



PROGETTO: Progetto Definitivo per il parco eolico da 48,0 MW "Energia Is Coris" costituito da n.9 aerogeneratori

Elaborato:

Relazione sulla Pericolosità Sismica di Base

Codice Elaborato

PD - R16

Scala

Formato elaborato

A4

PROPONENTE

 **Fred. Olsen Renewables**

Timbro e firma



Cosima Atzori

Timbro e firma

REDATTORI

Dott.ssa Geol. Cosima Atzori

COORDINAMENTO

BIA s.r.l.

Piazza dell'Annunziata 7
Cagliari (CA) - 09123
P.IVA 03983480926
energhiabia@pec.it

energia viva
bia

Rev.	Data	Descrizione	Elaborato	Verificato	Approvato
02					
01					
00	06/2022	Emissione per validazione			

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	10
6. INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO	12
9.1 Lineamenti geomorfologici dell'area di studio	14
9.2 Definizione dell'area geomorfologicamente significativa	18
7. INQUADRAMENTO SISMICO	19
7.1 Azione sismica.....	19
5.2 Vita nominale, classi d'uso e periodo di riferimento.....	20
5.3 Amplificazione stratigrafica e topografica.....	21
8. INDAGINI GEOGNOSTICHE	22
8.1. Indagini sismiche: MASW	22
8.1.1. Specifiche delle indagini svolte.....	23
8.1.2. Caratteristiche della strumentazione impiegata.....	24
8.1.3. Caratteristiche della strumentazione impiegata.....	24
8.1.4. Categorie di sottosuolo - D.M. 19.01.2018 (NTC 2018)	24
8.2. Risultati dell'indagine Masw TRM-1.....	26
8.3. Risultati dell'indagine Masw RM-1.....	27
8.4. Risultati dell'indagine Masw RM-2	28
8.5. Risultati dell'indagine Masw TRM-2.....	29
9. CATEGORIE DI SOTTOSUOLO E PARAMETRI DI PERICOLOSITÀ SISMICA.....	30

INDICE DELLE FIGURE

Figura 1 Localizzazione del progetto.....	5
Figura 2 Panoramica dal lato occidentale dell'area di studio.....	6
Figura 3 Localizzazione su foto aerea (Fonte RAS, 2016) dell'area interessata dal progetto, cavidotto e sottostazione.....	6
Figura 4 Inquadramento topografico su Carta IGM scala 1:25000	7
Figura 5 Inquadramento topografico su C.T.R. RAS scala 1:10000 – settore W.....	8
Figura 6 Inquadramento topografico su C.T.R. RAS scala 1:10000 – settore E.....	9
Figura 7 Schema tettonico-strutturale della Sardegna.....	10
Figura 8 Carta Geologica	11
Figura 9 Schema dell'evoluzione geomorfologica del complesso paleozoico (non in scala).....	13

Figura 10 Versante settentrionale del rilievo, sulla destra.	14
Figura 11 Lato orientale del parco	14
Figura 12 Foto scattata dal lato orientale del parco rivolta a W	14
Figura 13 Roccia affiorante (GNN1) nei pressi della piazzola della Turbina 1	15
Figura 14 Piazzola Turbina 2.....	15
Figura 15 Piazzola Turbina 3.....	16
Figura 16 Posizione Turbina 4.....	16
Figura 17 Foto scattata da posizione Turbina 5.....	16
Figura 18 Pressi Turbina 6	17
Figura 19 Posizione Turbina 7	17
Figura 20 Piazzola T7, foto rivolta a Ovest	18
Figura 21 Carta della pericolosità sismica del territorio nazionale.....	19
Figura 22 Valori minimi della Vita nominale VN di progetto per i diversi tipi di costruzioni.	20
Figura 23 Valori di coefficiente d'uso CU.....	21
Figura 24 Categorie topografiche (NTC 2018 3.2 - Tab. 3.2.II).....	21
Figura 25 Valori massimi del coefficiente di amplificazione topografica ST (NTC 2018 3.2 - Tab. 3.2.V).....	21
Figura 30 Parametri sismici in funzione delle coordinate geografiche del sito	31

1. PREMESSA

In relazione al progetto per la realizzazione di un Parco Eolico denominato "Energia Is Coris" dislocato nel territorio Comunale di **Villamassargia** e di **Narcao** (Provincia del Sud Sardegna), è stato conferito, alla scrivente Geol. Cosima Atzori, regolarmente iscritta all'Albo Professionale dei Geologi della Sardegna al n°656, con polizza RC professionale LLOYD'S n° CQ190036000-LB e con studio in Sestu (CA) – Centro Direzionale "Pittarello" Loc. Scala Sa Perda, 87, C.F. TZRCSM72H41B354F e P.I.V.A. 03191600927, l'incarico professionale per la redazione della **Relazione sulla Pericolosità Sismica di Base** in supporto al progetto.

In data **27-28/01/2022** è stata eseguita una prospezione sismica eseguita con la tecnica rifrazione-MASW- (stendimenti denominati R1/M1 – R2/M2) al fine di ottenere informazioni circa le condizioni strutturali del sottosuolo e determinarne la categoria.

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.
- D.L. 3 aprile 2006, n. 152 e successive modificazioni - "Norme in materia ambientale".

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 in data 28/01/2022 nella zona di interesse.

4. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO GENERALE

Villamassargia è un Comune italiano di 3 490 abitanti della provincia del Sud Sardegna, situato nella sub-provincia del Sulcis-Iglesiente.

L'inquadramento cartografico di riferimento è il seguente:

- Cartografia ufficiale dell'Istituto Geografico Militare I.G.M scala 1:25 000. Serie 25 –Fogli: 555 "Villamassargia" sez. II, 556 "Monte Rosas" sez. III.
- Carta Tecnica Regionale in scala 1:10000 sezione 555160 "Terraseo", 555150 "Barbusi", 556130 "Monte Rosas" e 555120 "Villamassargia".



