

PARCO EOLICO "MONTE ARGENTU"

COMUNE DI NURRI

PROVINCIA DEL SUD SARDEGNA (SU)



STUDIO DI IMPATTO AMBIENTALE

Elaborato:

ELABORAZIONI SIA

Relazione sulla pericolosità sismica di base

Codice elaborato:

NU_SIA_A016

Data: Febbraio 2023

Il committente: Sardeolica s.r.l.

Coordinamento: FAD SYSTEM SRL - Società di ingegneria

Dott. Ing. Ivano Distinto

Dott. Ing. Carlo Foddis

Elaborazione SIA:

Dott. Ing. Bruno Manca

Elaborato a cura di:

Dott.ssa Geol. Cosima Atzori

rev.	data	descrizione revisione	rev.	data	descrizione revisione
00	18/10/2021	Emissione per consegna			
01	25/02/2023	Revisione nuovo layout			

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	12
6. INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO	19
9.1 Lineamenti geomorfologici dell'area di studio.....	20
9.2 Definizione dell'area geomorfologicamente significativa	21
7. INQUADRAMENTO SISMICO.....	22
5.1 Azione sismica	23
5.2 Vita nominale, classi d'uso e periodo di riferimento	23
5.3 Amplificazione stratigrafica e topografica	24
8. INDAGINI GEOGNOSTICHE	25
15.1 Campagna di prospezione geofisica	26
15.1.1 Programma delle indagini e metodologia di lavoro	26
15.1.3. Indagini sismiche: MASW	27
15.1.3.2. Specifiche delle indagini svolte.....	28
15.1.3.3. Caratteristiche della strumentazione impiegata	29
15.1.3.4. Caratteristiche della strumentazione impiegata	29
15.1.3.5. Categorie di sottosuolo - D.M. 19.01.2018 (NTC 2018)	30
15.1.4. Interpretazione dei dati: MASW.....	30
6.1.1 Parametri di pericolosità sismica	35

INDICE DELLE FIGURE

Figura 1 Localizzazione comune di Nurri	5
Figura 2 Vista dai pressi della N09 verso SW	6
Figura 3 Vista dalla N06 verso est	6
Figura 4 Vista dell'area presso N08.....	6
Figura 5 Localizzazione su foto aerea (Fonte RAS, 2016) dell'area interessata dal progetto, cavidotto e sottostazione.....	7
Figura 6 Localizzazione su foto aerea (Fonte RAS, 2016) dell'area interessata dal progetto, turbine.	8
Figura 7 Inquadramento topografico su Carta IGM scala 1:25000.....	9
Figura 8 Inquadramento topografico su C.T.R. RAS scala 1:10000 – settore Nord.....	10
Figura 9 Inquadramento topografico su C.T.R. RAS scala 1:10000 – settore Sud-Occidentale	11
Figura 10 Schema tettonico-strutturale della Sardegna	12

Figura 11 Carta Geologica settore nord.....	14
Figura 12 Carta Geologica settore sud.....	15
Figura 13 Schema Tettonico dell'area di studio (tratto da Funedda et al., 2013 Note Illustrative Foglio CARG Mandas).....	18
Figura 14 Schema tettonico e sezione geologica SW-NE rappresentativa dell'area vasta di Nurri (Funedda et al., 2013).....	19
Figura 15 Schema dell'evoluzione geomorfologica del complesso paleozoico (non in scala)	19
Figura 16 Morfologia del paesaggio nei pressi dell'area di Studio.....	21
Figura 17 Carta della pericolosità sismica del territorio nazionale	22
Figura 18 Valori minimi della Vita nominale VN di progetto per i diversi tipi di costruzioni.....	24

1. PREMESSA

Nell'ambito della redazione del Progetto Definitivo del Parco Eolico denominato "**Monte Argentu**" dislocato nel territorio comunale di Nurri - Provincia del Sud Sardegna, 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 **21 Aprile 2021** è stata eseguita una prospezione sismica eseguita con la tecnica MASW (stendimenti denominati M1 – M2 – M3) 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 naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione 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. (§3.2. – Azione Sismica).

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 nel foglio 540070, 540100, 540110, 540140 e 540150.
- Carta Geologica dell'Italia in scala 1:100000, nel foglio n°218 "Isili"
- Carta Geologica dell'Italia in scala 1:50.000 (CARG) nel foglio n°540 "Mandas".
- 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 in data tra fine aprile e i primi di maggio del 2021 nella zona di interesse.

4. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO GENERALE

Nurri è un comune della provincia del Sud Sardegna situato nella Sardegna centro-meridionale, e confina con il comune di Esterzili, Isili, Mandas, Orroli, Sadali, Serri, Siurgus Donigala e Villanova Tulo. L'area che interessa le opere in progetto è situata nella periferia sud-ovest dell'abitato di Nurri, in particolare nella porzione del territorio comunale compresa tra gli abitati di Nurri, Orroli, Mandas, e il Lago Mulargia.

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. I "Nurri" e 540 sez. II "Orroli".
- Carta Tecnica Regionale scala 1:10 000 - Fogli: 540070 "Nurri" e 540110 "Stazione Orroli".

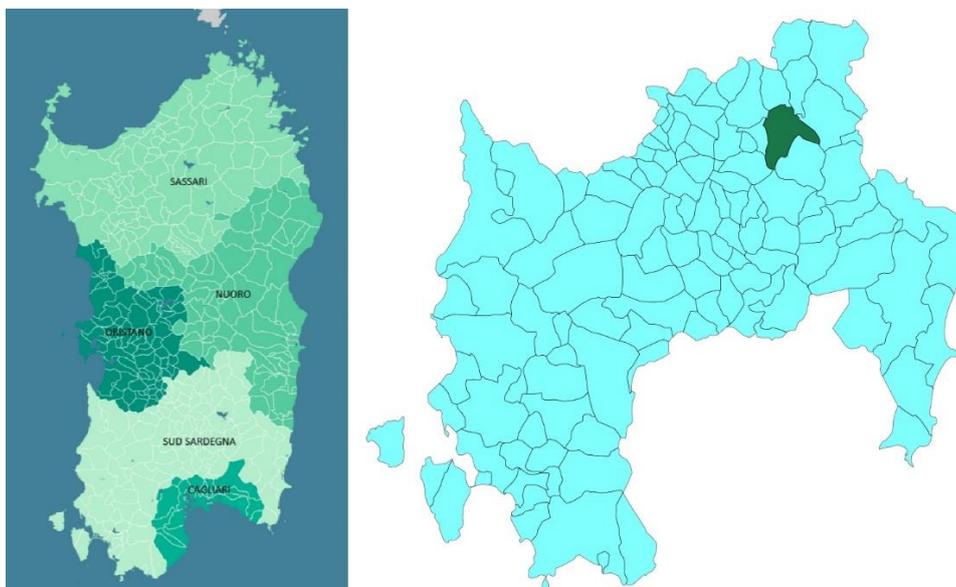


Figura 1 Localizzazione comune di Nurri



Figura 2 Vista dai pressi della N09 verso SW



Figura 3 Vista dalla N06 verso est



Figura 4 Vista dell'area pressi N08



Figura 5 Localizzazione su foto aerea (Fonte RAS, 2016) dell'area interessata dal progetto, cavidotto e sottostazione.

