I rilievi principali hanno altezze intorno ai 600-700 metri (P.ta Su Corongiu, 697m, P.zu Mannu 708 m, P.ta Corongiu Eguas 763 m, Bruncu Is Fruccas 744m) Monte Maggiore (540m).

Le morfologie che caratterizzano l'area sono legate alla messa in posto dei calcari giurassici della formazione di Dorgali (*mesas* o *Tacchi*) che in questa zona, affiorano spesso con pendenze non trascurabili, generando superfici strutturali inclinate tipo *cuestas* (Tacco di Santa Maria).

Sulle litologie terziarie, la diversa resistenza delle sequenze sedimentarie è responsabile della genesi di versanti a gradini, con cenge e superfici strutturali di minore estensione.

Il reticolo idrografico dell'area di studio mostra valli quasi sempre poco incassate, con prevalente andamento N-S. Alcuni corsi d'acqua presentano un caratteristico andamento a meandri ereditati nel basamento paleozoico per la sovrapposizione a seguito dell'asportazione delle coperture sedimentarie terziarie o, in qualche caso, influenzati dalla litologia. I versanti vallivi modellati negli scisti paleozoici sono localmente asimmetrici.

Laddove invece le litologie sono più tenere e nei depositi terziari e quaternari si osservano morfologie erosive come superfici con solchi di ruscellamento e di dilavamento concentrato.



Figura 12 Morfologia del paesaggio nei pressi della IS01 e della IS02, l'altipiano calcareo con in primo piano i segni dell'attività di movimento terra in località Balloiana

9. 2 DEFINIZIONE DELL'AREA GEOMORFOLOGICAMENTE SIGNIFICATIVA

L'area geomorfologicamente significativa per le azioni di progetto è quell'area in cui si esplicano tutti i processi geomorfici, il cui effetto può generare interazioni con le dinamiche ambientali. Pertanto, la stessa, nello specifico, si individua nei versanti e nei sub-bacini idrografici presenti che interferiscono con l'opera. La predisposizione naturale di un territorio a fenomeni di instabilità legata alle dinamiche geomorfologiche deriva in generale dall'interazione di diversi fattori come natura geologica dei terreni, loro assetto sia deposizionale che geostrutturale, circolazione delle acque superficiali e sotterranee con la morfologia, cioè la geometria del territorio.

L'area oggetto di intervento, in base delle caratteristiche suddette **non presenta allo stato attuale evidenze di dissesto di natura geologico-geomorfologica in atto**, mentre, potenziali fenomeni di dissesto potrebbero presentarsi con la naturale evoluzione del pendio.



Figura 13 Morfologia del paesaggio nei pressi della IS03



Figura 14 Morfologia del paesaggio nei pressi della IS05

7. INQUADRAMENTO SISMICO

La sismicità indica la frequenza e la forza con cui si manifestano i terremoti, ed è una caratteristica fisica del territorio. Sulla base delle conoscenze relative alla frequenza e all'energia associate ai terremoti che caratterizzano un territorio, si attribuisce un valore di probabilità al verificarsi di un evento sismico di una data magnitudo in un certo intervallo di tempo, possiamo definirne la pericolosità sismica. La pericolosità sismica sarà tanto più elevata quanto più probabile sarà il verificarsi di un terremoto di elevata magnitudo, a parità di intervallo di tempo considerato.

Le conseguenze di un terremoto dipendono anche dalle caratteristiche di resistenza delle costruzioni alle azioni di una scossa sismica. La predisposizione di una costruzione ad essere danneggiata si definisce vulnerabilità. Quanto più un edificio è vulnerabile (per tipologia, progettazione inadeguata, scadente qualità dei materiali e modalità di costruzione, scarsa manutenzione), tanto maggiori saranno le conseguenze.

Infine, la maggiore o minore presenza di beni esposti al rischio, la possibilità cioè di subire un danno economico, ai beni culturali, la perdita di vite umane, è definita esposizione.

Il rischio sismico, determinato dalla combinazione della pericolosità, dalla vulnerabilità e dall'esposizione, è la misura dei danni attesi in un dato intervallo di tempo, in base al tipo di sismicità, di resistenza delle costruzioni e di antropizzazione (natura, qualità e quantità dei beni esposti).

Per quanto concerne la sismicità, ai sensi della normativa di settore citata in precedenza, il territorio comunale di Isili ricade in Zona 4 a bassa pericolosità, vengono indicati i parametri sismici da utilizzare nelle verifiche secondo quanto previsto dalle NTC 2018.