Figura 1 Localizzazione del progetto



Figura 2 Panoramica dal lato occidentale dell'area di studio

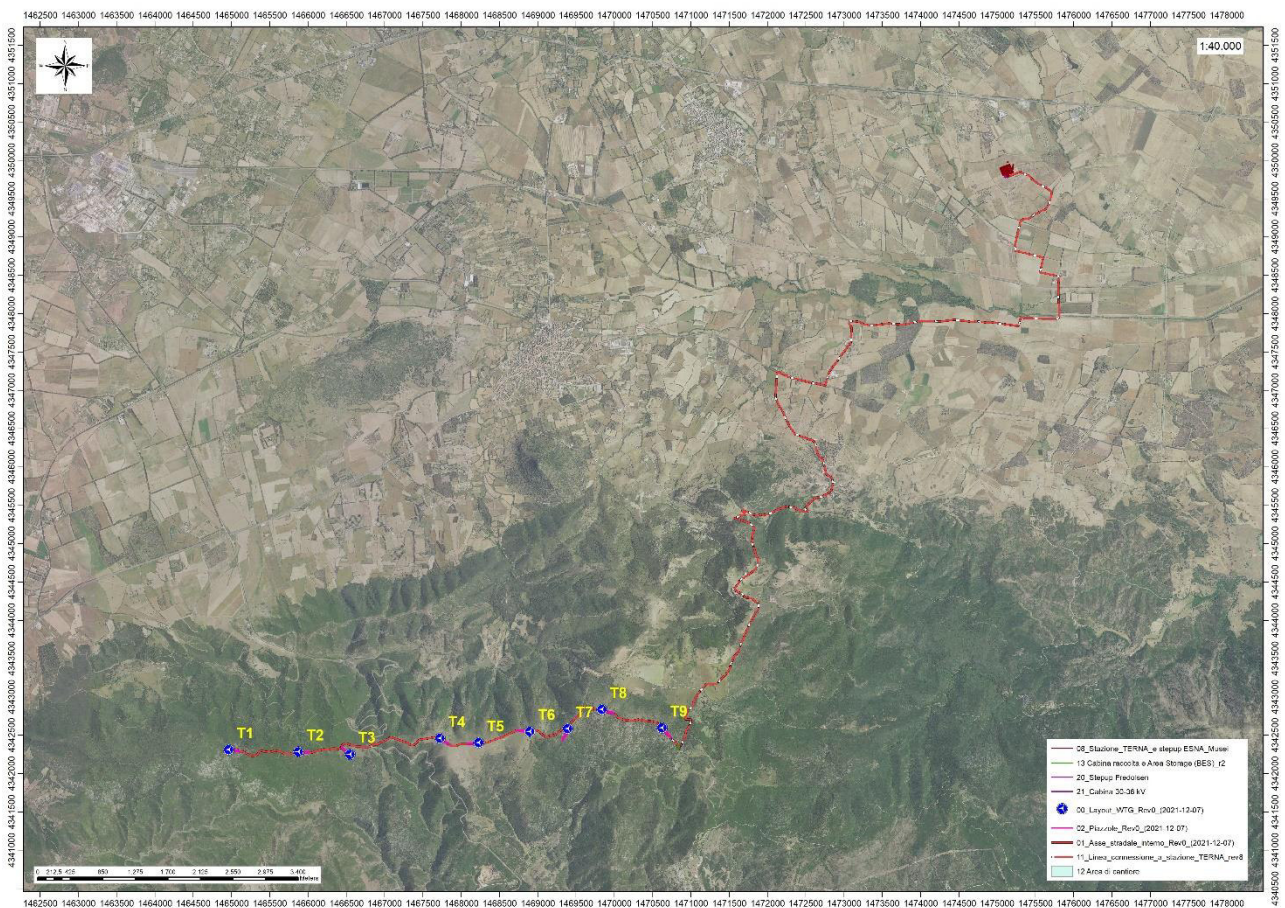


Figura 3 Localizzazione su foto aerea (Fonte RAS, 2016) dell'area interessata dal progetto, cavidotto e sottostazione.