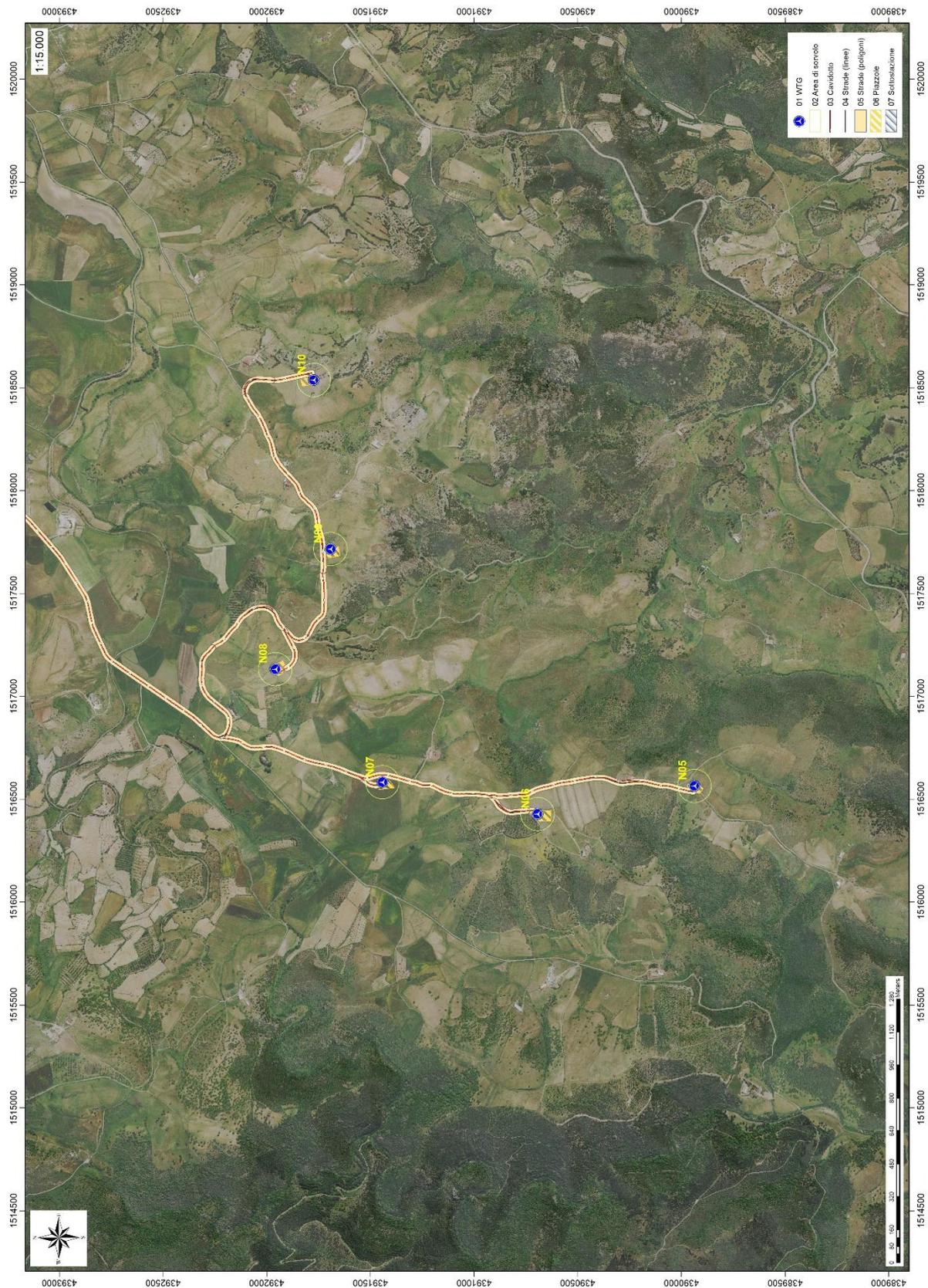


Figura 6 Localizzazione su foto aerea (Fonte RAS, 2016) dell'area interessata dal progetto, turbine.