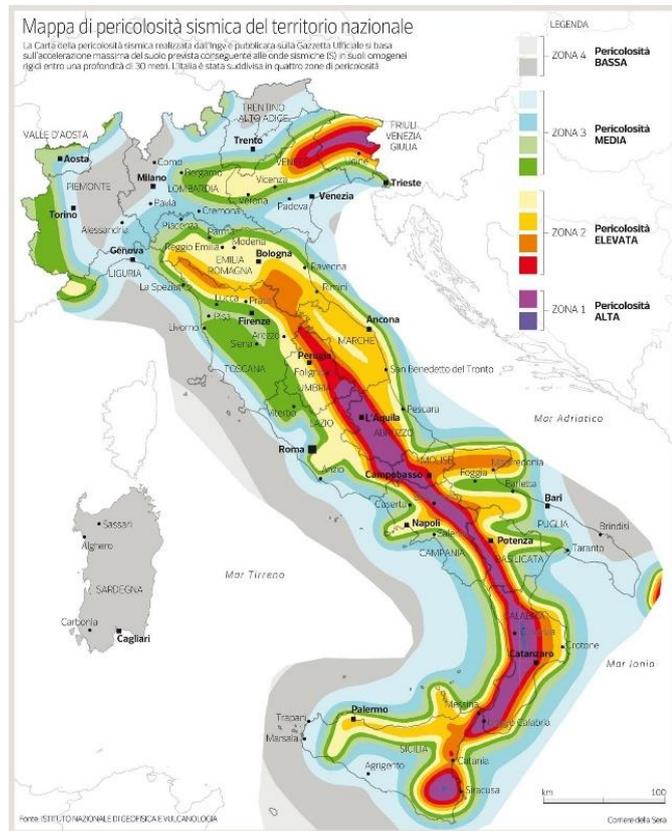


Figura 15 Carta della pericolosità sismica del territorio nazionale

7.1. AZIONE SISMICA

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

Dalla normativa vigente NTC2018 si evince che la pericolosità sismica 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 PVR come definite nel § 3.2.1, nel periodo di riferimento VR, come definito nel § 2.4. inoltre, in alternativa è ammesso l'uso di accelerogrammi, purché correttamente commisurati alla pericolosità sismica locale dell'area della costruzione.

Le forme spettrali sono definite, per ciascuna delle probabilità di superamento PVR nel periodo di riferimento VR, 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.¹

Per i valori di 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.

7.2. VITA NOMINALE, CLASSI D'USO E PERIODO DI RIFERIMENTO

La tipologia di costruzioni previste in progetto (NTC2018 - par.2.4) ha vita nominale ≥ 50 anni e appartiene alla classe d'uso IV.

¹ Per i valori di 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.

TIPI DI COSTRUZIONI		Valori minimi di V_N (anni)
1	Costruzioni temporanee e provvisorie	10
2	Costruzioni con livelli di prestazioni ordinari	50
3	Costruzioni con livelli di prestazioni elevati	100

Figura 16 Valori minimi della Vita nominale V_N di progetto per i diversi tipi di costruzioni.

Classe I: Costruzioni 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 con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III o 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 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 DM 5/11/2001, 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.

Le azioni sismiche su ciascuna costruzione vengono valutate in relazione ad un periodo di riferimento V_R che si ricava, per ciascun tipo di costruzione, moltiplicandone la vita nominale V_N per il coefficiente d'uso C_U :

$$V_R = V_N \times C_U$$

Il valore del coefficiente d'uso C_U è definito, al variare della classe d'uso, come mostrato in Tab. 2.4.II (Figura 5.3). Nel Caso specifico $C_U = 2$.

CLASSE D'USO	I	II	III	IV
COEFFICIENTE C_U	0,7	1,0	1,5	2,0

Tabella 1 Valori di coefficiente d'uso C_U

Il valore del periodo di riferimento è $V_r = 100$

7.3. AMPLIFICAZIONE STRATIGRAFICA E TOPOGRAFICA

Nel caso di pendii con inclinazione maggiore di 15° e altezza maggiore di 30 m, l'azione sismica di progetto deve essere opportunamente incrementata o attraverso un coefficiente di amplificazione topografica o in base ai risultati di una specifica analisi bidimensionale della risposta sismica locale, con la quale si valutano anche gli effetti di amplificazione stratigrafica

Per le aree di installazione delle turbine la categoria topografica è la T1 a cui corrisponde un valore del fattore di amplificazione pari a 1.0.

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$

Tabella 2 Categorie topografiche (NTC 2018 3.2 - Tab. 3.2.II)

Tab. 3.2.V – Valori massimi del coefficiente di amplificazione topografica S_T

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

Tabella 3 Valori massimi del coefficiente di amplificazione topografica S_T (NTC 2018 3.2 - Tab. 3.2.V)

Al fine di definire l'azione sismica di progetto, basata sull'identificazione della categoria del sottosuolo di riferimento, si è voluto definire il parametro fondamentale per la "classificazione sismica dei terreni", e quindi per la determinazione della categoria, corrispondente alla velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio VS30, valutata entro i primi 30 m di profondità dal piano campagna ma nel caso specifico relativa alla quota di imposta delle fondazioni.

Per tale scopo, in accordo agli approcci semplificati proposti dal D.M. 17/01/2018 - Tab. 3.2.II (Figura 5.4) la determinazione del parametro delle onde di taglio VS30 è stato stimato mediante misura delle velocità sismiche attraverso l'esecuzione di quattro prospezioni geofisiche MASW di seguito descritte in dettaglio.