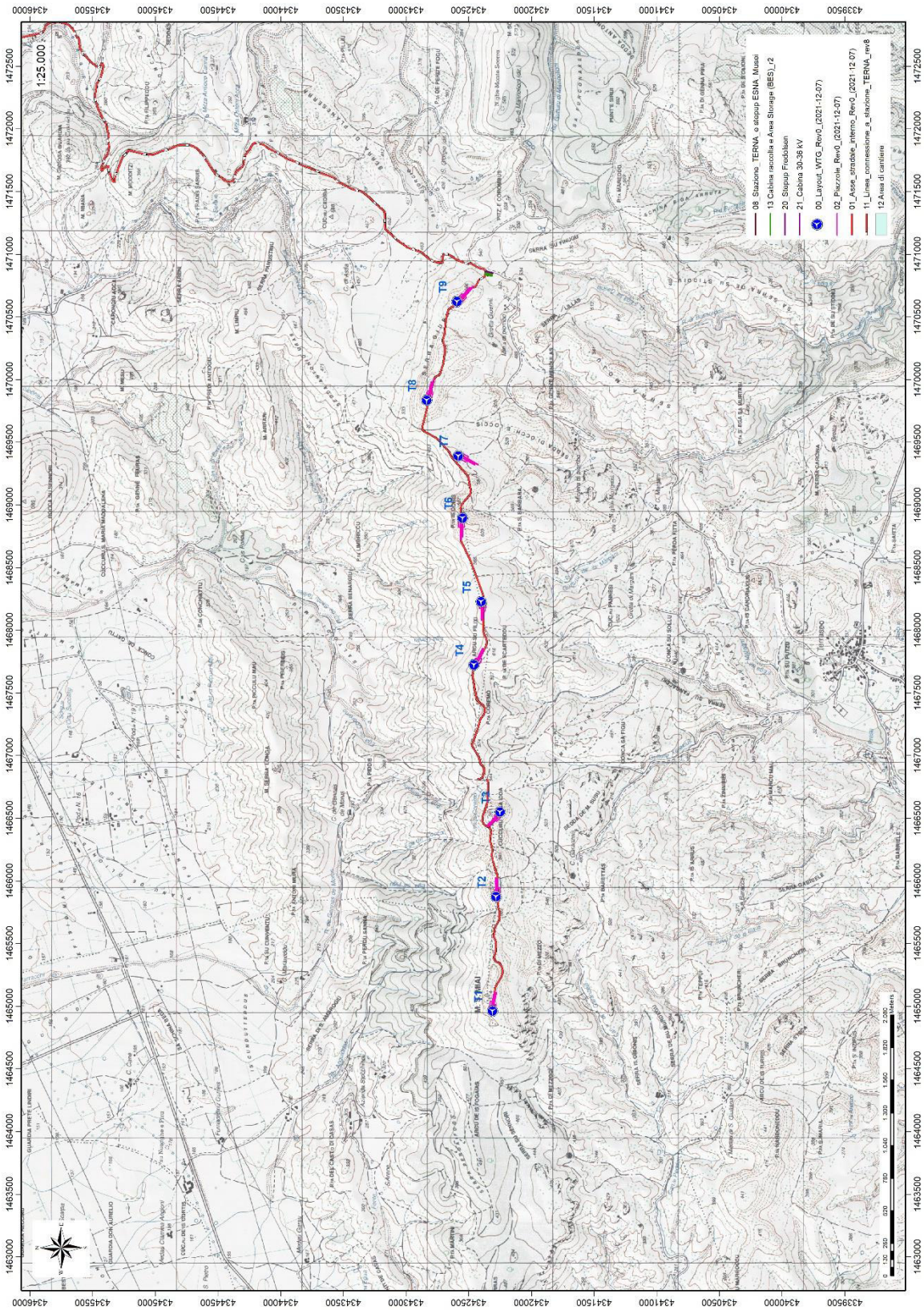


Figura 4 Inquadramento topografico su Carta IGM scala 1:25000

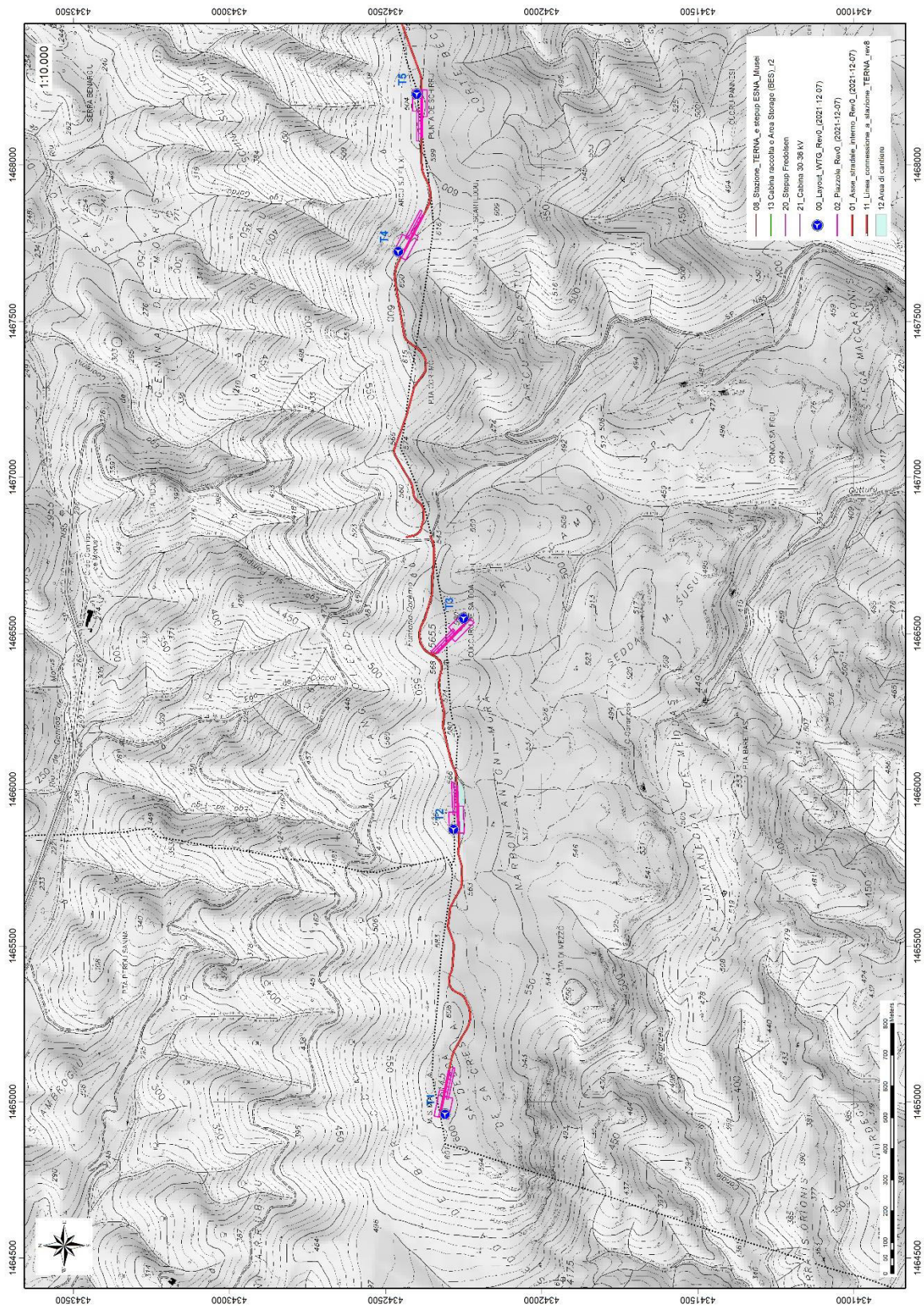


Figura 5 Inquadramento topografico su C.T.R. RAS scala 1:10000 – settore W

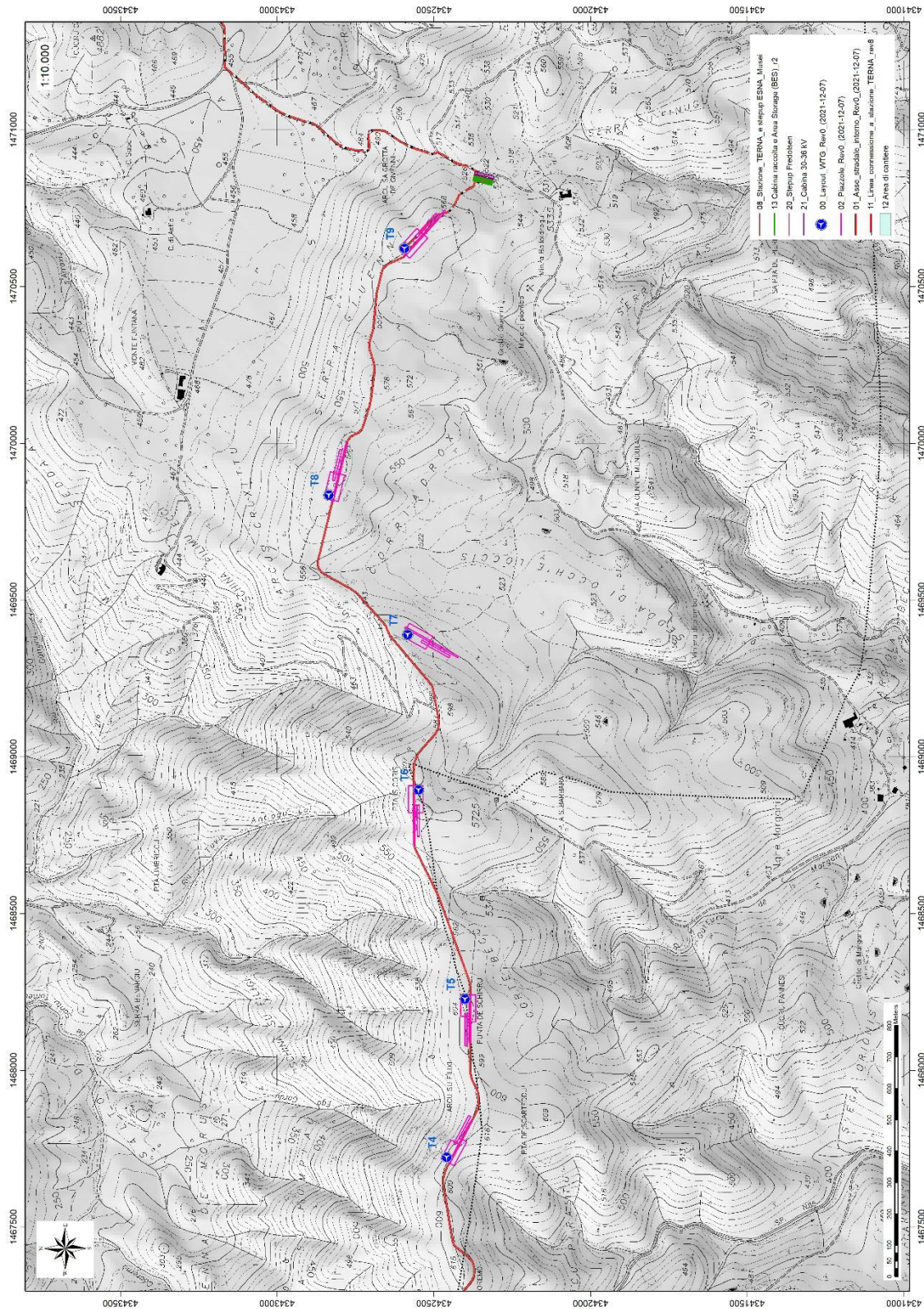


Figura 6 Inquadramento topografico su C.T.R. RAS scala 1:10000 – settore E

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 rinvencono 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 si inquadra in un contesto geologico complesso, caratterizzato dalla presenza di successioni sedimentarie di età paleozoica di basso grado metamorfico dove i caratteri petrografici e sedimentologici dei protoliti sono quasi sempre ben riconoscibili. Queste metamorfite sono intruse da rocce granitoidi permocarbonifere, alle quali seguono successioni sedimentarie, di età compresa tra il Permo-Carbonifero e l'OligoMiocene e depositi vulcanici oligo-miocenici. Sono variamente diffuse le coperture quaternarie antiche e recenti, con depositi alluvionali, marini ed eolici sabbiosi in cui sono stati trovati resti di cervidi e di elefante nano. Il basamento metamorfico dell'Iglesiente in cui ricade il **Parco Eolico** appartiene alla "zona esterna" del segmento sardo della catena varisica. La successione metamorfica paleozoica è divisa da una discordanza angolare di età ordoviciana media ("discordanza sarda") ed inizia con sedimenti prevalentemente arenacei di età cambriana inferiore (fm. di Nebida), seguiti da depositi carbonatici (fm. di Gonnesa, "Metallifero" Auct.), carbonatico-terrigeni (fm. di Campo Pisano) e da depositi silico-clastici di età Cambriano medio-Ordoviciano inferiore (fm. di Cabitza). Al di sopra della discordanza ordoviciana poggia una successione trasgressiva composta da depositi di ambiente continentale (fm. di M. Argentu, "Puddinga" Auct.), transizionale e marino di età compresa tra l'Ordoviciano medio-superiore ed il Devoniano (f.ni di M.te Orri, Portixeddu, Domusnovas, Genna Muxerru, Fluminimaggiore).