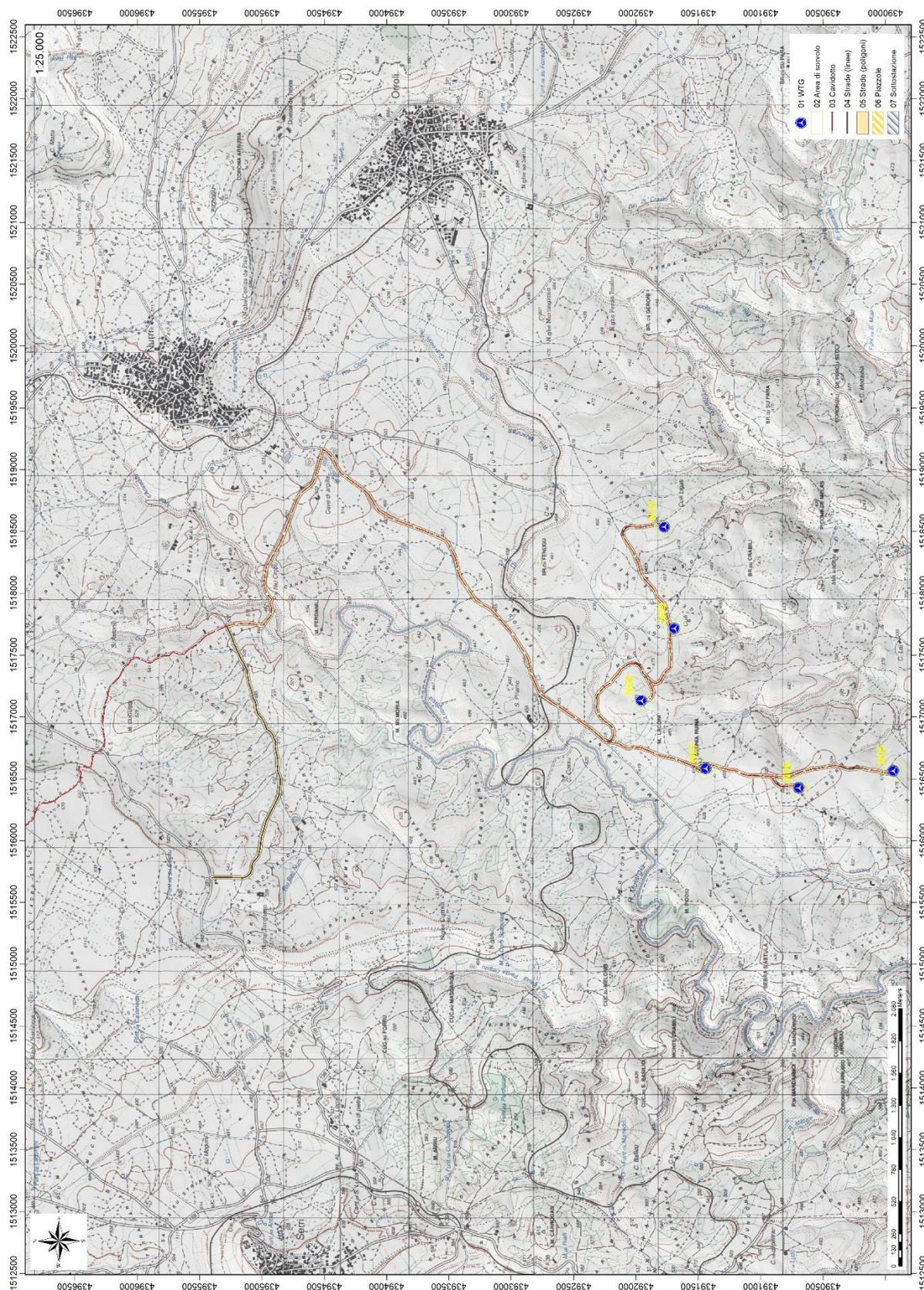


Figura 7 Inquadramento topografico su Carta IGM scala 1:25000

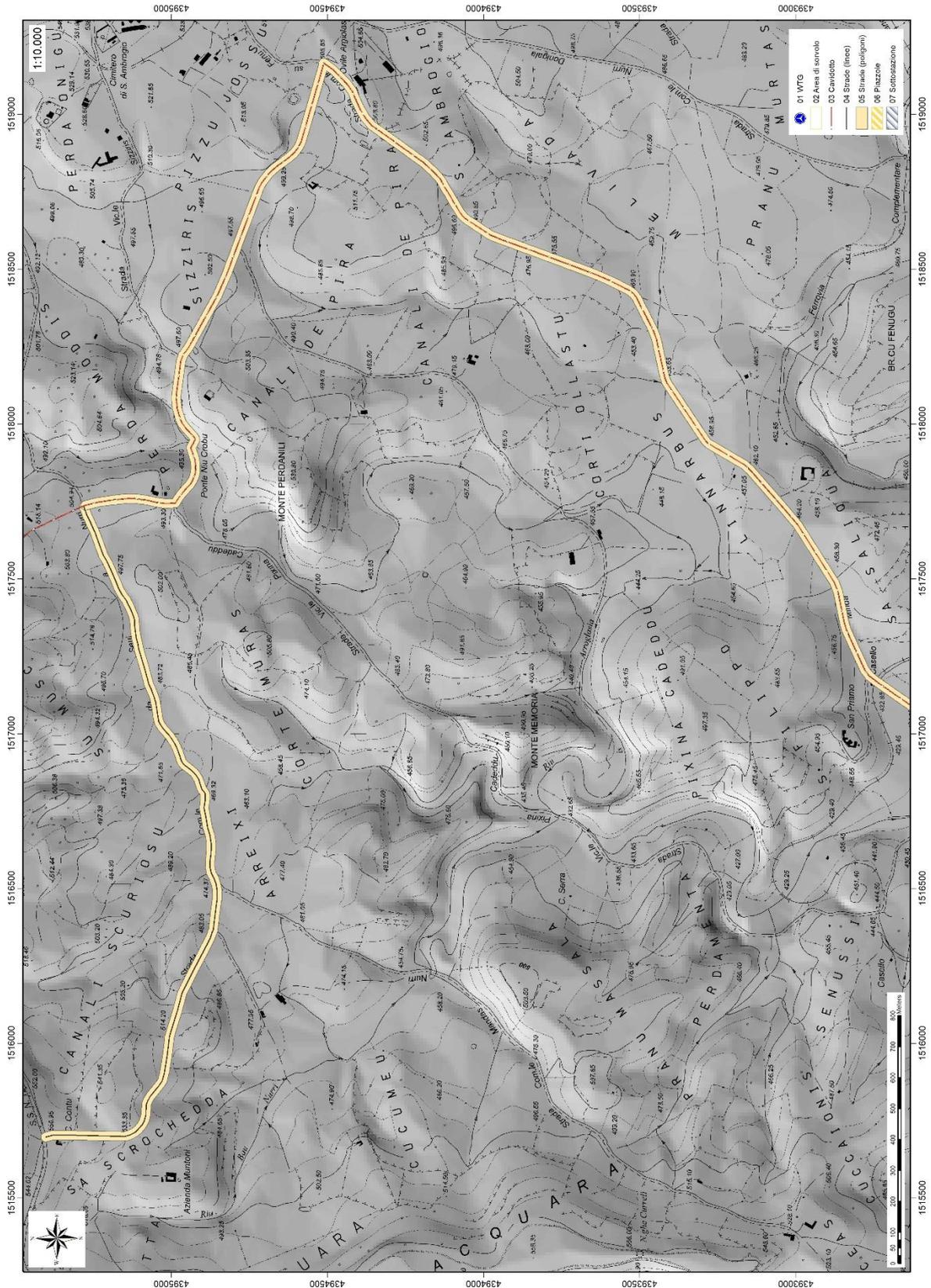


Figura 8 Inquadramento topografico su C.T.R. RAS scala 1:10000 – settore Nord

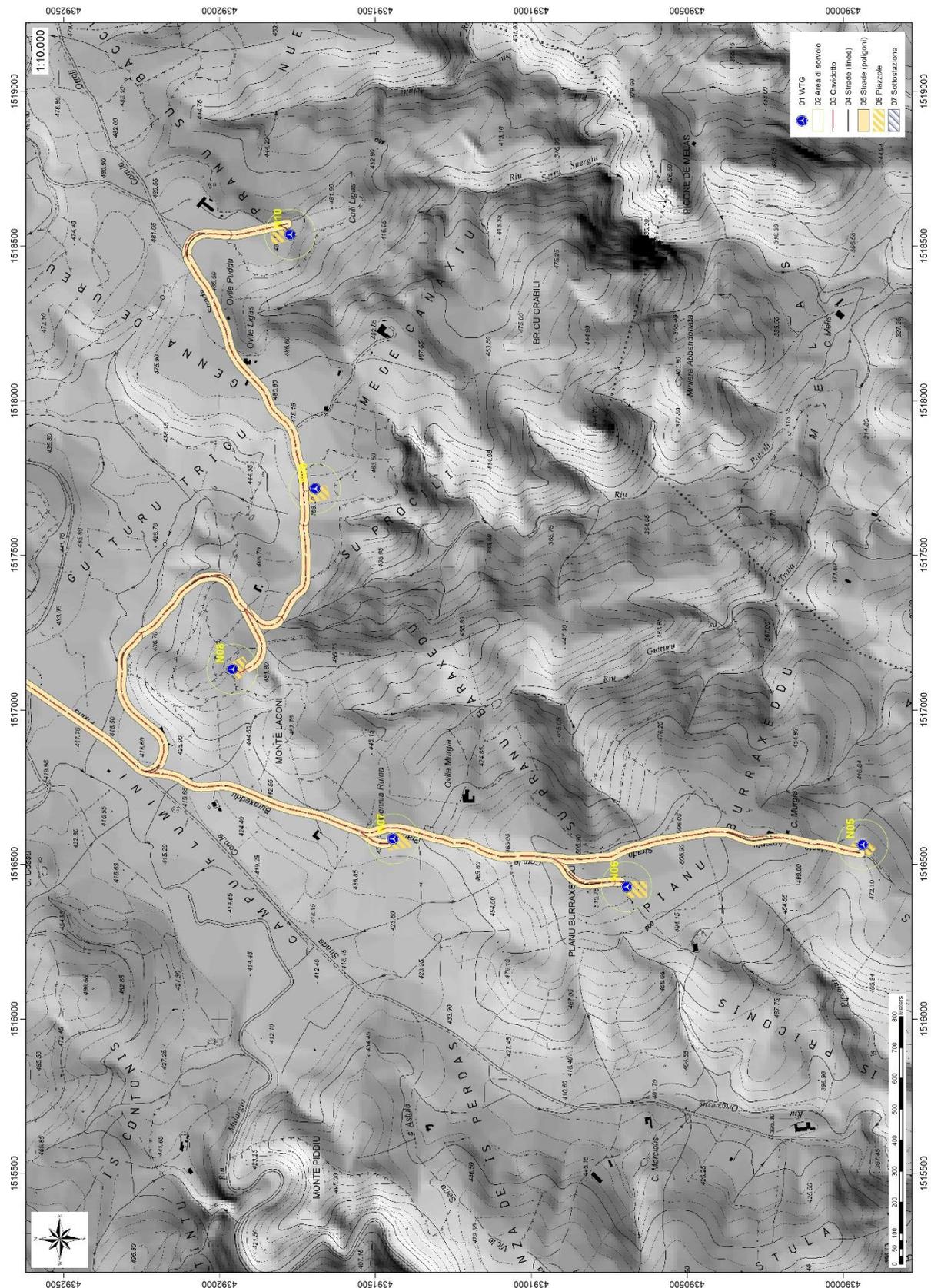


Figura 9 Inquadramento topografico su C.T.R. RAS scala 1:10000 – settore Sud-Occidentale

5. INQUADRAMENTO GEOLOGICO

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 compositi, 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 metamorfite di basso grado, appartenenti all'Unità Tettonica del Gerrei, dalle metamorfite 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.

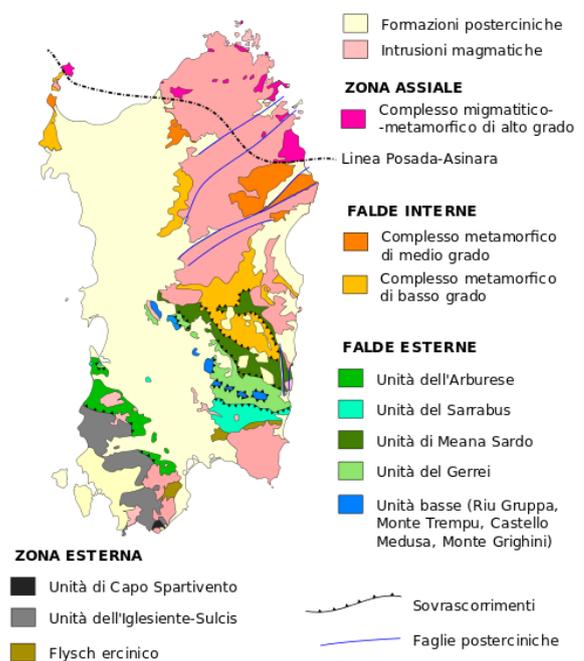


Figura 10 Schema tettonico-strutturale della Sardegna

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 varisco 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.

In particolare, l'area vasta è compresa all'interno delle unità tettoniche di Riu Gruppa, del Gerrei e di Meana Sardo, nelle quali affiorano le litologie descritte di seguito, riportate con la nomenclatura adottata dalla RAS nella stesura della cartografia geologica in scala 1:25000.

Depositi quaternari:

b2 - Coltri eluvio-colluviali. Detriti immersi in matrice fine, talora con intercalazioni di suoli più o meno evoluti, che hanno subito trasporto per gravità nullo o limitato. OLOCENE

a - Depositi di versante. Accumuli detritici eterogenei cementati e sciolti, messi in posto per gravità. OLOCENE

bna - Depositi alluvionali terrazzati. Depositi fluviali: barre ghiaiose (bna). OLOCENE

Successione vulcanica Pliocenica:

BGR – Basalti delle Giare. Basalti da alcalini a sub-alcalini in espandimenti e colate (BGR), con brecce scoriacee prossimali ai centri eruttivi (BGRa), e rari dicchi (M.te Guzzini).

Successione Oligo-Miocenica:

ARX – Formazione di Aragixi: Tufi pomicei grossolani biancastri alla base e tufi cineritici rosati al tetto, ricchi in Bt, spesso alterati in bentonite. ACQUITANIANO SUP. – BURDIGALIANO INF.

GST – Marne di Gesturi. Marne, marne arenacee e arenarie fini (GST); generalmente alla base, arenarie grossolane e conglomerati (GSTc); livelli di arenarie bioclastiche e calcareniti a litotamni

(GSTb); a tetto, tufi pomicei intercalati ed arenarie feldspatiche (GSTa). BURDIGALIANO SUP. – LANGHIANO MEDIO.

NLL – Formazione di Nurallao. "Arenarie di Serra Longa": sabbie e conglomerati (NLL2); nella parte medio-alta sono presenti bancate metriche di arenarie fossilifere e biocalcareni (NLL2a). "Conglomerato di Duiduru": conglomerati poligenici eterometrici e sabbie con locali livelli di biocalcareni, talvolta con componente vulcanica (NLL1); localmente, alla base, conglomerati grossolani ad elementi di dimensioni metriche (NLL1a). OLIGOCENE SUP. –BURDIGALIANO.

USS – Formazione di Ussana. Conglomerati e breccie, grossolani, eterometrici a spese perlopiù di basamento cristallino paleozoico e di carbonati giurassici; livelli argilloso-arenacei rossastri talora prevalenti nella base (USS), con intercalate rare vulcaniti oligoceniche (USSe) e calcari con fauna limnicola (USSg), o depositi travertinosi (USSf). OLIGOCENE SUP. – MIOCENE INF. (AQUITANIANO INF.).

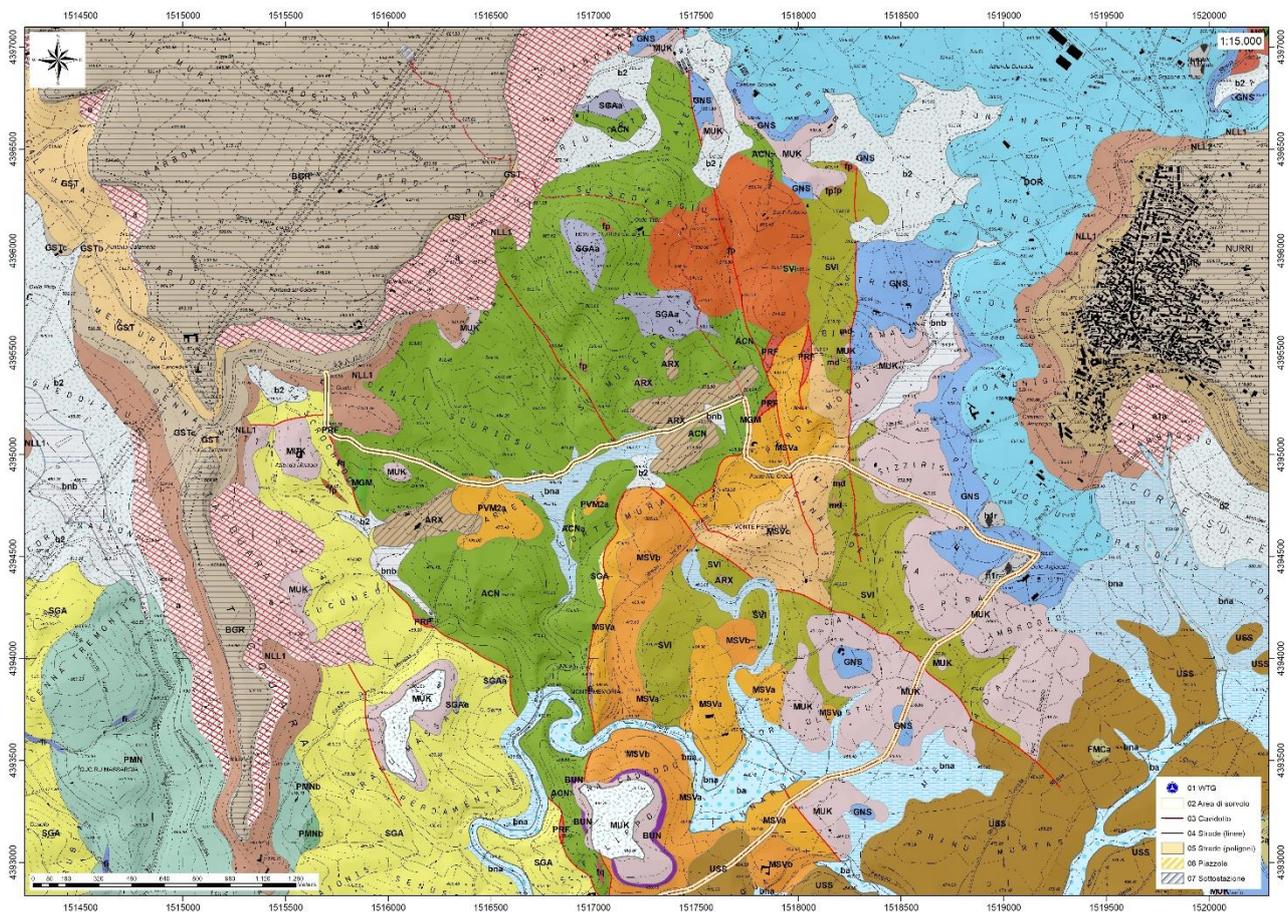


Figura 11 Carta Geologica settore nord

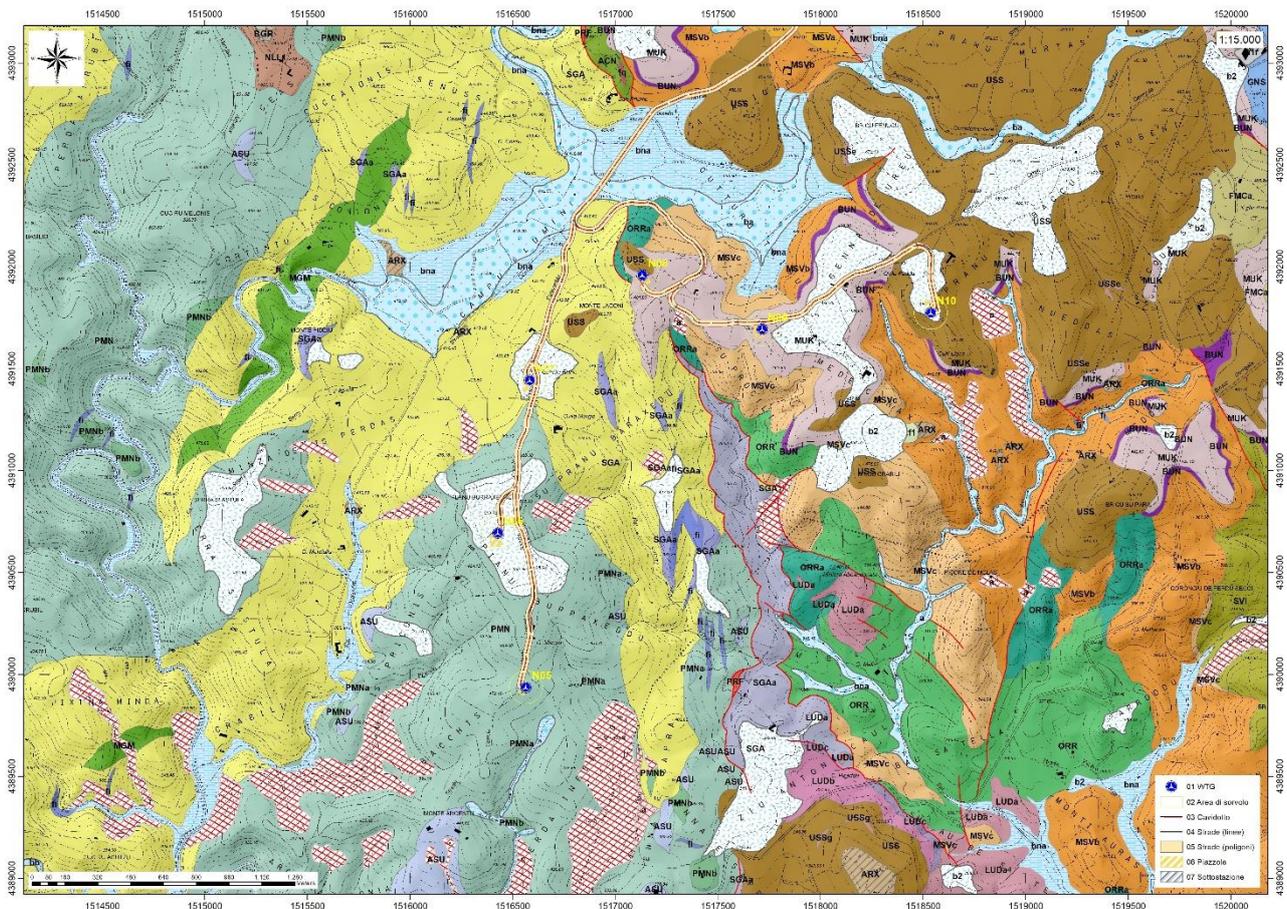


Figura 12 Carta Geologica settore sud

Successione Eocenica della Sardegna Orientale:

FMCa – Litofacies nella **Formazione di Monte Cardiga**. Arenarie e puddinghe: arenarie grossolane e conglomerati poligenici, con prevalenti clasti del basamento cristallino paleozoico, argilliti con resti di piant, ostree e cerizi. EOCENE INF.

Successione sedimentaria Mesozoica:

DOR – **Formazione di Dorgali**: Dolomie, dolomie arenacee, calcari dolomitici, da litorali a circalitorali, con foraminiferi e alghe calcaree. GIURASSICO MEDIO-SUP. (DOGGER – MALM)

GNS – **Formazione di Genna Selole**: conglomerati quarzosi molto maturi con, alla base, livelli carboniosi e argille. GIURASSICO MEDIO (DOGGER)

MUK – **Muschelkalk auct.**: Dolomie gialle in strati decimetrici con *Dasicladaceae* e pseudomorfi evaporitici. TRIASSICO MEDIO (LADINICO)

BUN – **Bundsandstein auct.**: Conglomerati poligenici eterometrici e arenarie grossolane con argille varicolori. TRIASSICO MEDIO (ANISICO)

Successione vulcano-sedimentaria tardo Paleozoica:

LUD – Formazione Riu su Luda: alla base, conglomerati con matrice arenacea fortemente arrossata (LUDa). Sedimenti clastici da grossolani a medio fini, con importante componente vulcanica; intercalazioni di tufi, marne e calcari con rare selci lacustri (LUDb). Siltiti e argilliti laminari nere con abbondanti resti di piante, sporomorfi e pollini; rari livelli di arenarie e conglomerati (LUDc).

Corteo filoniano:

fp - Filoni e ammassi di porfidi granitici: Porfidi di colore prevalentemente rosa e rosso, a struttura isotropa, porfirica per fenocristalli di Qtz, K-feldspato e rara Bt, in massa di fondo granofirica. CARBONIFERO SUP. - PERMIANO

Unità tettonica di Meana Sardo:

ORR – Formazione di Orroledu. Metapeliti grigio verdastre e metasiltiti fossilifere (ORR), con alternati livelli di metarcose e metagrovacche arcose, quarziti e metaconglomerati quarzosi in grossi banchi o massivi (ORRa). ORDOVICIANO SUP.

MSV – Formazione di Monte Santa Vittoria. Metagrovacche e metandesiti (MSVb): metagrovacche vulcaniche e più raramente metandesiti (formazione di "Serra Tonnai" Auct). Metaepiclastiti (MSVa): metaepiclastiti a matrice vulcanica, metaquarzagrovacche e metarenarie, metaconglomerati a prevalenti componenti di vulcaniti acide (formazione di "Manixeddu" Auct.). Metarioliti (MSVc): metarioliti afanitiche (formazione di Monte Corte Cerbos" Auct.). ORDOVICIANO ? MEDIO

SVI – Formazione delle Arenarie San Vito: alternanze irregolari di metaquarzoareniti, metarenarie micacee e metapeliti (SVI), con livelli di metacalcari intercalati nella parte alta (SVIb), CAMBRIANO MEDIO – ORDOVICIANO INF.

Unità tettonica del Gerrei:

SGA – Scisti a Graptoliti AUCT. Metapeliti carboniose e metasiltiti con graptoliti, livelli di diaspri neri (liditi) (SGA). **Metacalcari (SGAa):** metacalcari scuri e metacalcari nodulari fossiliferi. SILURIANO - DEVONIANO MEDIO

ACN – Argilloscisti di Rio Canoni. Metasiltiti grigio-verdastre, metasiltiti carbonatiche fossilifere (ACN) con intercalazioni di metacalcari talora silicizzati (ACNa) e metavulcaniti basiche (ACNc). ORDOVICIANO SUPERIORE

MGM – Metarcose di Genna Mesa. Metarcose e metagrovacche arcose, metaquarzoareniti e metaconglomerati quarzosi, in grossi banchi o massicci. ORDOVICIANO SUP.

PRF - Porfiroidi AUCT. Metarioliti e metariodaciti con struttura occhiadina, metaepiclastiti (PRF).

Porfiroidi a grossi fenocristalli (PRFa): metarioliti e metariodaciti con fenocristalli di Kfs di grandi dimensioni. ORDOVICIANO ?MEDIO

MSV – Formazione di Monte Santa Vittoria. Metavulcaniti a chimismo intermedio e basico, metaepiclastiti, metarenarie feldspatiche e metaconglomerati con componente vulcanica. ORDOVICIANO ?MEDIO

SVI - Arenarie di San Vito. Alternanze irregolari di metaquarzoareniti, metarenarie micacee, e metapeliti. CAMBRIANO MEDIO - ORDOVICIANO INF.

Unità tettonica di Riu Gruppa:

PMN – Formazione di Pala Manna. Alternanze di metasiltiti e metarenarie micacee (PMN), metaconglomerati e metabrecce a liditi (**PMNa**); metaquarzoareniti grossolane di colore scuro (PMNb). ?SILURIANO – ?CARBONIFERO INF.

ASU – Marmi di Asuni: Marmi, marmi dolomitici e rari calcescisti, con rari resti di crinoidi. DEVONIANO MED. – CARBONIFERO INF.

SGA - Scisti a Graptoliti. Metapeliti carboniose e metasiltiti con livelli di diaspri neri (liditi) (SGA) e di metacalcari grigi (SGAa). SILURIANO – CARBONIFERO INF.

MGM – Metarose di Genna Mesa: quarziti chiare e metarenarie quarzose, con alternate filladi e livelli di metacalcari silicizzati. ORDOVICIANO SUP.

Quasi tutte le stazioni eoliche sono posizionate nel basamento paleozoico, sebbene su differenti rocce metamorfiche appartenenti alle unità tettoniche riconosciute nell'area, e solo due sono posizionate nella copertura mesozoica e terziaria.

Nell'area investigata attraverso l'indagine sismica, presso cui andranno installate le turbine, affiorano le formazioni degli Scisti a Graptoliti (SGA) e quella di Pala Manna (PMN), situate entrambe nell'Unità di Riu Gruppa.

Alcune stazioni ricadono nella copertura mesozoica (Muschelkalk), che a sua volta ricopre le formazioni di Monte Santa Vittoria (MSV) e Orroledu (ORR) dell'unità tettonica di Meana Sardo, che ricopre gli Scisti a Graptoliti (SGAa) dell'Unità tettonica del Gerrei, che ancora ricopre la medesima formazione (SGA) che affiora nell'Unità tettonica di Riu Gruppa.

Per quanto riguarda le stazioni posizionate sui depositi della formazione di Ussana, tali depositi ricoprono rispettivamente, i depositi mesozoici (MUK), e, o le formazioni di Monte Santa Vittoria (MSV) e Orroledu (ORR) dell'unità tettonica di Meana Sardo, che giacciono sugli Scisti a Graptoliti (SGA) dell'unità tettonica di Riu Gruppa, oppure la formazione di Monte Santa Vittoria (MSV) dell'unità tettonica di Meana Sardo.

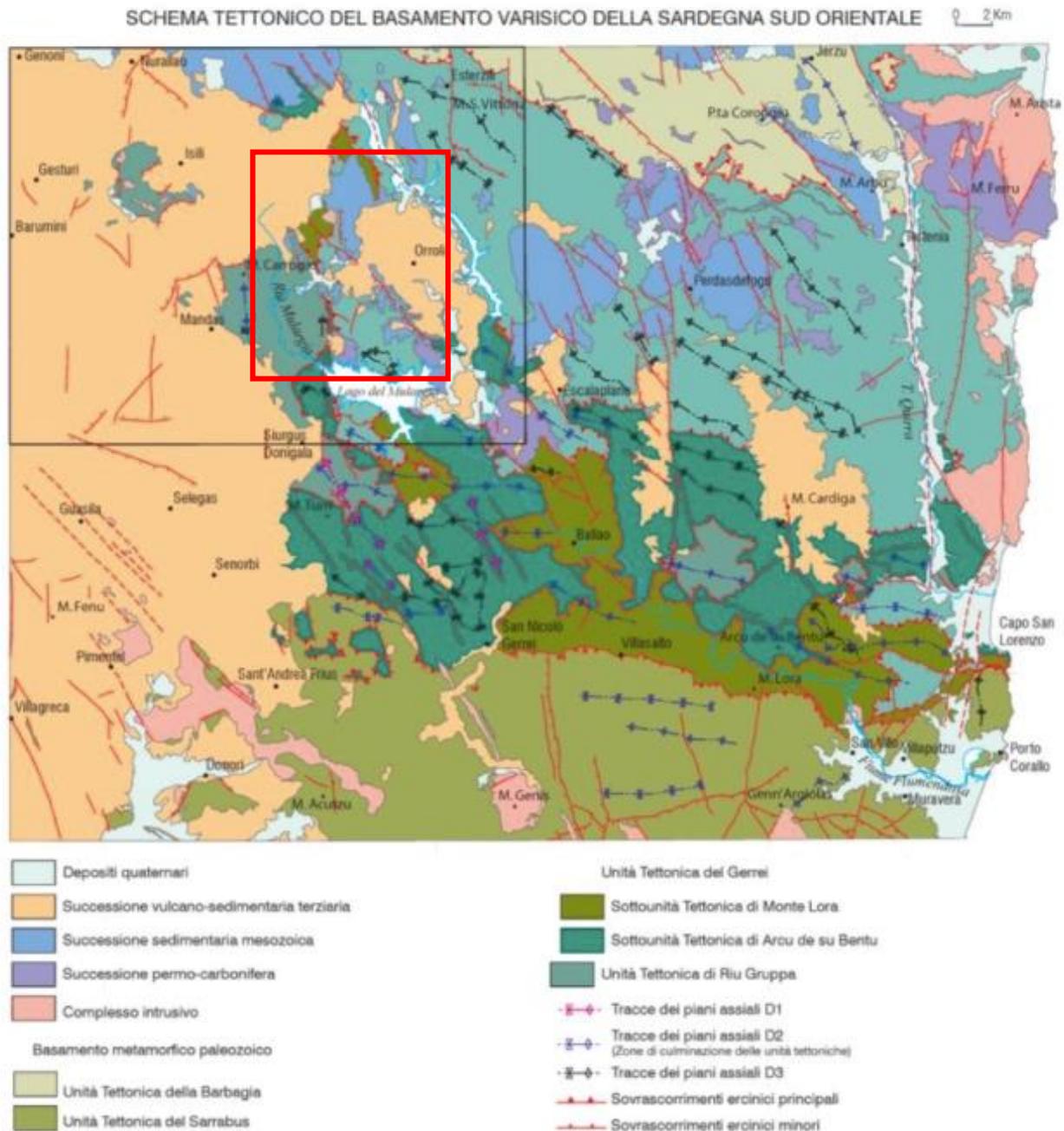


Figura 13 Schema Tettonico dell'area di studio (tratto da Funedda et al., 2013 Note Illustrative Foglio CARG Mandas)

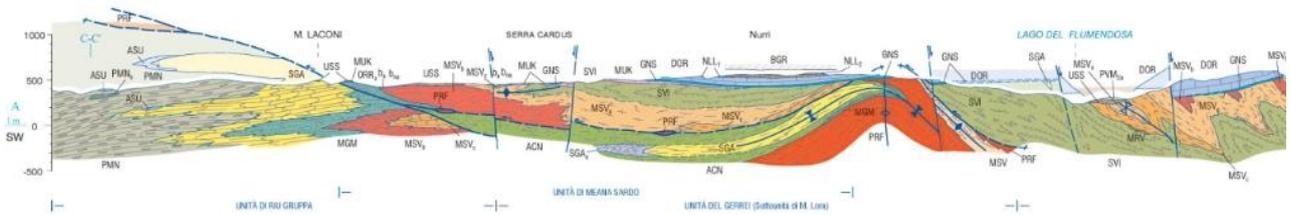


Figura 14 Schema tettonico e sezione geologica SW-NE rappresentativa dell'area vasta di Nurri (Funedda et al., 2013).

6. INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO

Il territorio indagato è rappresentato sostanzialmente da una zona collinare, con rilievi arrotondati e dislivelli dell'ordine di 150 m circa tra monte e valle.

La forma prevalentemente pianeggiante di alcuni versanti collinari presenti nei pressi dell'area di studio è il risultato della graduale demolizione del rilievo ercinico ad opera degli agenti erosivi, avvenuta alla fine dell'orogenesi ercinica, che ha portato alla formazione di una estesa superficie strutturale nota con il nome di "peneplano ercinico".

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.

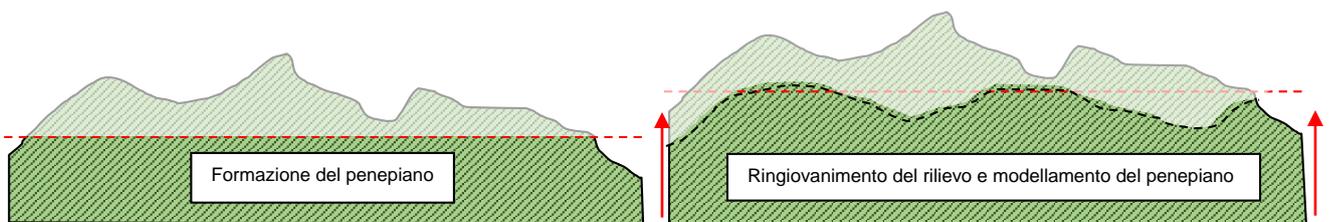


Figura 15 Schema dell'evoluzione geomorfologica del complesso paleozoico (non in scala)

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

I tratti geomorfologici del settore di studio sono dati da estese collinari del basamento paleozoico, incise 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 dissecato 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 450-500 metri (Genna Ruina 457 m, Monte Piddu 494 m, Bruncu Crabili 475 m, Serra S'Astula 506m).

Il reticolato 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 (è il caso dell'area a W dell'impianto), 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.

E' presente un'area caratterizzata da numerosi picchi e creste rocciose costituiti dai litotipi più resistenti del basamento paleozoico (Monte Santa Vittoria Fm.) situata a Sud delle N09 e N10, in quest'area sono presenti nelle parti più impervie anche falde di detrito e canali con scariche di detrito.



Figura 16 Morfologia del paesaggio nei pressi dell'area di Studio.

Laddove invece le litologie sono più tenere e nei depositi quaternari si osservano morfologie erosive come superfici con solchi di ruscellamento e di dilavamento concentrato. La terminazione del cavidotto a Nord del parco poggia sul tavolato basaltico ad una quota di circa 680mslm, tale tavolato culmina con Monte Guzzini (734m) e si estende per una superficie di circa 7Kmq; lo stesso lungo il perimetro termina con orli di scarpata subverticali che tendono ad arretrare per fenomeni franosi di crollo-ribaltamento.

9.2 DEFINIZIONE DELL'AREA GEOMORFOLOGICAMENTE SIGNIFICATIVA

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.

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.

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 **Nurri** ricade in Zona 4 a **bassa pericolosità**, vengono indicati i parametri sismici da utilizzare nelle verifiche secondo quanto previsto dalle NTC 2018.

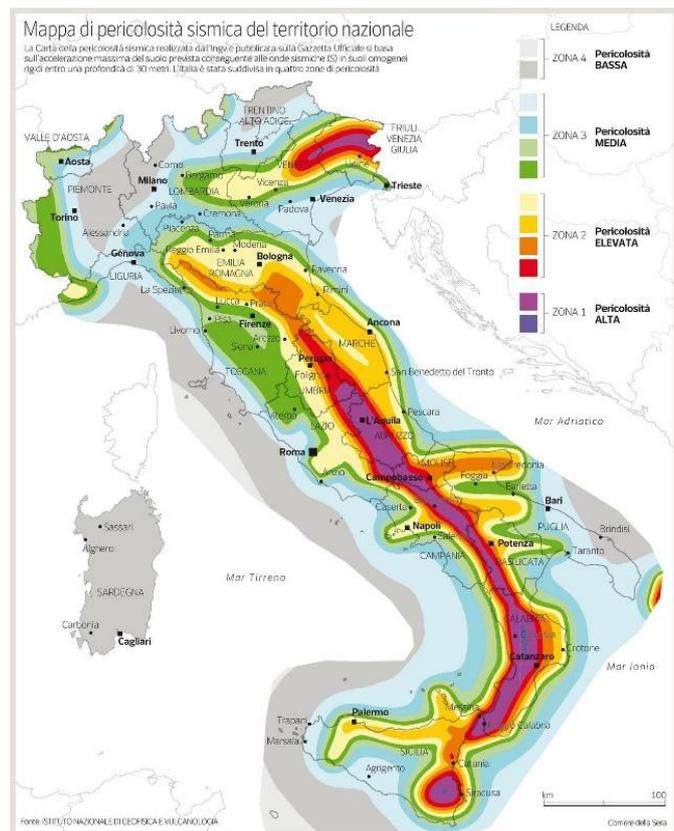


Figura 17 Carta della pericolosità sismica del territorio nazionale

5.1 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.

5.2 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 18 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. 2.4.11 (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 **$V_T = 100$**

5.3 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 VS_{30}** , 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 VS_{30} è stato stimato mediante misura delle velocità sismiche attraverso l'esecuzione di una prospezione geofisica MASW di seguito descritta in dettaglio.

8. INDAGINI GEOGNOSTICHE

Al fine di definire le caratteristiche fisico-meccaniche e sismiche dei terreni di sedime di cui al progetto in data 21.04.2021 dalla ditta GEOSERVICE Snc specializzata nel settore, è stata eseguita una prospezione sismica eseguita con la tecnica MASW.

L'indagine sismica attiva con tecnica MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) è una tecnica di indagine non invasiva, che attraverso la definizione del profilo di velocità delle onde di taglio

verticali Vs, è in grado di ricostruire una sismo-stratigrafia atta a permettere la definizione della categoria di suolo ai sensi del Decreto 17/01/2018.

Per l'esecuzione del cantiere d'interesse, è stata usata una strumentazione di acquisizione DoReMi, prodotto dalla SARA Electronic Instruments, 24 bit con frequenza di campionamento di 5000 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.

Rimandando le specifiche tecniche dell'indagine alla relazione sulle indagini allegata alla presente si riportano di seguito gli esiti dell'elaborazione del profilo sismico (profilo medio di velocità delle onde di taglio verticali Vs rilevato utili ai fini richiesti dal presente studio.

15.1 CAMPAGNA DI PROSPEZIONE GEOFISICA

L'indagine geofisica eseguita 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".

Le prospezioni geofisiche sono state realizzate impiegando la metodologia sismica con le tecniche MASW. Sono stati eseguiti

- N° 3 stendimenti di MASW

Elenco allegati:

- Tavola 1. Planimetria generale ubicazione indagini
- Tavole 2-3-4. Planimetria di dettaglio ubicazione indagini geofisiche
- Allegato B. MASW: Sismogramma acquisiti- spettri velocità di fase/frequenza - Curve di dispersione sperimentali e calcolate con profilo Vs
- Allegato C. Documentazione fotografica MASW e Sismica a rifrazione in onde P

15.1.1 PROGRAMMA DELLE INDAGINI E METODOLOGIA DI LAVORO

Le prospezioni geofisiche sono state articolate secondo il seguente programma:

1. Acquisizione dei dati in campo delle MASW M1-M2-M3
2. Rilievo topografico tramite GPS differenziale e/o livella di tutti i geofoni e punti di energizzazione

3. Elaborazione dei dati tramite analisi delle prospezioni acquisite in campagna e restituzione grafica delle sezioni sismiche con l'impiego di software specialistici.

Di seguito si riportano le caratteristiche geometriche delle basi sismiche.

Tabella 1. Quadro riassuntivo delle indagini svolte

Base sismica	Orientamento	Interdistanza geofonica (m)	Lunghezza(m)
R1	SE-NW	3	69.00
R2	NE-SW	3	69.00
R3	SW-NE	3	69.00
M1	SE-NW	3	69.00
M2	NE-SW	3	69.00
M3	SW-NE	3	69.00

15.1.3. 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:

$$v = \lambda \times \nu$$

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.

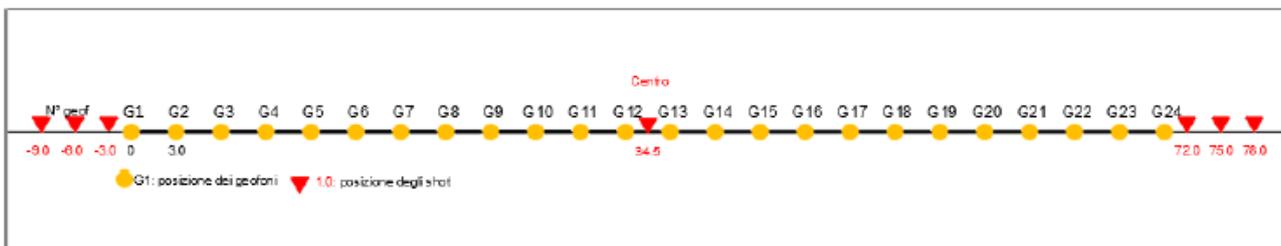
15.1.3.2. SPECIFICHE DELLE INDAGINI SVOLTE

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.

MASW: schema geometrico delle acquisizioni a 24 geofoni e interdistanza di 3,0 m



15.1.3.3. CARATTERISTICHE DELLA STRUMENTAZIONE IMPIEGATA

Per l'esecuzione del cantiere d'interesse, è stata impiegata una strumentazione di acquisizione modello GEA24, prodotto dalla PASI Geophysics, con frequenza di campionamento 1500 Hz per ognuno dei canali registrati, ciascuno attrezzato con geofoni verticali e orizzontali della PASI Geophysical con frequenza propria di 4,5 Hz. Il numero di canali è risultato pari a n° 24 canali. Per l'energizzazione ci siamo avvalsi di una mazza battente da 10 kg impattante verticalmente su piastra di battuta in duralluminio, diametro 18 cm, spessore 4 cm, peso 2 kg.

15.1.3.4. CARATTERISTICHE DELLA STRUMENTAZIONE IMPIEGATA

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.

15.1.3.5. 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. 3.2.11. 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.

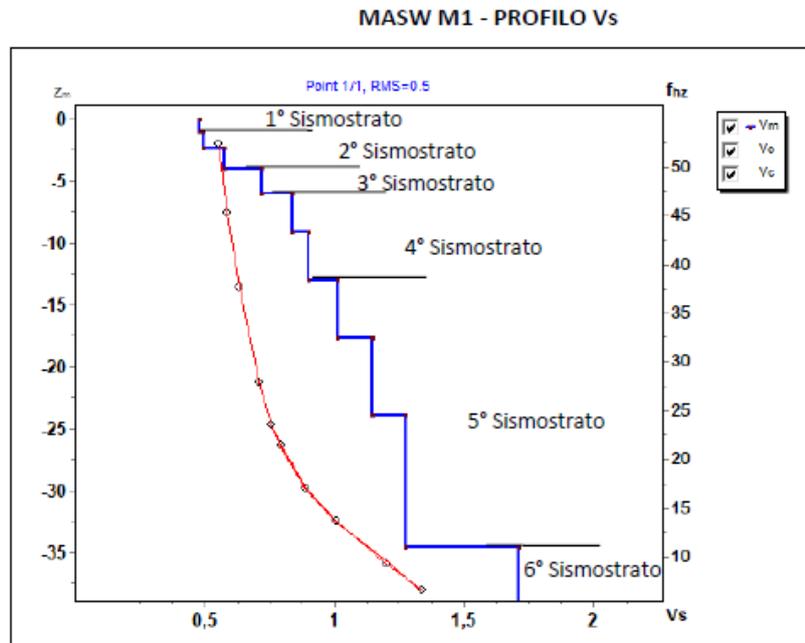
15.1.4. INTERPRETAZIONE DEI DATI: MASW

MASW M1

L'indagine sismica con tecnica MASW ha permesso di ottenere il profilo medio di velocità delle onde di taglio verticali V_s 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 V_s .

- **1° sismostrato** (da 0,0 m a 1,0 m) con V_s di 480 m/s, Terre molto addensate e roccia totalmente fratturata
- **2° sismostrato** (da 1,0 m a 4,0 m) con V_s tra 500 e 570 m/s, Roccia totalmente fratturata
- **3° sismostrato** (da 4,0 m a 6,0 m) con V_s di 720 m/s, Roccia intensamente fratturata

- **4° sismostrato** (da 6,0 m a 12,9 m) con V_s tra 840 e 900 m/s, Substrato roccioso intensamente fratturato
- **5° sismostrato** (da 12,9 m a 34,5 m) con V_s tra 1010 e 1270 m/s, Substrato roccioso fratturato
- **6° sismostrato** (>34,5 m) con V_s di 1710 m/s, Substrato roccioso sano



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.

Esaminato il profilo delle V_s si pone come profondità del substrato 6,0 m ($V_s > 800$ m/s).

La velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio calcolata per il substrato posto a 6,0 m di profondità dal p.c. è pari a:

$$V_s eq = 6,0/0,0105 = 570 \text{ m/s}$$

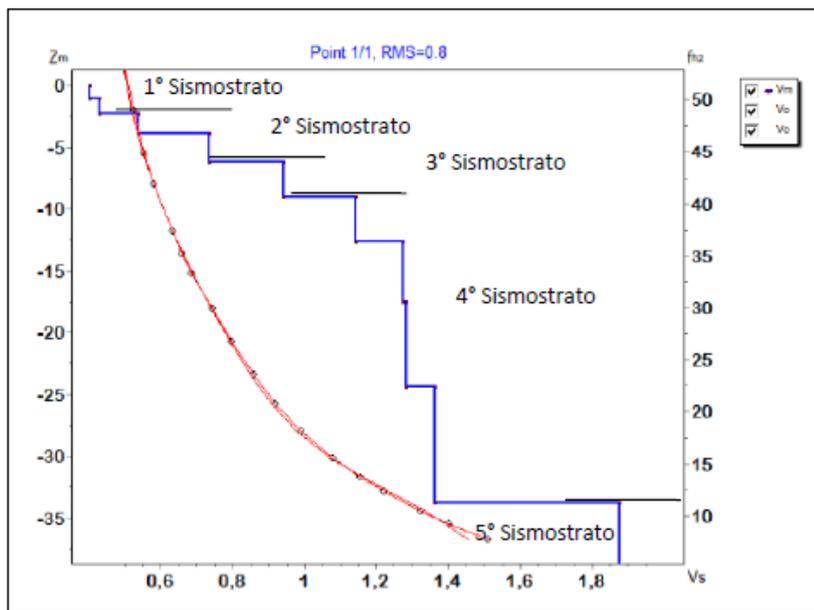
che dà luogo ad una categoria B, ossia: **Categoria B**: Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s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

MASW M2

L'indagine sismica con tecnica MASW ha permesso di ottenere il profilo medio di velocità delle onde di taglio verticali Vs dello stendimento M2, dal quale si possono distinguere i sismostrati di seguito indicati. Si ricorda che si tratta di un profilo medio della velocità di taglio Vs.

- **1° sismostrato** (da 0,0 m a 2,3m) con Vs tra 400 e 430 m/s, Terre molto addensate
- **2° sismostrato** (da 2,3 m a 6,2 m) con Vs tra 540 e 730 m/s, Roccia intensamente fratturata
- **3° sismostrato** (da 6,2 m a 9,1 m) con Vs di 940 m/s, Substrato roccioso alterato e argillificato
- **4° sismostrato** (da 9,1 m a 33,8 m) con Vs tra 1140 e 1360 m/s, Substrato roccioso fratturato
- **5° sismostrato** (>33,8 m) con Vs di 1880 m/s, Substrato roccioso sano

MASW M2 - 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, Vs,eq (in m/s), definita dall'espressione

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

con:

hi spessore dell'*i*-esimo strato;

Vs,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 6,2 m (Vs>800 m/s).

La velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio calcolata per il substrato posto a 6,2 m di profondità dal p.c. è pari a:

$$V_{s,eq} = 6,2/0,0116 = 535 \text{ m/s}$$

che dà luogo ad una categoria B, ossia: **Categoria B**: Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento

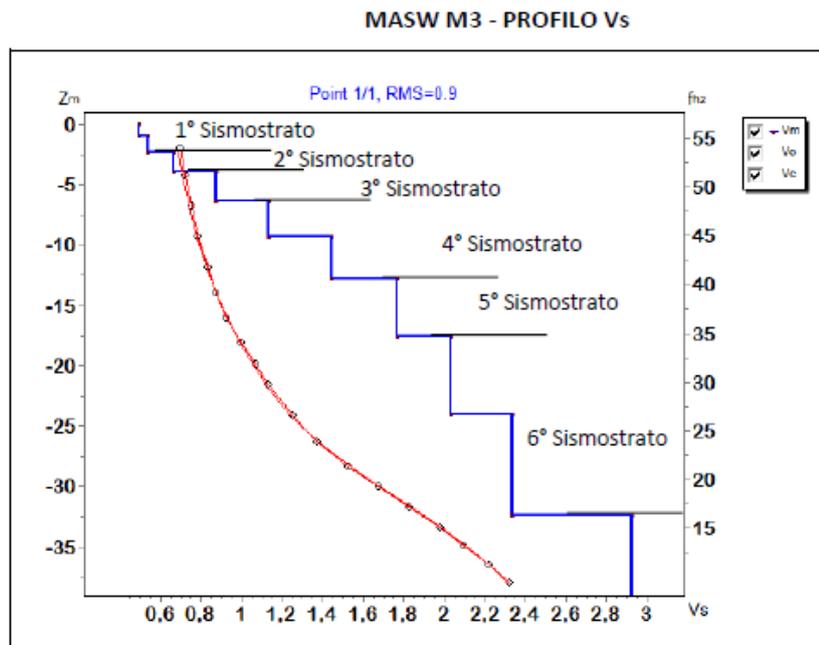
delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.

MASW M3

L'indagine sismica con tecnica MASW ha permesso di ottenere il profilo medio di velocità delle onde di taglio verticali Vs dello stendimento M3, dal quale si possono distinguere i sismostrati di seguito indicati. Si ricorda che si tratta di un profilo medio della velocità di taglio Vs.

- **1° sismostrato** (da 0,0 m a 2,3 m) con Vs tra 500 e 540 m/s, Terre e roccia totalmente fratturata
- **2° sismostrato** (da 2,3 m a 4,0 m) con Vs di 670 m/s, Roccia intensamente fratturata
- **3° sismostrato** (da 4,0 m a 6,4 m) con Vs di 880 m/s, Substrato roccioso intensamente fratturato
- **4° sismostrato** (da 6,4 m a 12,8 m) con Vs tra 1140 e 1450 m/s, Substrato roccioso fratturato
- **5° sismostrato** (da 12,8 m a 17,6 m) con Vs di 1770 m/s, Substrato roccioso sano
- **6° sismostrato** (da 17,6 m a 32,4 m) con Vs tra 2030 e 2340 m/s, Substrato roccioso

Sano



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 4,0 m ($V_s > 800$ m/s).

La velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio calcolata per il substrato posto a 4,0 m di profondità dal p.c. è pari a:

$$V_{s\ eq} = 4,0/0,0069 = 580\ m/s$$

che dà luogo ad una categoria B, ossia: **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.

Attraverso le indagini con la tecnica MASW si rileva un substrato roccioso ($V_s > 800\ m/s$) rispettivamente alla profondità di 6,0 m in M1, 6,2 m in M2 e 4,0 m in M3 che dà luogo per tutte le basi sismiche ad una categoria B, ossia: 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. Dall'esame dei profili delle V_s si osserva inoltre che all'aumentare della profondità si ha un aumento progressivo delle velocità dovuto al miglioramento delle caratteristiche fisico meccaniche dei materiali. La velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio calcolata per le due MASW è riportata nel seguente schema riassuntivo:

Sigla Stendimento	Profondità substrato [m]	$V_{s\ eq}$ [m/s]	Categoria sottosuolo (NTC2018)
M1	6,0	570	B
M2	6,2	535	B
M3	4,0	580	B

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

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
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.
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.
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.
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 e 180 m/s.
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.

Tabella 4 Tabella 3.2.II del la NTC 2018

6.1.1 PARAMETRI DI PERICOLOSITÀ SISMICA

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. (SW AZTEC Sisma 10.0):

Parametri sismici				
	T_R [anni]	a_g [m/s ²]	F_0 [...]	T_C^* [s]
SLO	60	0,249	2,685	0,300
SLD	101	0,307	2,730	0,307
SLV	949	0,587	2,976	0,371
SLC	1950	0,693	3,061	0,393

Figura 6.1: Parametri sismici in funzione delle coordinate geografiche del sito

dove:

Stati limite di esercizio
Stato Limite di Operatività (SLO)
accelerazione orizzontale
Stato Limite di Danno (SLD)
spettro in acc.orizzontale

Stati limite ultimi
Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV)
Stato Limite di prevenzione del Collasso (SLC)

ag accelerazione orizzontale massima al sito
F₀ valore massimo del fattore di ampl.dello spettro in
T^{*}C periodo di inizio del tratto a velocità costante dello

ALLEGATO C – Rifrazione/MASW 1
Documentazione fotografica



Foto 1: R1/M1 da G1



Foto 2: unità di acquisizione del dato



Foto 3: R1/M1 da G24

ALLEGATO C – Rifrazione/MASW 2
Documentazione fotografica



Foto 1: R2/M2 da G1



Foto 2: unità di acquisizione del dato



Foto 3: R2/M2 da G24

ALLEGATO C – Rifrazione/MASW 3
Documentazione fotografica



Foto 1: R3/M3 da G1



Foto 2: unità di acquisizione del dato



Foto 3: R3/M3 da G24