8. INDAGINI GEOGNOSTICHE

La necessità di integrare le informazioni di tipo geologico e geotecnico derivanti da studi pregressi, dalla letteratura di settore e dai rilievi geologici e geostrutturali in sito, ha reso necessario predisporre un piano di indagini geognostiche propedeutiche alla definizione del modello geologico di riferimento di sito funzionale alle opere previste in progetto così come richiamato dalle Norme Tecniche sulle Costruzioni (NTC2018 - §Cap. 6.2.1).

L'obiettivo delle indagini realizzate è stato:

- Definire la stratigrafia ed i rapporti tra le formazioni geologiche interessate dagli interventi;
- Definire le caratteristiche fisico-meccaniche degli ammassi rocciosi coinvolti nelle opere in progetto;
- Individuare la presenza di circolazione d'acqua sotterranea alle profondità di interesse in relazione ai volumi significativi delle opere (fondazioni, piazzole, trincee e rilevati stradali, stabilità dei pendii)

La metodica utilizzata è quella indiretta in sito, ovvero l'indagine geofisica, questa costituisce parte integrante delle indagini geognostiche dirette e indirette legate alla caratterizzazione dei terreni di fondazione. In particolare, si pone come obiettivo la ricostruzione dell'assetto sismo-stratigrafico dei terreni sede di posa delle opere di fondazione nonché la classificazione del suolo di fondazione per le categorie semplificate indicate nel Decreto 17 gennaio 2018 - NTC 2018 aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni".

Sono stati eseguiti di n°2 **stendimenti di sismica** con tecnica **MASW**. È stato inoltre eseguito il Rilievo topografico tramite GPS differenziale STONEX S70G (geofoni, punti di shot, elettrodi /picchetti) e restituzione dei profili altimetrici da impiegare nelle sezioni di tomografia elettrica e sismica. Sono stati infine elaborati i dati ottenuti tramite analisi delle prospezioni acquisite in campagna, applicazione filtri, e restituzione grafica delle sezioni sismiche con l'impiego di software specialistici.

Stendimento	Metodologie	Orientamento	Geofoni/ Picchetti	Interdistanza	Lunghezza(m)
R/M 1 (SMT01)	Rifrazione/Masw	SO-NE	24	3,0	69,0
R2 (ST02)	Rifrazione	SSE-NNO	24	3,0	69,0
R3 (ST03)	Rifrazione	ONO-ESE	24	3,0	69,0
R/M 4 (SMT04)	Rifrazione/Masw	NNO-SSE	24	3,0	69,0
T1 (SMT01)	Tomografia Elettrica	SO-NE	32	3,0	93,0
T2 (ST02)	Tomografia Elettrica	SSE-NNO	32	3,0	93,0
T3 (ST03)	Tomografia Elettrica	ONO-ESE	32	3,0	93,0
T4 (SMT04)	Tomografia Elettrica	NNO-SSE	32	3,0	93,0

Tabella 4 Ubicazione degli stendimenti

8.1. INDAGINI SISMICHE: MASW

Metodologia

La geofisica osserva il comportamento delle onde che si propagano all'interno dei materiali. Un segnale sismico, infatti, si modifica in funzione delle caratteristiche del mezzo che attraversa. Le onde possono essere generate in modo artificiale attraverso l'uso di masse battenti, di scoppi, etc.

Moto del segnale sismico

Il segnale sismico può essere scomposto in più fasi ognuna delle quali identifica il movimento delle particelle investite dalle onde sismiche. Le fasi possono essere:

- P-Longitudinale: onda profonda di compressione;
- S-Trasversale: onda profonda di taglio;
- L-Love: onda di superficie, composta da onde P e S;
- R-Rayleigh: onda di superficie composta da un movimento ellittico e retrogrado.

Onde di Rayleigh – “R”

In passato gli studi sulla diffusione delle onde sismiche si sono concentrati sulla propagazione delle onde profonde (P,S) considerando le onde di superficie come un disturbo del segnale sismico da analizzare. Recenti studi hanno consentito di creare dei modelli matematici avanzati per l'analisi delle onde di superficie in mezzi a differente rigidità.

Analisi del segnale con tecnica MASW

Secondo l'ipotesi fondamentale della fisica lineare (Teorema di Fourier) i segnali possono essere rappresentati come la somma di segnali indipendenti, dette armoniche del segnale. Tali armoniche, per analisi monodimensionali, sono funzioni trigonometriche seno e coseno, e si comportano in modo indipendente non interagendo tra di loro. Concentrando l'attenzione su ciascuna componente armonica il risultato finale in analisi lineare risulterà equivalente alla somma dei comportamenti parziali corrispondenti alle singole armoniche. L'analisi di Fourier (analisi spettrale FFT) è lo strumento fondamentale per la caratterizzazione spettrale del segnale. L'analisi delle onde di Rayleigh, mediante tecnica MASW, viene eseguita con la trattazione spettrale del segnale nel dominio trasformato dove è possibile, in modo abbastanza agevole, identificare il segnale relativo alle onde di Rayleigh rispetto ad altri tipi di segnali, osservando, inoltre, che le onde di Rayleigh si propagano con velocità che è funzione della frequenza. Il legame velocità frequenza è detto spettro di dispersione. La curva di dispersione individuata nel dominio f-k è detta curva di dispersione sperimentale, e rappresenta in tale dominio le massime ampiezze dello spettro.