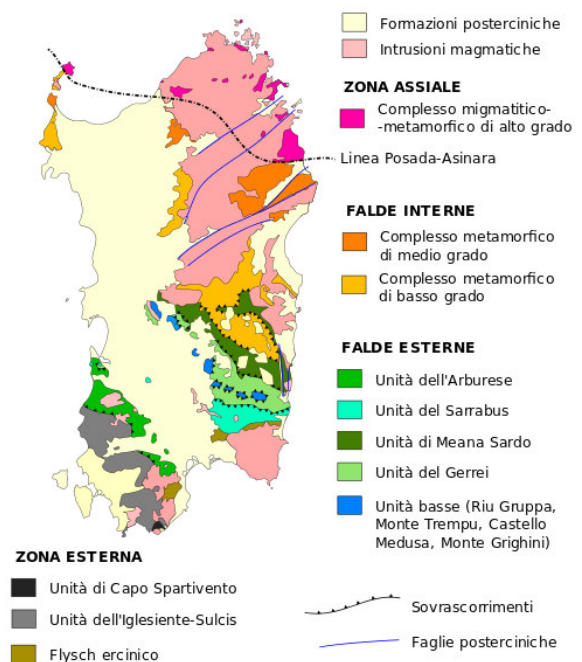


Figura 7 Schema tettonico-strutturale della Sardegna

Le litologie sulle quali poggeranno le turbine appartengono alla successione sedimentaria pre-discordanza Sarda. Il termine più antico della Successione è costituito dal Membro di Mattoppa della Formazione di Nebida. Si tratta di metaquarzoareniti, metarcose a grana fine, metagrovacche, con intercalazioni di metasiltiti grigio-chiare, in strati decimetrici e metrici. Verso l'alto il grado di maturità diminuisce progressivamente e le intercalazioni arenacee divengono più frequenti e di maggiore potenza, fino a passare a metarenarie quarzoso-micacee e metagrovacche con matrice carbonatica. La parte alta della successione del Membro di Mattoppa è caratterizzata dalla presenza di livelli e lenti di calcari ad archeociati (NEB1a). Il Membro di Mattoppa è poi ricoperto in concordanza dal Membro di Punta Manna (NEB2), che inizia con un orizzonte pressochè continuo di calcari oolitici (NEB2a).

A seguire verso l'alto stratigrafico è poi presente la Formazione di Gonnese, questa si divide a sua volta in "Dolomia Rigata" alla base e "Calcare Ceroide" al tetto, in quest'ultimo si distinguono poi due litofacies, ovvero quella delle "Dolomie Grigie" e quella delle "Dolomie Gialle".

Il membro della Dolomia rigata (GNN1) è costituito da dolomie primarie grigio chiaro ben stratificate e laminate, stromatoliti laminate con pseudomorfi su gesso o anidrite e pisoliti vadose e/o breccie di disseccamento. Il membro di Calcare Ceroide (GNN2) è costituito da calcari massivi di colore grigio, quasi puri, generalmente mal stratificati, spesso intensamente dolomitizzati. Questo membro è localmente interessato da un'intensa dolomitizzazione diagenetica tardiva che dà origine alla cosiddetta "Dolomia grigia" (GNN2a); è poi presente una varietà gialla (Dolomia gialla GNN2b), in questa l'andamento della dolomitizzazione, la sua genesi e l'età non sono completamente chiare.

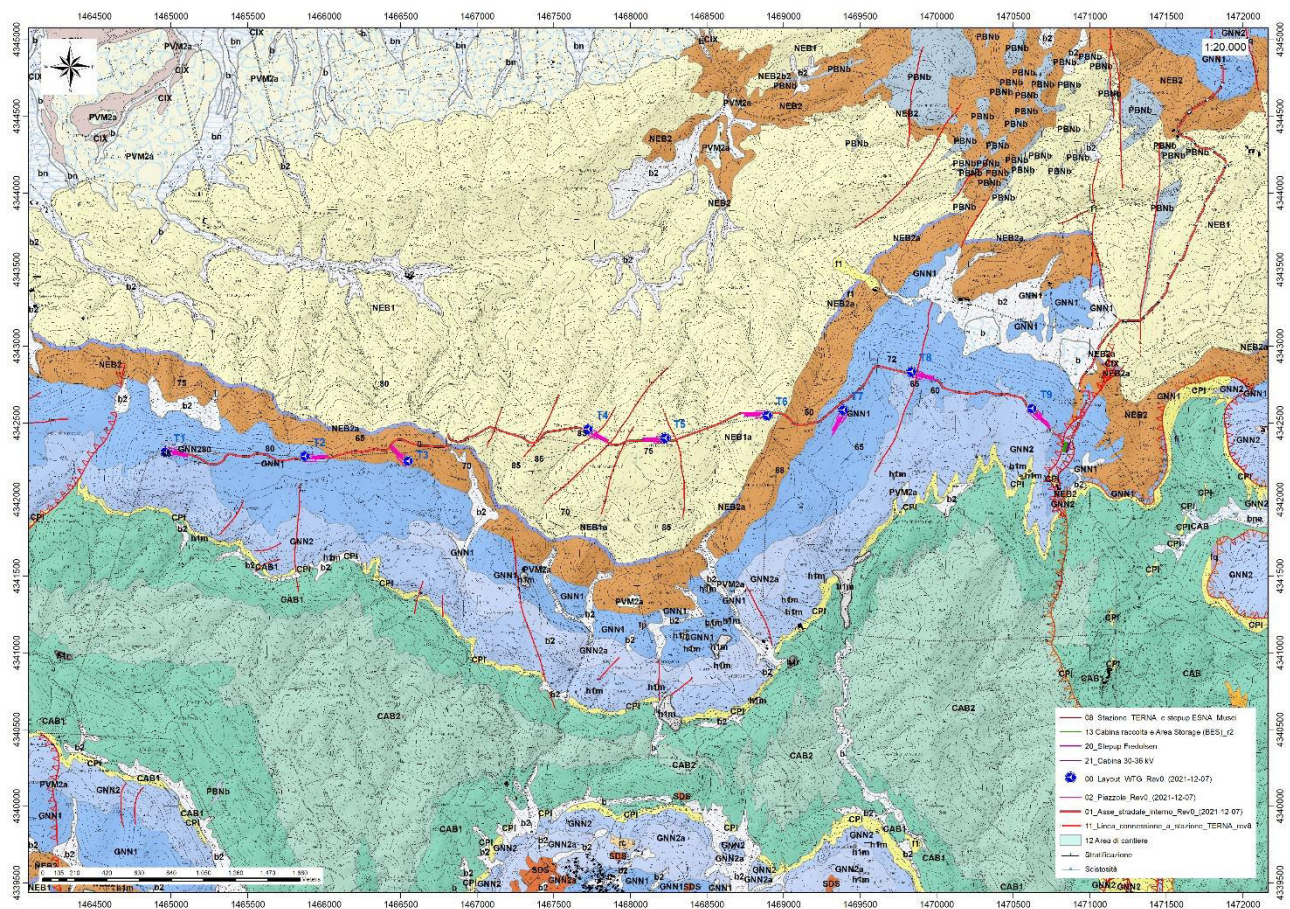


Figura 8 Carta Geologica

UNITA' DELL'IGLESIENTE-SULCIS

Successione sedimentaria pre-Discordanza Sarda

GNN2 - Membro del Calcare ceroide (FORMAZIONE DI GONNESA). Calcari grigi massivi, talora nerastri, spesso dolomitizzati. CAMBRIANO INF. (ATDABANIANO SUP. - LENIANO)

GNN2a - Litofacies nel Membro del Calcare ceroide (FORMAZIONE DI GONNESA). Dolomie e calcari dolomitici di colore da giallastro a bruno, massivi (Dolomia grigia" Auct.). CAMBRIANO INF. (ATDABANIANO SUP. - LENIANO MEDIO)

GNN1 - Membro della Dolomia rigata (FORMAZIONE DI GONNESA). Dolomie grigio chiare ben stratificate e laminate, spesso con laminazioni stromatolitiche, con noduli e livelli di selce scura alla base. CAMBRIANO INF. (ATDABANIANO SUP.-LENIANO)

NEB2- Membro di Punta Manna (FORMAZIONE DI NEBIDA). Metarenarie quarzose e siltiti, con laminazioni incrociate e piano-parallele, verso l'alto alternanze di calcari, talvolta ricchi in archeociati, e dolomie con bioturbazioni, spesso silicizzate. CAMBRIANO INF

NEB2a - Litofacies nel Membro di Punta Manna (FORMAZIONE DI NEBIDA). Alla base calcari oolitici e oncolitici con subordinate intercalazioni di metarenarie e metasiltiti. CAMBRIANO INF. (ATDABANIANO)

NEB1 - Membro di Matoppa (FORMAZIONE DI NEBIDA). Metarenarie e metasiltiti, con laminazioni piano-parallele, alternate a bancate decimetriche di metarenarie quarzose, con rari livelli carbonatici. CAMBRIANO INF. (ATDABANIANO)

DEPOSITI QUATERNARI DELL'AREA CONTINENTALE

b- Depositi alluvionali. OLOCENE

b2- Coltri eluvio-colluviali. Detriti immersi in matrice fine, talora con intercalazioni di suoli più o meno evoluti, arricchiti in frazione organica. OLOCENE.

6. INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO

Il territorio indagato è costituito sostanzialmente da una zona collinare, con rilievi subarrotondati e dislivelli dell'ordine di 400 m circa tra monte e valle.

La forma prevalentemente pianeggiante dei versanti collinari 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 "penepiano 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.

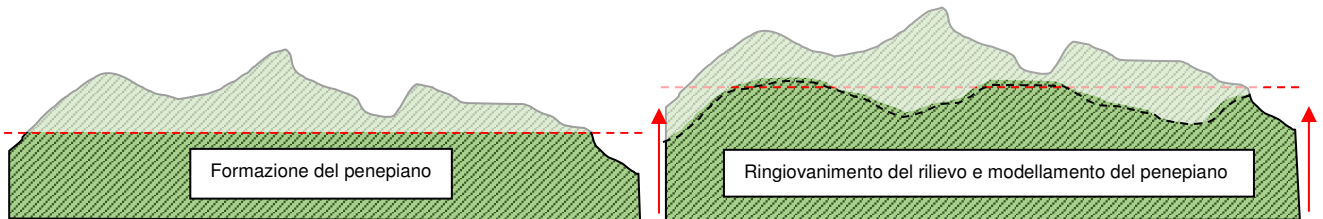


Figura 9 Schema dell'evoluzione geomorfologica del complesso paleozoico (non in scala)

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.

Il rilievo sul quale pogerà il parco eolico (vedasi l'elaborato grafico PD-Tav.10 Carta Geomorfologica) è costituito da una blanda anticlinale orientata da Est a Ovest situata tra la sinclinale del Cixerri a Nord e la sinclinale di Narcao a Sud, partendo da Monte S.Miai (615m), Cuccuru De Sa Idda (580m), Punta de Schirru (604m), Punta Is Coris (607m) fino a Serra Giuenni (585m, 568m).

Il profilo del colle tagliato da Nord a Sud è asimmetrico, il versante settentrionale ha una pendenza media del 35% circa mentre quello meridionale del 20% circa.

Le numerose incisioni che solcano i versanti si presentano incassate, spesso colmate, nei tratti meno acclivi, da scariche detritiche riconducibili all'azione dei processi gravitativi. A scala locale si osservano alcune valli più o meno profonde dal profilo simmetrico marcatamente a V, con frequenti meandri incassati, segno di un recente ringiovanimento con tendenza all'approfondimento degli alvei. I depositi alluvionali presentano spessori molto modesti e relegati nel fondo valle spesso costituiti da blocchi di grosse dimensioni che indicano trasporti di massa considerevoli. I corsi d'acqua presentano un regime esclusivamente torrentizio e sono caratterizzati da scarsa permeabilità del substrato, ridotta sezione idraulica ed elevata pendenza media delle aste.

Per quanto riguarda le caratteristiche geomorfologiche dei fenomeni franosi nell'area di studio non sono stati segnalati processi gravitativi di particolare rilevanza; sono state rilevate talvolta frane di crollo per scivolamento di elementi tabulari o ribaltamento di piccoli blocchi dalle dimensioni decimetriche accompagnati da più frequenti rilasci detritici formati da ciottoli in matrice sabbioso-ghiaiosa. Questi ultimi si accumulano entro i compluvi alla base delle pareti rocciose e alla base dei versanti, formando ampie pietraie soggette a locale rimobilizzazione secondaria, in corrispondenza di eventi pluviometrici intensi.



Figura 10 Versante settentrionale del rilievo, sulla destra.



Figura 11 Lato orientale del parco



Figura 12 Foto scattata dal lato orientale del parco rivolta a W

9.1 LINEAMENTI GEOMORFOLOGICI DELL'AREA DI STUDIO

Le turbine T1 e T2 poggeranno in litologie appartenenti alle dolomie della Formazione di Gonnese, sono segnalati nel catasto speleologico grotte e cavità carsiche, in corrispondenza delle piazzole non sono però stati rilevati vuoti nella roccia, le insenature risultano riempite da coltri eluvio-colluviali.