Modellizzazione

E' possibile simulare, a partire da un modello geotecnico sintetico caratterizzato da spessore, densità, coefficiente di Poisson, velocità delle onde S e velocità delle Onde P, la curva di dispersione teorica la quale lega velocità e lunghezza d'onda secondo la relazione:

$$v = \lambda \times v$$

Modificando i parametri del modello geotecnico sintetico, si può ottenere una sovrapposizione della curva di dispersione teorica con quella sperimentale: questa fase è detta di inversione e consente di determinare il profilo delle velocità in mezzi a differente rigidità.

Modi di vibrazione

Sia nella curva di inversione teorica che in quella sperimentale è possibile individuare le diverse configurazioni di vibrazione del terreno. I modi per le onde di Rayleigh possono essere: deformazioni a contatto con l'aria, deformazioni quasi nulle a metà della lunghezza d'onda e deformazioni nulle a profondità elevate.

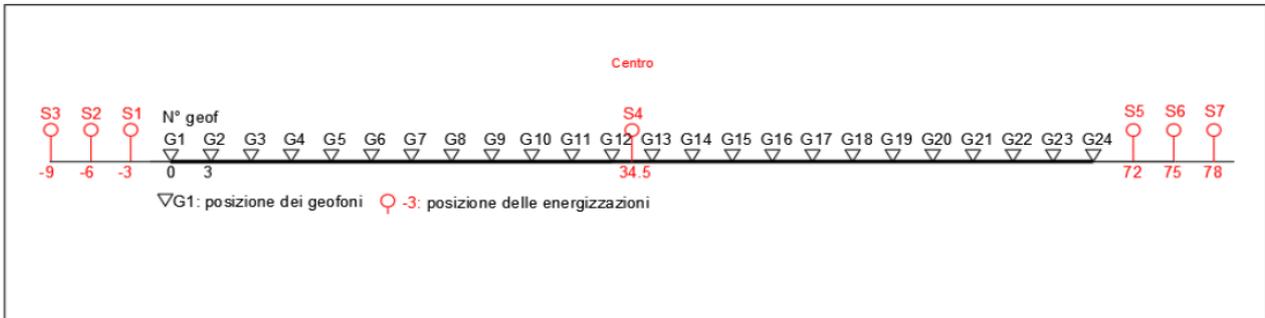
Profondità di indagine

Le onde di Rayleigh decadono a profondità circa uguali alla lunghezza d'onda. Piccole lunghezze d'onda (alte frequenze) consentono di indagare zone superficiali mentre grandi lunghezze d'onda (basse frequenze) consentono indagini a maggiore profondità.

8.1.1. SPECIFICHE DELLE INDAGINI SVOLTE

L'indagine si sviluppa mediante la materializzazione sul terreno di una linea retta mediante la posa di una fettuccia metrica. A seguire vengono posizionati i geofoni intervallati ad una distanza pari a 2,0 m in funzione anche della disponibilità di spazio. Esternamente alla stesa geofonica, da ora base sismica, a distanza di interesse che può essere pari ad un multiplo della distanza intergeofonica ma anche variabile (in funzione delle disponibilità di cantiere), sia in andata (ovvero in prossimità del geofono 1) che al ritorno (ovvero all'ultimo geofono posizionato sulla base sismica), vengono svolte delle energizzazioni mediante massa battente pari a Kg 10,0. Nel caso in esame, sono state svolte le energizzazioni in "andata" e in "ritorno" con distanza dal geofono 1 e dal geofono 24 crescente e pari a multipli della distanza intergeofonica (v. schema), oltre che una battuta al centro della base sismica.

Il numero di geofoni utile all'esecuzione ottimale di un'indagine M.A.S.W. è risultato, per il cantiere svolto, di 24 geofoni dei quali sono state utilizzate tutte le tracce. Il tempo dell'acquisizione è stato definito tra 1.00 e 2.00 secondi.



8.1.2. CARATTERISTICHE DELLA STRUMENTAZIONE IMPIEGATA

Per l'esecuzione del cantiere d'interesse, ci siamo avvalsi di una strumentazione di acquisizione DoReMi, prodotto dalla SARA electronicinstruments, 24bit con frequenza di campionamento 1000 Hz per ognuno dei canali registrati, ciascuno attrezzato con geofoni verticali SARA electronics con frequenza propria di 4.5 Hz. Per l'energizzazione è stata usata una mazza battente da 10 kg impattante su piastra di battuta in duralluminio, diametro 18 cm, spessore 4 cm, peso 2 kg.

8.1.1. ELABORAZIONE DEI DATI

Il metodo interpretativo della M.A.S.W. si compone dei seguenti passaggi di analisi dei segnali acquisiti:

- individuazione della variazione del segnale acquisito nel tempo
- analisi di Fourier con definizione dei contenuti spettrali acquisiti nei segnali
- stacking dello spostamento di fase con definizione delle velocità di rotazione retrograda compatibile con il campo di frequenza definita.

A posteriori dell'analisi matematica del segnale acquisito, definito un modello stratigrafico compatibile con la geologia locale, si provvede all'inversione della curva di dispersione ottenendo la sismo-stratigrafia.

L'elaborazione dei dati che ha prodotto il profilo di velocità è stata realizzata grazie all'impiego del software ZondST2D.

8.1.2. CATEGORIE DI SOTTOSUOLO - D.M. 19.01.2018 (NTC 2018)

Le "Norme Tecniche per le Costruzioni" – Decreto del 19/01/2018 definiscono le regole per progettare l'opera sia in zona sismica che in zona non sismica. 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), definita dall'espressione

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

con:

h_i spessore dell' i -esimo strato;

$V_{s,i}$ velocità delle onde di taglio nell' i -esimo strato;

N numero di strati;

H profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da V_s non inferiore a 800 m/s.

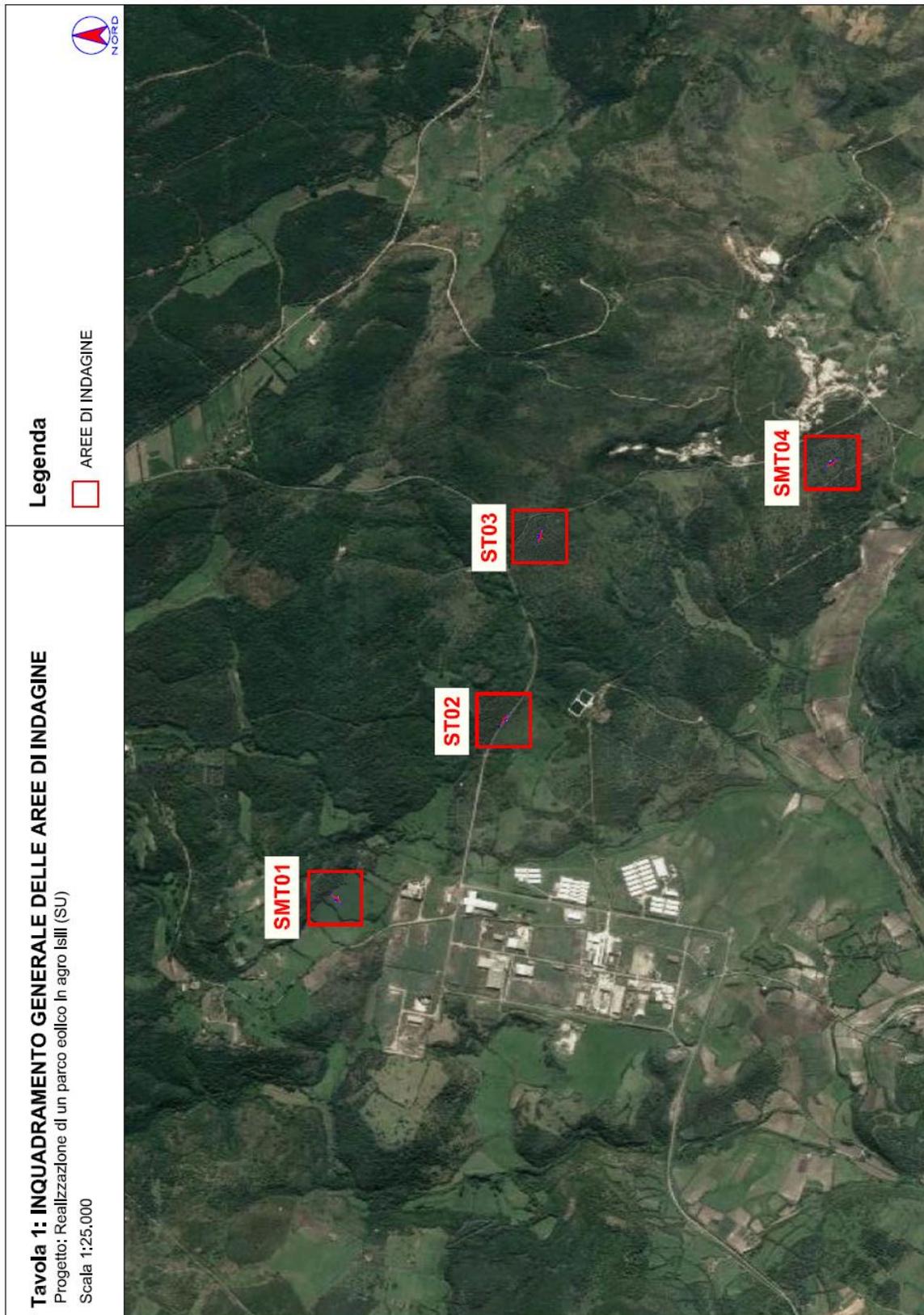
Per le fondazioni superficiali, la profondità del substrato H è riferita al piano di imposta delle stesse, mentre per le fondazioni su pali è riferita alla testa dei pali. Nel caso di opere di sostegno di terreni naturali, la profondità è riferita alla testa dell'opera. Per muri di sostegno di terrapieni, la profondità è riferita al piano di imposta della fondazione.

Le categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato sono definite in Tab. 3.2.II. Per queste cinque categorie di sottosuolo, le azioni sismiche sono definibili come descritto al § 3.2.3 delle NTC 2018. Per qualsiasi condizione di sottosuolo non classificabile nelle categorie precedenti, è necessario predisporre specifiche analisi di risposta locale per la definizione delle azioni sismiche.

Tabella 3.2.II. Categorie di sottosuolo (Fonte NTC 2018)

Categoria	Descrizione
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi</i> 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.
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti</i> , 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.
C	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti</i> 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.
D	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti</i> , 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 e 180 m/s.
E	<i>Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D</i> , con profondità del substrato non superiore a 30 m.

8.2. UBICAZIONE DELLE INDAGINI ESEGUITE



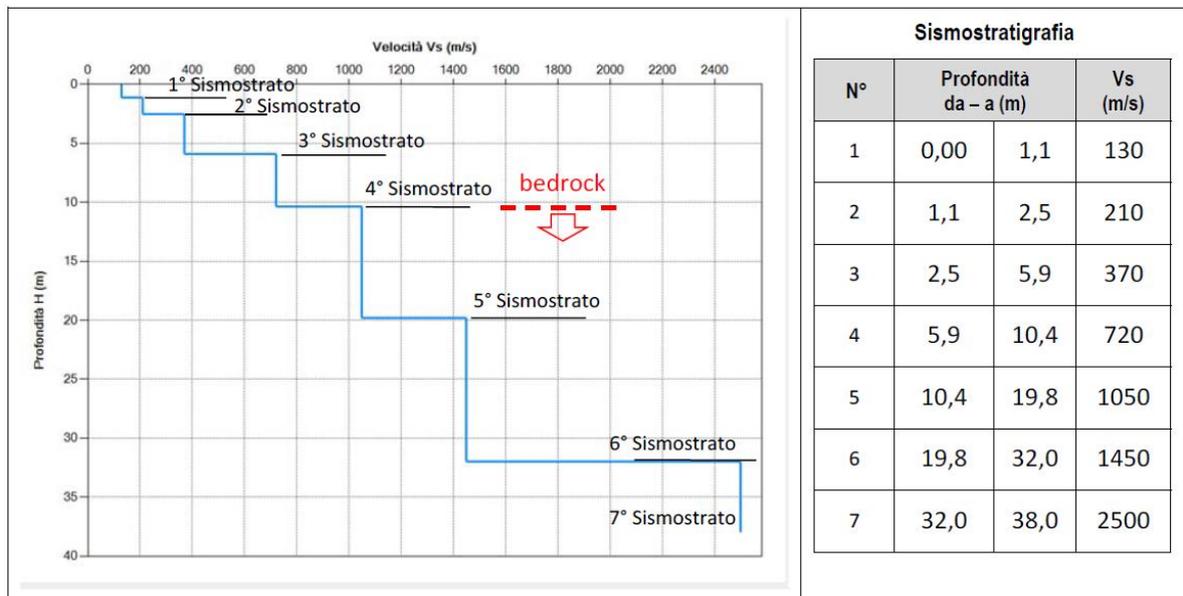
8.3. RISULTATI DELLE INDAGINI DEL SITO SMT01-TURBINA IS02

8.3.1. SMT01-IS02: MASW M1

L'indagine sismica con tecnica MASW ha permesso di ottenere il profilo medio di velocità delle onde di taglio verticali Vs dello stendimento M1, dal quale si possono distinguere i sismostrati di seguito indicati. Si ricorda che si tratta di un profilo medio della velocità di taglio Vs.

Profondità [m sotto il pc]	Descrizione
0,0-1,1	1° sismostrato con Vs di 130 m/s , Terre poco addensate
1,1-2,5	2° sismostrato con Vs di 210 m/s , Terre mediamente addensate
2,5-5,9	3° sismostrato con Vs di 370 m/s , Terre addensate
5,9-10,4	4° sismostrato con Vs di 720 m/s , Substrato roccioso intensamente fratturato
10,4-19,8	5° sismostrato con Vs di 1050 m/s , Substrato roccioso fratturato
19,8-32,0	6° sismostrato con Vs di 1450 m/s , Substrato roccioso da fratturato a sano
32,0-38,0	7° sismostrato con Vs di 2500 m/s , Substrato roccioso sano

MASW M1 - PROFILO Vs



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), definita dall'espressione

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

con:

h_i spessore dell'*i*-esimo strato;

$V_{s,i}$ velocità delle onde di taglio nell'*i*-esimo strato;

N numero di strati;

H profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da Vs non inferiore a 800 m/s.

Esaminato il profilo delle Vs si pone come profondità del substrato **10,4 m** ($V_s > 800$ m/s).

La velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio calcolata per il substrato posto a **10,4 m** di profondità dal p.c. è pari a: $V_{s,eq} = 10,4 / 0,0305 = 340,23$ m/s che dà luogo ad una categoria E, ossia:

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.

Nella **tabella seguente** si illustrano i parametri di deformazione dinamici medi calcolati tramite correlazione bibliografica dei parametri di input Vs, e Vp e densità (da bibliografia/correlazione) per ciascun sismostrato definito dalle indagini eseguite.

Sismostrato	Prof/zona	CT*	Densità γ	Vp	Vs	Coefficiente di Poisson ν	Modulo di Young dinamico Ed	Modulo di Young statico Ed	Modulo di taglio G_0	Modulo di comprimibilità o di Bulk - K
			[Kg/m ³]	[m/s]	[m/s]	[adim]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]
1	0,0-1,1	terre	1.800	260	130	0,33	78	10	29	78
2	1,1-2,5	terre	2.000	420	210	0,33	235	28	88	235
3	2,5-5,9	terre	2.100	740	370	0,33	765	92	284	765
4	5,9-10,4	12%	2.200	1.440	720	0,33	3.040	365	1.138	3.040
5	10,4-19,8	15%	2.350	2.100	1050	0,33	6.914	1.037	2.589	6.914
6	19,8-32,0	22%	2.400	2.900	1450	0,33	13.455	2.960	5.051	13.455
7	>32,0	25%	2.450	5.000	2500	0,33	40.836	10.209	15.308	40.836

Figura 17 Parametri di deformazione dinamici e statici dei terreni determinati tramite misure sismiche

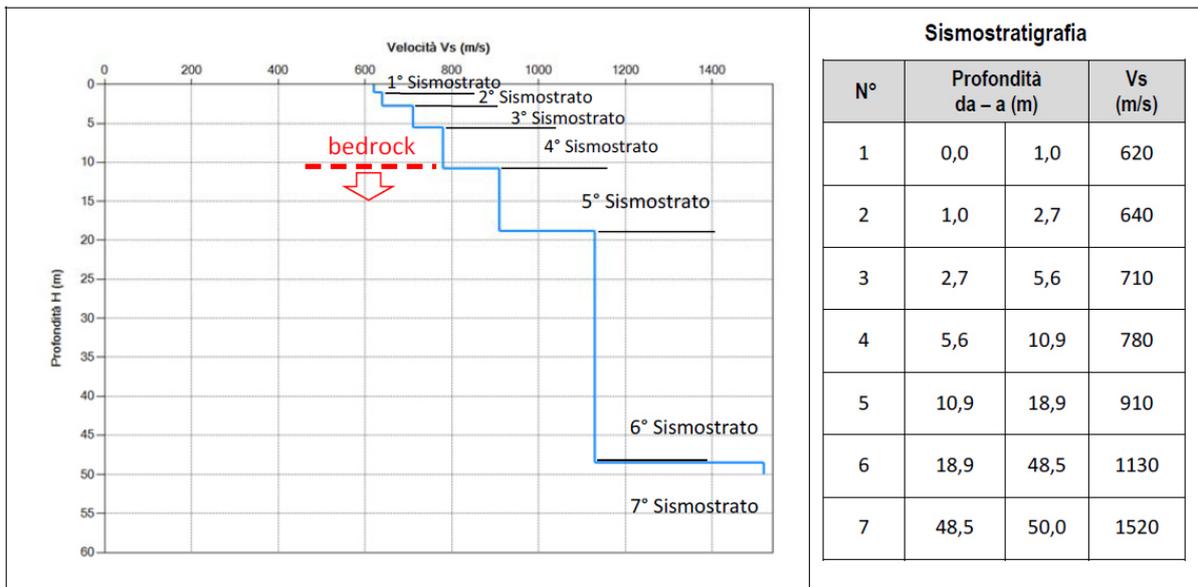
8.4. RISULTATI DELLE INDAGINI DEL SITO SMT04-TURBINA IS07

8.4.1. SMT04-IS07: MASW M4

L'indagine sismica con tecnica MASW ha permesso di ottenere il profilo medio di velocità delle onde di taglio verticali Vs dello stendimento M4, dal quale si possono distinguere i sismostrati di seguito indicati. Si ricorda che si tratta di un profilo medio della velocità di taglio Vs.

Profondità [m sotto il pc]	Descrizione
0,0-1,0	1° sismostrato con Vs di 620 m/s , Terre addensate
1,0-2,7	2° sismostrato con Vs di 640 m/s , Terre mediamente addensate
2,7-5,6	3° sismostrato con Vs di 710 m/s , Terre molto addensate
5,6-10,9	4° sismostrato con Vs di 780 m/s , Substrato roccioso intensamente fratturato
10,9-18,9	5° sismostrato con Vs di 910 m/s , Substrato roccioso fratturato
18,9-48,5	6° sismostrato con Vs di 1130 m/s , Substrato roccioso da fratturato a sano
48,5-50,0	7° sismostrato con Vs di 1520 m/s , Substrato roccioso sano

MASW M4 - PROFILO Vs



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), definita dall'espressione

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

con:

h_i spessore dell'*i*-esimo strato;

$V_{s,i}$ velocità delle onde di taglio nell'*i*-esimo strato;

N numero di strati;

H profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da Vs non inferiore a 800 m/s.

Esaminato il profilo delle Vs si pone come profondità del substrato **10,8 m** ($V_s > 800$ m/s).

La velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio calcolata per il substrato posto a **10,8 m** di profondità dal p.c. è pari a: $V_{s,eq} = 10,8 / 0,01501 = 719,63$ m/s che dà luogo ad una categoria B, ovvero:

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.

Nella **tabella seguente** si illustrano i parametri di deformazione dinamici medi calcolati tramite correlazione bibliografica dei parametri di input Vs, e Vp e densità (da bibliografia/correlazione) per ciascun sismostrato definito dalle indagini eseguite.

Sismostrato	Prof/zona	CT*	Densità γ	Vp	Vs	Coefficiente di Poisson ν	Modulo di Young dinamico Ed	Modulo di Young statico Ed	Modulo di taglio G_0	Modulo di comprimibilità o di Bulk - K
			[Kg/m ³]	[m/s]	[m/s]	[adim]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]
1	0,0-1,0	terre	1.800	1.240	620	0,33	1.844	222	696	696
2	1,0-2,7	terre	2.000	1.280	640	0,33	2.187	264	824	824
3	2,7-5,6	terre	2.100	1.420	710	0,33	2.824	340	1.059	1.059
4	5,6-10,9	12%	2.200	1.560	780	0,33	3.570	428	1.334	1.334
5	10,9-18,9	15%	2.350	1.820	910	0,33	5.188	778	1.942	1.942
6	18,9-48,5	22%	2.400	2.260	1130	0,33	8.169	1.797	3.060	3.060
7	>48,5	25%	2.450	3.040	1520	0,33	15.093	3.773	5.659	5.659

Figura 18 Parametri di deformazione dinamici e statici dei terreni determinati tramite misure sismiche

9. CATEGORIE DI SOTTOSUOLO E PARAMETRI DI PERICOLOSITÀ SISMICA

Attraverso le indagini con la tecnica MASW si evince la presenza di sismostrati con velocità V_s crescente con la profondità sino ad incontrare il bed rock con andamenti e spessori indicati nei precedenti paragrafi. La velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio calcolata per i differenti siti di indagine, che si ricorda sarà anche funzione del piano di posa delle fondazioni è riportata nel seguente schema riassuntivo:

Sigla Stendimento	Profondità substrato [m]	V_{Seq} [m/s]	Categoria sottosuolo (NTC2018)
M1 (SMT01)	10,40	340,23	E
M4 (SMT04)	10,80	719,63	B

Il substrato roccioso ($V_s > 800$ m/s) si rileva profondità variabile tra 10,40m e 10,80m che dà luogo alle categoria E come specificato nello schema sottostante.

Tab. 3.2.II – *Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato.*

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
A	<i>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.</i>
B	<i>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.</i>
C	<i>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.</i>
D	<i>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 e 180 m/s.</i>
E	<i>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.</i>

In base ai dati di localizzazione, tipologia dell'opera e classe d'uso si quindi sono calcolati i parametri sismici relativi alle verifiche SLO, SLD, SLV e SLC:

Stato Limite	Tr [anni]	a_g [g]	Fo	Tc* [s]
Operatività (SLO)	30	0.019	2.610	0.273
Danno (SLD)	35	0.020	2.628	0.280
Salvaguardia vita (SLV)	332	0.045	2.855	0.332
Prevenzione collasso (SLC)	682	0.055	2.930	0.356
Periodo di riferimento per l'azione sismica:	35			

dove:

Stati limite di esercizio

Stato Limite di Operatività (SLO)

Stato Limite di Danno (SLD)

Stati limite ultimi

Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV)

Stato Limite di prevenzione del Collasso (SLC)

a_g accelerazione orizzontale massima al sito

Fo valore massimo del fattore di ampl. dello spettro in accelerazione orizzontale

Tc* periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in acc. orizzontale

10. CONCLUSIONI

Il territorio comunale di **Isili** ricade in **Zona 4 a bassa pericolosità sismica**.

Le indagini condotte hanno permesso di definire le condizioni dei terreni secondo quanto richiesto dalle NTC 2018 in relazione alla pericolosità sismica di base.

I terreni investigati appartengono alla categoria di sottosuolo **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 30m.**