Figura 13 Roccia affiorante (GNN1) nei pressi della piazzola della Turbina1



Figura 14 Piazzola Turbina 2

La Turbina numero 3 poggia nella Formazione di Nebida, la giacitura delle principali discontinuità è subverticale, non sono stati rilevati ammassi rocciosi affioranti, la sommità del colle è ampia e dolce, raggiunge una quota di circa 508mslm. La morfologia è simile per quanto riguarda le piazzole delle T4,T5 e T6, in prossimità di quest'ultima è però possibile

osservare costolature di roccia affiorante con giacitura quasi verticale delimitando piccole aree dalla superficie più aspra.



Figura 15 Piazzola Turbina 3



Figura 16 Posizione Turbina 4



Figura 17 Foto scattata da posizione Turbina 5



Figura 18 Pressi Turbina 6

In corrispondenza della posizione della Turbina numero 7 la roccia affiora in buona parte della superficie, il resto risulta coperto da coltri eluvio-colluviali e vegetazione, non sono stati segnalati durante l'attività di rilevamento in campo grotte o cavità carsiche, il basamento roccioso risulta poco alterato mediamente fratturato. Nelle piazzole in cui poggeranno le Turbine 8-9 la superficie di esposizione del basamento roccioso è inferiore, si ritiene in ogni caso che gli spessori di coltre siano esigui, poiché piccoli affioramenti di roccia in posto risultano sparsi omogeneamente in tutta la sommità del colle.



Figura 19 Posizione Turbina 7



Figura 20 Piazzola T7, foto rivolta a Ovest

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 geomorfologia di quest'area è prevalentemente interessata dall'azione geochimica e fisica che l'acqua esercitata sulle rocce carbonatiche e sulle metapeliti fratturate, la quale, assieme al clima locale caratterizzato dall'imponenza del maestrale e alle importanti escursioni termiche giornaliere, ha smussato e modellato il territorio; le profonde valli a "V" sono poi dovute all'azione delle acque superficiali che scorrono sul basamento paleozoico impermeabile.

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.

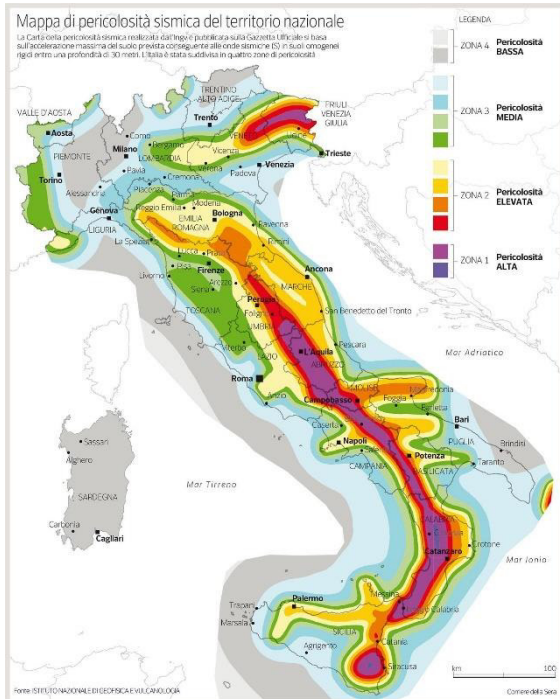


Figura 21 Carta della pericolosità sismica del territorio nazionale.

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

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 V_R , 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 V_R , a partire dai valori dei seguenti parametri su sito di riferimento rigido orizzontale:

a_g accelerazione orizzontale massima al sito;

F_0 valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;

T_c^* valore di riferimento per la determinazione del periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.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 II**.

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 22 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. Il NTC2018 (Figura 24). Nel Caso specifico $C_U = 2$.

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.

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

Figura 23 Valori di coefficiente d'uso C_U

Il valore del periodo di riferimento è $V_r = 50$

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 $i > 30^\circ$

Figura 24 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

Figura 25 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 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 27-28/01/2022 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.

Stendimento	Orientamento	Intervallo Geofoni (m)	Lunghezza (m)
TRM-1	SW-NE	3,0	69,0
RM-1	W-E	3,0	69,0
RM-2	W-E	3,0	69,0
TRM-2	W-E	3,0	69,0

Tabella 1 Ubicazione degli stendimenti

La prospezione, eseguita i giorni 27/01/2022 e 28/01/2022, è stata articolata secondo il seguente programma di attività:

1. Verifica preliminare dei luoghi oggetto d'indagine
2. Pianificazione dell'ubicazione delle prospezioni sismiche di concerto con il tecnico responsabile del programma generale delle indagini geognostiche che ha confermato quanto previsto dal programma progettuale.
3. Acquisizione dei dati in campo attraverso l'esecuzione di n° 4 stendimenti di sismica MASW (TRM1 –RM1 –RM2–TRM2).
4. Rilievo topografico tramite livella laser di tutti i punti di misura (geofoni, punti di shot, picchetti in acciaio) e restituzione dei profili altimetrici da impiegare nelle sezioni sismiche;
5. Elaborazione dei dati tramite analisi delle prospezioni acquisite in campagna, applicazione filtri, e restituzione grafica delle sezioni sismiche con l'impiego del software ZondST2D.

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:

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

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.

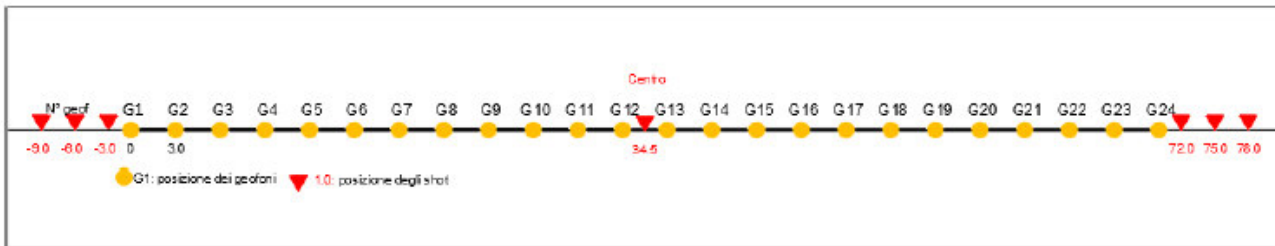
8.1.1. SPECIFICHE DELLE INDAGINI SVOLTE

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 3,0 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



8.1.2. 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.

8.1.3. 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.

8.1.4. 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)

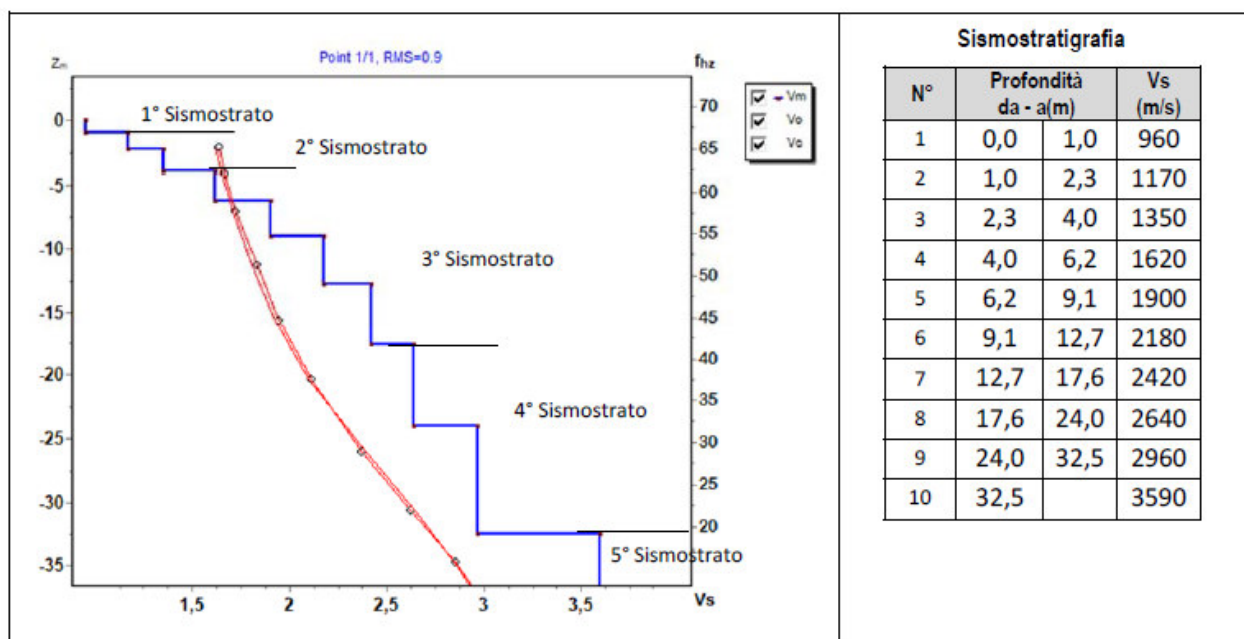
Categoria	Descrizione
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.</i>
B	<i>Rocce tenere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

8.2. RISULTATI DELL'INDAGINE MASW TRM-1

L'indagine sismica con tecnica MASW ha permesso di ottenere il profilo medio di velocità delle onde di taglio verticali Vs dello stendimento TRM-1, 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 – 1,0	1° sismostrato con Vs di 960 m/s , Substrato roccioso fratturato
1,0 – 4,0	2° sismostrato con Vs tra 1170 e 1350 m/s , Substrato roccioso debolmente fratturato
4,0 – 17,6	3° sismostrato con Vs tra 1620 e 2420 m/s , Substrato roccioso sano
17,6 – 32,5	4° sismostrato con Vs tra 2640 e 2960 m/s , Substrato roccioso sano
>32,5	5° sismostrato con Vs di 3590 m/s , Substrato roccioso sano

MASW TRM-1 - 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 1,0 m (Vs>800 m/s), che dà luogo ad una Categoria A di sottosuolo, ossia:

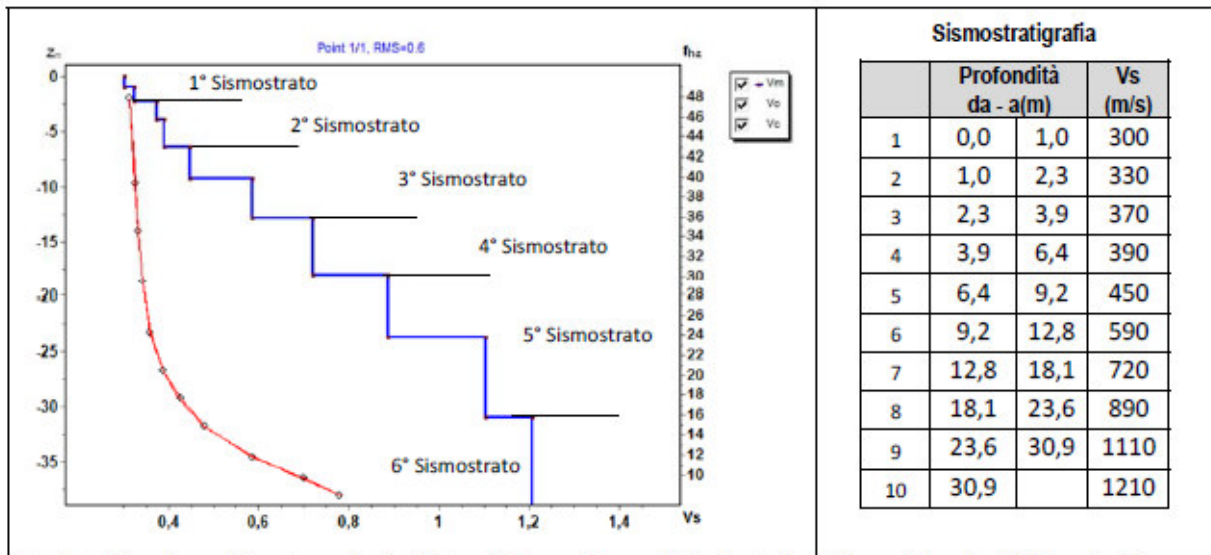
Categoria A: Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.

8.3. RISULTATI DELL'INDAGINE MASW RM-1

L'indagine sismica con tecnica MASW ha permesso di ottenere il profilo medio di velocità delle onde di taglio verticali Vs dello stendimento RM-1, 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 – 2,3	1° sismostrato con Vs tra 300 e 330 m/s, Terre mediamente addensate
2,3 – 6,4	2° sismostrato con Vs tra 370 e 390 m/s, Terre molto addensate e/o roccia intensamente fratturata
6,4 – 12,8	3° sismostrato con Vs tra 450 e 590 m/s, Roccia intensamente fratturata
12,8 – 18,1	4° sismostrato con Vs di 720 m/s, Roccia intensamente fratturata
18,1 – 30,9	5° sismostrato con Vs tra 890 e 1110 m/s, Substrato roccioso intensamente fratturato
>30,9	6° sismostrato con Vs di 1210 m/s, Substrato roccioso fratturato

MASW RM-1 - 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:
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 18,1 m (Vs>800 m/s)

La velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio calcolata per il substrato posto a 18,1 m di profondità dal p.c. è pari a: $V_{s,eq} = 18,1/0,037681 = 480$ m/s.

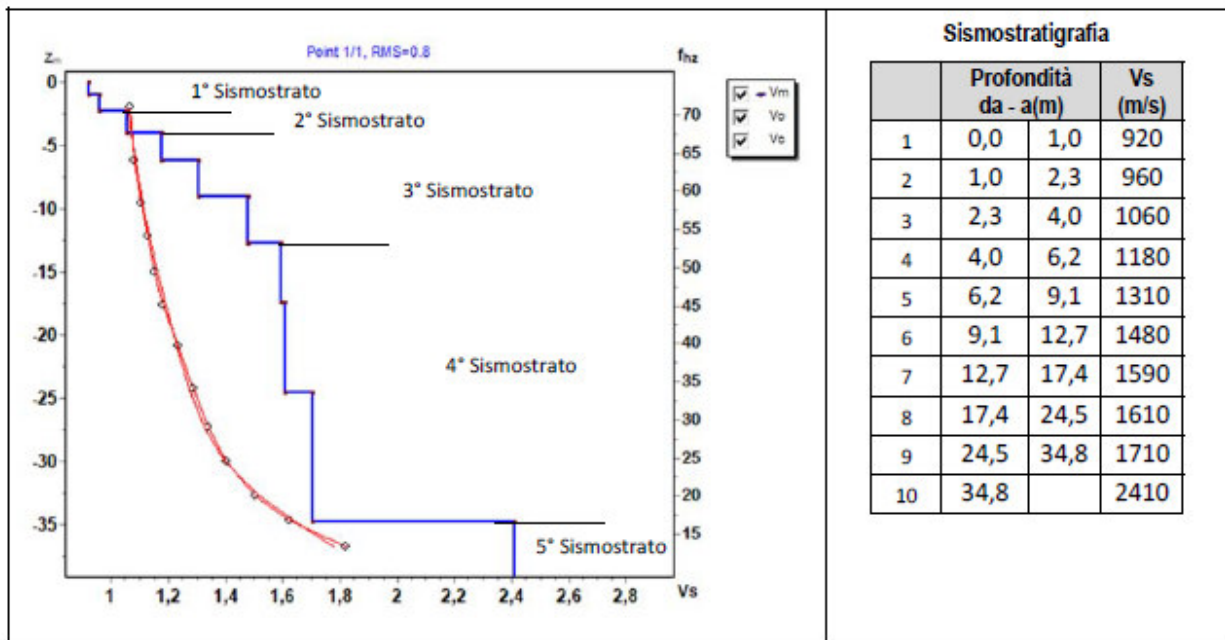
Ciò consente di classificare il terreno come *Categoria B Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti*, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s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

8.4. RISULTATI DELL'INDAGINE MASW RM-2

L'indagine sismica con tecnica MASW ha permesso di ottenere il profilo medio di velocità delle onde di taglio verticali Vs dello stendimento RM-2, 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 – 2,3	1° sismostrato con Vs tra 920 e 960 m/s, Substrato roccioso fratturato
2,3 – 4,0	2° sismostrato con Vs di 1060 m/s, Substrato roccioso debolmente fratturato
4,0 – 12,7	3° sismostrato con Vs tra 1180 e 1480 m/s, Substrato roccioso da debolmente fratturato a sano
12,7 – 34,8	4° sismostrato con Vs tra 1590 e 1710 m/s, Substrato roccioso sano
>34,8	5° sismostrato con Vs di 2410 m/s, Substrato roccioso sano

MASW RM-2 - 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 1,0 m ($V_s > 800$ m/s), che dà luogo ad una Categoria A di sottosuolo, ossia:

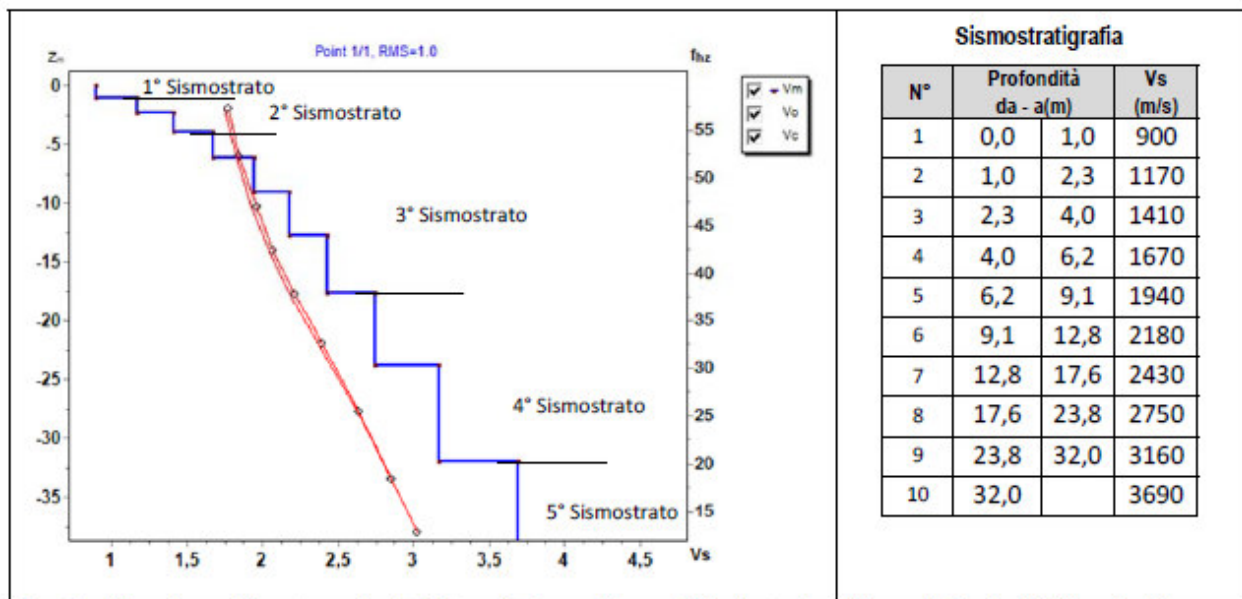
Categoria A: Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.

8.5. RISULTATI DELL'INDAGINE MASW TRM-2

L'indagine sismica con tecnica MASW ha permesso di ottenere il profilo medio di velocità delle onde di taglio verticali Vs dello stendimento TRM-2, 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 – 1,0	1° sismostrato con Vs di 900 m/s, Substrato roccioso fratturato
1,0 – 4,0	2° sismostrato con Vs tra 1170 e 1410 m/s, Substrato roccioso debolmente fratturato
4,0 – 17,6	3° sismostrato con Vs tra 1670 e 2430 m/s, Substrato roccioso sano
17,6 – 32,0	4° sismostrato con Vs tra 2750 e 3160 m/s, Substrato roccioso sano
>32,0	5° sismostrato con Vs di 3690 m/s, Substrato roccioso sano

MASW TRM-2 - 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 1,0 m (Vs>800 m/s), che dà luogo ad una Categoria A di sottosuolo, ossia:

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

9. CATEGORIE DI SOTTOSUOLO E PARAMETRI DI PERICOLOSITÀ SISMICA

Attraverso le indagini con la tecnica MASW si rileva un substrato roccioso ($V_s > 800$ m/s) a profondità variabile tra 1m e 18,1m che dà luogo quasi ovunque alla **categoria A** e localmente alla **categoria B**, in particolare nella prima ricadono le turbine T01, T02, T05, T06, T07, T08 e T09, mentre nella seconda ricadono le turbine T03, T04 e il tratto di viabilità che intercorre tra le due.

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>

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_{Seq} [m/s]	Categoria sottosuolo (NTC2018)
TRM-1	1,0	>800	A
RM-1	18,1	480	B
RM-2	1,0	>800	A
TRM-2	1,0	>800	A

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	30	0,183	2,610	0,273
SLD	50	0,231	2,670	0,296
SLV	475	0,490	2,880	0,340
SLC	975	0,591	2,980	0,372

Figura 26 Parametri sismici in funzione delle coordinate geografiche del sito

dove:

Stati limite di esercizio

Stati limite ultimi

ag accelerazione orizzontale massima al sito

Stato Limite di Operatività (SLO) Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV)
accelerazione orizzontale

Fo valore massimo del fattore di ampl. dello spettro in

Stato Limite di Danno (SLD) Stato Limite di prevenzione del Collasso (SLC)
in acc. orizzontale

T*C periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro