



Nuovo impianto per la produzione di energia da fonte eolica nei comuni di Ballao e Armungia (SU)

RELAZIONE SULLA PERICOLOSITA' SISMICA DI BASE EX NTC 2018

Rev. 0.0

Data: 09 Novembre 2020

AU-WIND001.REL003c

Committente:

Econergy Project 2 S.r.l.
via Alessandro Manzoni n. 30
20121 MILANO (MI)
C. F. e P. IVA: 10982660960
PEC: econergyproject2@legalmail.it

Incaricato:

Queequeg Renewables, ltd
Unit 3.21, 1110 Great West Road
TW80GP London (UK)
Company number: 111780524
email: mail@quenter.co.uk

SOMMARIO

| | |
|---|----|
| 1. Premessa..... | 3 |
| 2. Ubicazione e caratteristiche generali dell'intervento | 3 |
| 2.1 Studi ed indagini di riferimento | 3 |
| 2.2 Inquadramento geografico generale | 4 |
| 3. Inquadramento Geologico | 7 |
| 3.1 Descrizione del contesto geologico dell'area vasta oggetto di intervento..... | 7 |
| 4. Inquadramento Geomorfologico | 11 |
| 4.1 Lineamenti geomorfologici generali | 11 |
| 5. Inquadramento sismico | 12 |
| 5.1 Azione sismica..... | 13 |
| 5.2 Vita nominale, classi d'uso e periodo di riferimento..... | 14 |
| 5.3 Amplificazione stratigrafica e topografica..... | 15 |
| 6. Indagini Geognostiche | 16 |
| 6.1 Categorie del sottosuolo..... | 23 |
| 6.1.1 Parametri di pericolosità sismica | 25 |



1. Premessa

In relazione al progetto per la **realizzazione di un Parco Eolico denominato "Br.cu 'e Niada"** dislocato nel territorio comunale di Ballao Provincia del Sud Sardegna della società **Econergy project 2 S.r.l.**, 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 **06.08.2020** è stata eseguita una prospezione sismica eseguita con la tecnica MASW (stendimenti denominati M1 – M2 – M3) al fine di determinare la categoria di sottosuolo.

La presente è redatta in ottemperanza 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).

2. Ubicazione e caratteristiche generali dell'intervento

2.1 Studi ed indagini di riferimento

Le informazioni topografiche e geologiche di base dell'area oggetto della presente, sono state ricavate dalla cartografia tematica esistente. Si elencano di seguito:

- Carta Topografica I.G.M. scala in 1:25000
- Carta Tecnica Regionale in scala 1:10000
- RAS - Modello digitale del Terreno con passo 1m
- Carta Geologica dell'Italia in scala 1:100.000 nel foglio n°226 "Mandas", e nei fogli n°541 "Jerzu" e 549 "Muravera" 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 – ARPA – Dati meteoroclimatici 1971-2000 e 2014
- 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
- Analisi orto-fotogrammetrica

I dati a disposizione sono stati integrati con le informazioni derivanti da studi effettuati dalla scrivente nella zona di interesse.

2.2 Inquadramento geografico generale

Il comune di Ballao si trova nella Sardegna meridionale e confina con il comune di Armungia, Escalaplano, Goni, Perdasdefogu (NU), San Nicolò Gerrei, Silius e Villaputzu. L'area che interessa le opere in progetto è situata nella periferia nord-est dell'abitato di Ballao, in località "Bruncu Niada", in un'area compresa tra quota 421 m della località Gutturu Luas e I 555 m s.l.m. di Br.cu Niada.

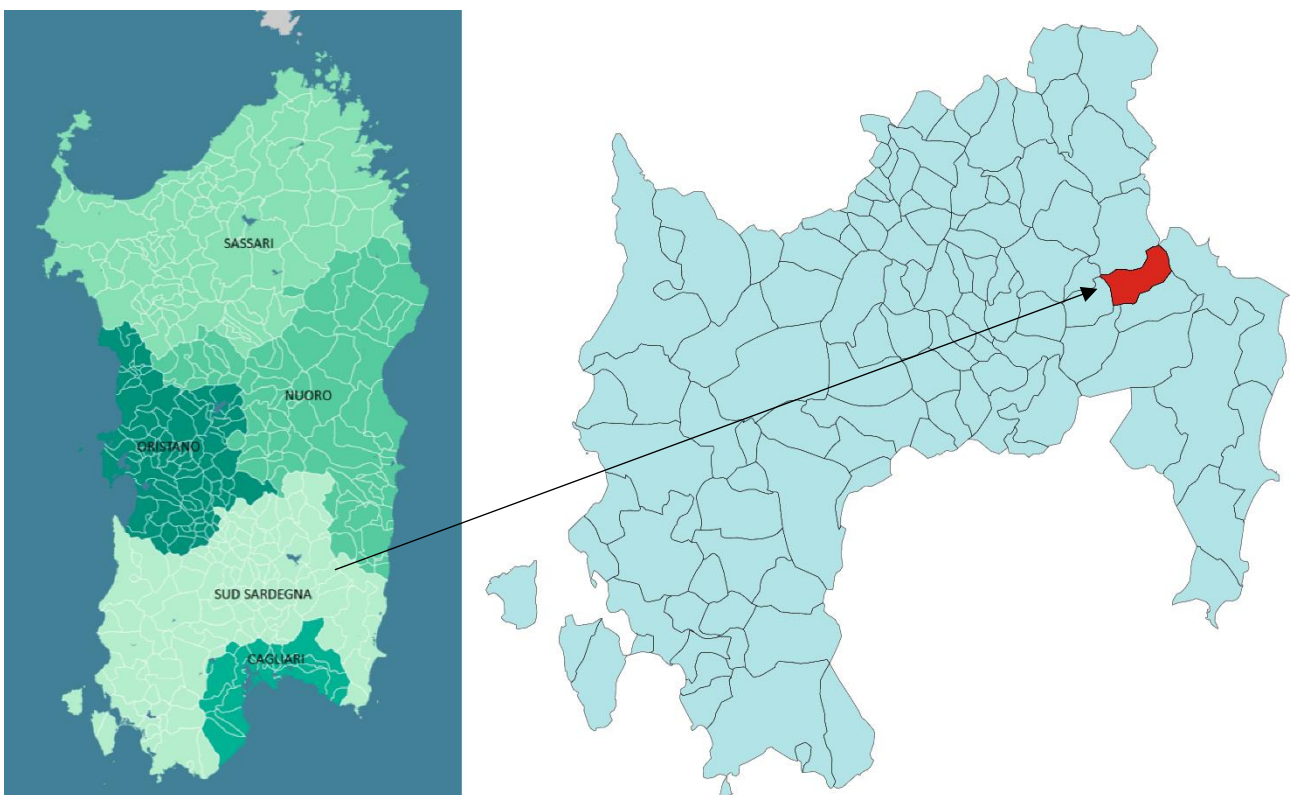


Figura 2.1 - Localizzazione comune di Ballao

L'inquadramento cartografico di riferimento è il seguente:

- Cartografia ufficiale dell'Istituto Geografico Militare I.G.M scala 1:25 000. Serie 25 -Fogli: 541 sez. III "Escalaplano", 549 sez. IV "Ballao".
- Carta Tecnica Regionale scala 1:10 000 - Fogli: 541130 "Escalaplano", 541140 "Salto di Quirra", 549010 "Miniera di Corti Rosas", 549020 "Monte S'Ollasteddu", 549050 "Ballao".

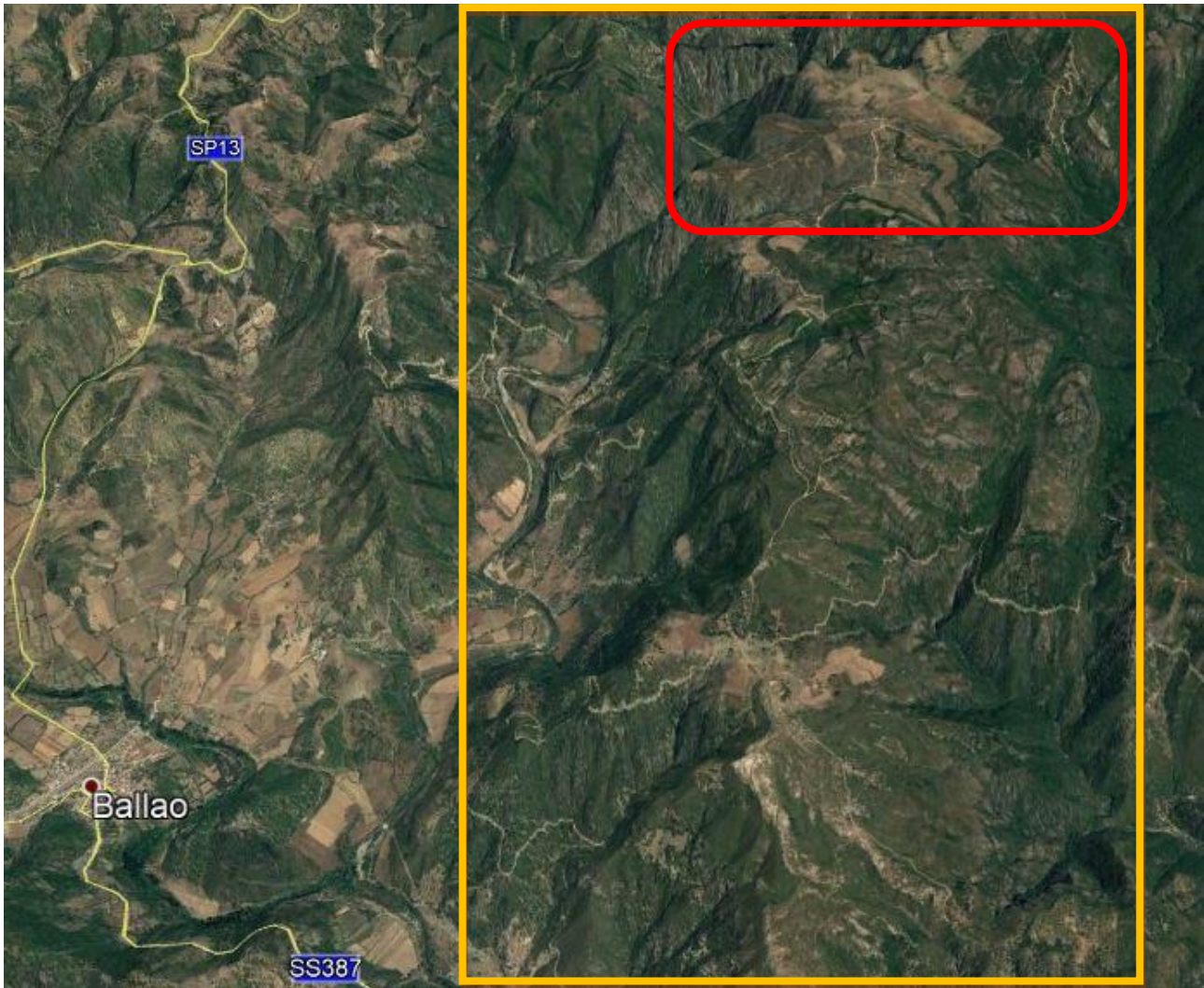


Figura 2.2 Localizzazione dell'area comprensiva delle turbine (in rosso) e del cavidotto e sottostazione (in arancio) - (Google Earth)

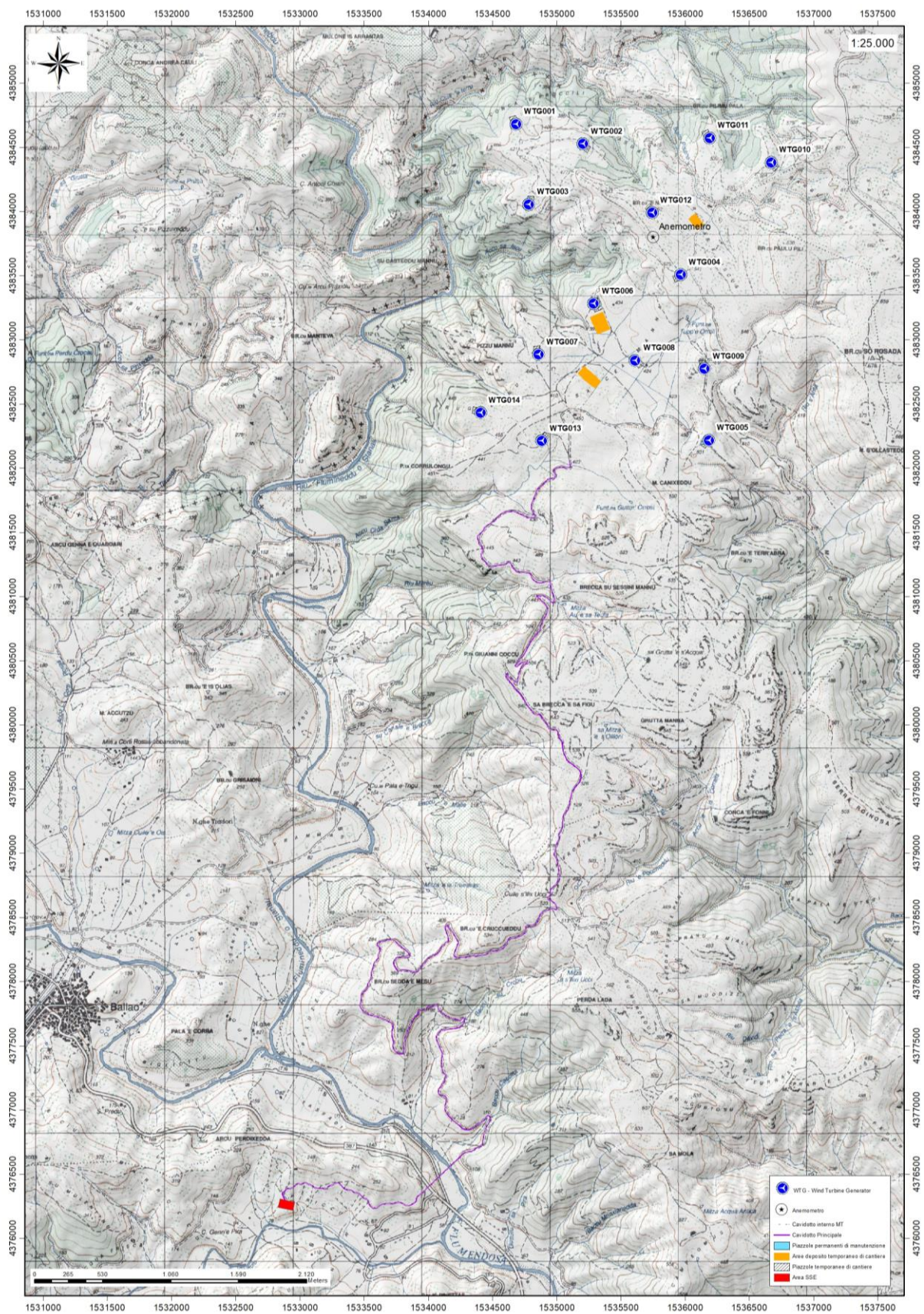


Figura 2.3 - Inquadramento topografico – IGM scala 1:25000

3. Inquadramento Geologico

3.1 Descrizione del contesto geologico dell'area vasta oggetto di intervento

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

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

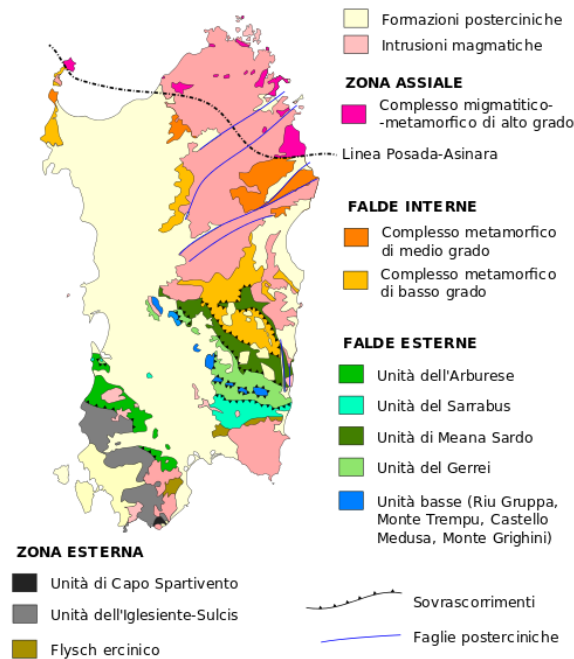


Figura 3.1: schema geologico-strutturale della Sardegna.

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. Successivamente, nel Cambriano, la messa in posto dei batoliti granitici ercinici ha prodotto metamorfismo termico e di alta pressione delle rocce esistenti.

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 (Figura 3.1) che, da NE verso SW (procedendo dal nucleo orogenetico verso l'avanfossa) sono note come: Zona Assiale (Sardegna NE), Zona a Falde interne (Sardegna centrale), e Zona a Falde esterne (Sardegna SW).

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, dalle coperture sedimentarie eoceniche, e dai depositi quaternari. Le Unità Tettoniche affioranti sono costituite da originarie successioni sedimentarie e vulcaniche di età compresa tra il Cambriano e il Carbonifero inferiore.

L'impilamento tettonico delle Falde esterne, nell'area di studio (Fig. 3.2), 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 Monte 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 nella sottounità 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, la lacuna comprende quasi tutto il Paleocene; depositi trasgressivi dell'Eocene inferiore sono ben rappresentati nell'area di studio rappresentati dalla Formazione di Monte Cardiga che rappresenta la successione più potente e completa della Sardegna orientale (Fig. 3.2).

Seguono le coperture dei depositi quaternari costituiti da depositi di versante coltri eluvio colluviali e depositi alluvionali.

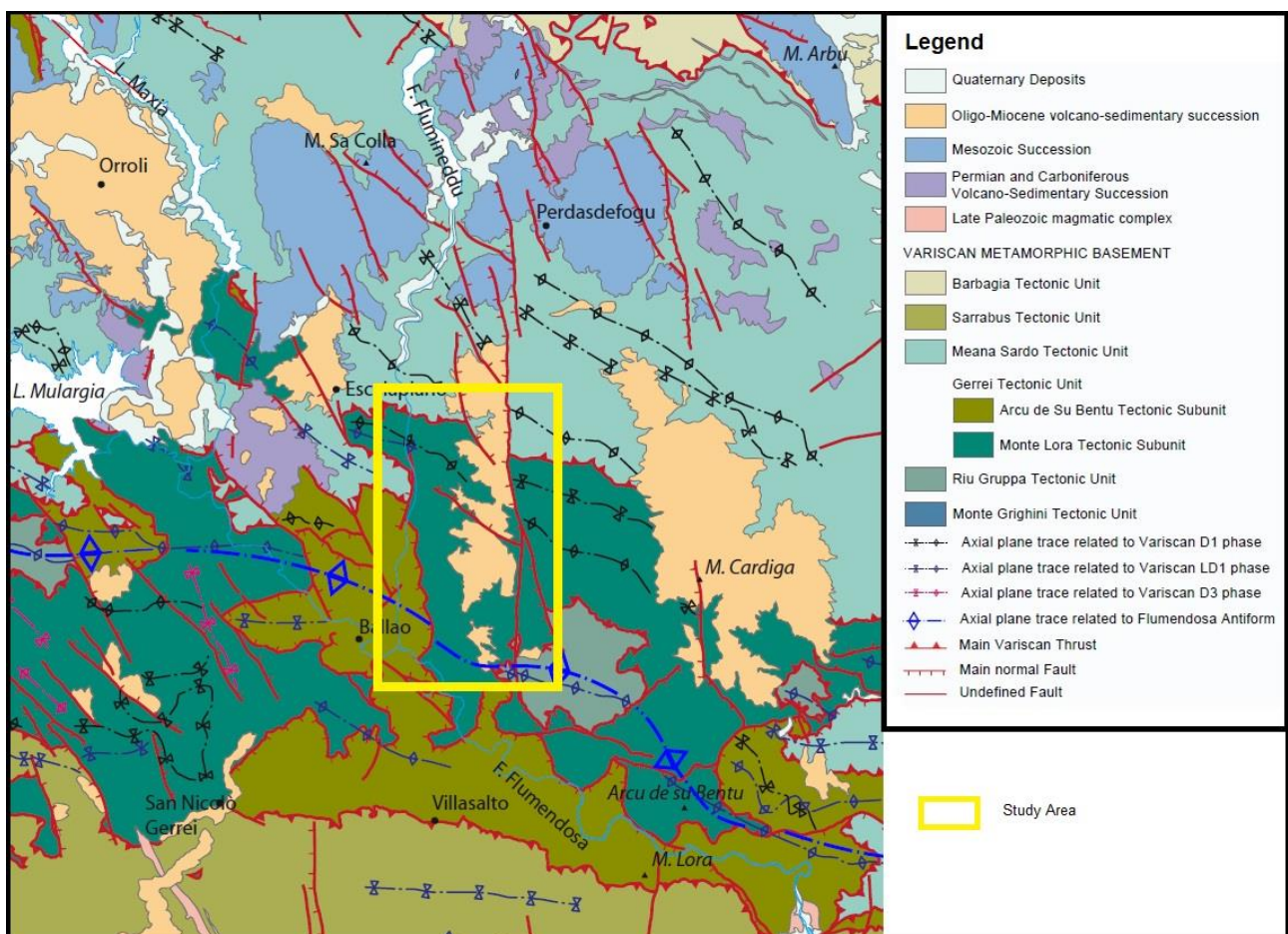


Figura 3.2: Schema tettonico dell'area di studio (tratto da Funedda et al., 2014)

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:

a - Coltri eluvio-colluviali. Depositi di versante. Detriti con clasti angolosi, talora parzialmente cementati. OLOCENE

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

ba - Coltri eluvio-colluviali. Depositi alluvionali. Ghiaie da grossolane a medie. OLOCENE

ba - Coltri eluvio-colluviali. Depositi alluvionali terrazzati. Ghiaie con subordinate sabbie. OLOCENE

PVM2a – Litofacies del Subsistema di Portoscuso (SINTEMA DI PORTOVESME). Ghiaie alluvionali terrazzate, da medie a grossolane, con subordinate sabbie. PLEISTOCENE SUP.

Successione Eocenica della Sardegna Orientale:

FMCb – Litofacies nella Formazione di Monte Cardiga. Argille e marne con piccoli ostracodi, con intercalazioni di livelli di calcari ad alveoline, miliolidi, nummuliti e ostracodi. EOCENE INF.

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

Corteo filoniano:

fp – Porfidi granitici, di colore prevalente rosato e rossastro, a struttura da afirica a porfirica, per fenocristalli di Qz, Fls e Bt a tessitura isotropa; in giacitura filoniana, talvolta in ammassi. CARBONIFERO SUP. – PERMIANO

fb – Filoni basaltici a serialità transizionale, di composizione basaltica olivinica e trachibasaltica, a struttura porfirica per fenocristalli di Pl, Ol, Cpx, tessitura intersertale-ofitica. CARBONIFERO SUP. – PERMIANO

Unità tettonica di Meana Sardo:

md – Metadoleriti. Metabasiti alcaline in giacitura filoniana e metagabbri alcalini in ammassi intrusi nelle Arenarie di San Vito. ?ORDOVICIANO SUP.

MSVb – Litofacies nella Formazione di Monte Santa Vittoria. Metavulcaniti, probabili originarie piroclastiti e metaepiclastiti ("Formazione Serra Tonnai"). ORDOVICIANO ?MEDIO

MSVa – Litofacies nella 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, da decimetriche a metriche, di metarenarie micacee, quarziti e metasiltiti, e livelli di metaconglomerati minuti quarzosi nella parte alta. CAMBRIANO MEDIO - ORDOVICIANO INF.

Unità tettonica del Gerrei:

PMNa – Litofacies nella Formazione di Pala Manna. Metaconglomerati a elementi di quarzoareniti, arenarie, liditi e rari elementi calcarei. CARBONIFERO INF.

PMN – Formazione di Pala Manna. Alternanze di metasiltiti, metarenarie e metaquarzoareniti. Olistoliti di diaspri neri (liditi). CARBONIFERO INF.

SGAb – Litofacies negli Scisti a Graptoliti AUCT. "Scisti a Tentaculiti" AUCT:. Alternanze decimetriche regolare di metasiltiti e metacalcari grigi. SILURIANO - DEVONIANO MEDIO

SGAa – Scisti a Graptoliti AUCT. Metapeliti carboniose e metasiltiti con graptoliti, con intercalati livelli di diaspri neri (liditi). SILURIANO - DEVONIANO MEDIO

SGA - Litofacies negli Scisti a Graptoliti AUCT. Metacalcari scuri e metacalcari nodulari fossiliferi, con abbondanti crinoidi e ortoceratidi. SILURIANO - DEVONIANO MEDIO

ACNc – Litofacies negli Argilloscisti di Rio Canoni. Metabasiti. Derivati metamorfici di basalti alcalini e metagrovacche vulcaniche. ORDOVICIANO SUPERIORE

ACN – Argilloscisti di Rio Canoni. Metapeliti grigio-verdastre, metasiltiti carbonatiche fossilifere, rare intercalazioni di metacalcari e metavulcaniti basiche. ORDOVICIANO SUPERIORE

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

MRVa – Litofacies nel Metaconglomerato di Muravera. Metaquarzoareniti e metarcose biancastre. ORDOVICIANO MEDIO

MRV – Metaconglomerato di Muravera. Metaconglomerati eterometrici poligenici, grossolani, con clasti arrotondati di quarzoareniti e arenarie listate, in matrice filladica, alternati a metasiltiti e metarenarie di colore verde, talora grigio scuro. ORDOVICIANO ?MEDIO

MUZ – Metarenarie e quarziti di Su Muzzioni. Alternanze irregolari di metarenarie grossolane micacee, metasiltiti e filladi. ORDOVICIANO MEDIO

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

PRFa - Litofacies nei PORFIROIDI AUCT. Porfiroidi a grossi fenocristalli: metarioliti e metariodaciti con fenocristalli di feldspato potassico di taglia fino a 12-14 cm. ORDOVICIANO MEDIO

PRF - Porfiroidi AUCT. Metarioliti e metariodaciti con struttura occhiadina, metaepiclastiti ORDOVICIANO MEDIO

SVIb – Litofacies nelle Arenarie di San Vito. Lenti di metacalcari talvolta siltosi, fortemente ricristallizzati. CAMBRIANO MEDIO – ORDOVICIANO INF.

SVI - Arenarie di San Vito. Alternanze irregolari, da decimetriche a metriche, di metarenarie micacee, quarziti e metasiltiti, e livelli di metaconglomerati minuti quarzosi nella parte alta. CAMBRIANO MEDIO - ORDOVICIANO INF.

Unità tettonica di Riu Grappa:

CSAb - Litofacies nei Complesso di Sa Lilla. Metarenarie e metaconglomerati. Metaquarzoareniti, metarenarie e metaconglomerati poligenici. SILURIANO – CARBONIFERO INF.

CSAa - Litofacies nei Complesso di Sa Lilla. Marmi, marmi dolomitici, rari calcescisti. SILURIANO – CARBONIFERO INF.

CSA – Complesso di Sa Lilla. Irregolare alternanza di metapeliti e metarenarie, caratterizzate da una forte complicazione strutturale che impedisce una ricostruzione dell'originaria successione stratigrafica. SILURIANO – CARBONIFERO INF.

Nell'area investigata attraverso l'indagine sismica, presso cui andranno installate le turbine, affiorano le formazioni di San Vito (SVI), che affiora nell'Unità di Meana Sardo, dei Porfiroidi (PRF), affioranti nell'Unità del Gerrei, la Formazione di Monte Cardiga (FMCa e FMCb) che poggia in discordanza sulle precedenti, e i depositi eluvio-colluviali (b2).

4. Inquadramento Geomorfológico

Il territorio indagato è costituito sostanzialmente da un esteso altipiano, la cui forma prevalentemente pianeggiante 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 (Figura 4.1).

Questo ha innescato una nuova azione geomorfogenetica ad opera degli agenti atmosferici (acqua, vento in primis) che hanno rimodellato l'altipiano 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.

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.

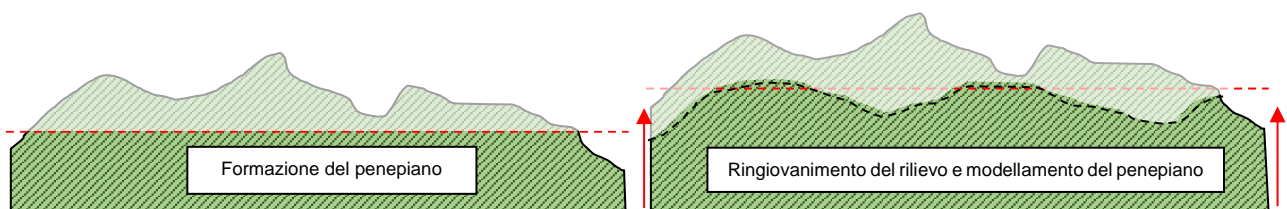


Figura 4.1 - Schema dell'evoluzione geomorfologica del complesso paleozoico (non in scala)

4.1 Lineamenti geomorfologici generali

I tratti geomorfologici del settore di studio sono dati da estese superfici sub-orizzontali del basamento paleozoico, al di sopra delle quali si trovano in discordanza angolare, le coperture eoceniche, incise dalle valli del F. Flumineddu, e dei suoi affluenti.

Gli affluenti del Flumineddu incidono questi altipiani, formando valli con versanti molto acclivi, che conferiscono al paesaggio un aspetto particolarmente aspro. 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 plio-quadernaria.

Le incisioni operate dai torrenti conferiscono agli altipiani un andamento estremamente frastagliato, talora formando piccoli affioramenti isolati (mesas) che risaltano sui più regolari del basamento paleozoico per i loro orli a gradinata subverticali. In alcune aree, l'evoluzione del rilievo è riconducibile ad una genesi più complessa che ha portato prima alla riesumazione dell'antica superficie di erosione coincidente con il penepiano permo-

triassico, a seguito della tettonica oligo-miocenica e plio-pleistocenica, ed al conseguente smantellamento, quasi completo, della copertura eocenica.

Spesso lungo le superfici strutturali si osserva un'erosione regressiva operata da profonde incisioni vallive, talora vere e proprie forre, dei torrenti affluenti di destra del Flumineddu.

Il complesso reticolato idrografico dell'area di studio mostra valli quasi sempre molto incassate, con prevalente andamento N-S (Riu Flumineddu). Alcuni corsi d'acqua presentano un caratteristico andamento a meandri, ereditati nel basamento paleozoico per la sovrapposizione a seguito dell'asportazione delle coperture sedimentarie mesozoiche e terziarie o, in qualche caso, influenzati dalla litologia. La forma delle valli è in genere a V nei corsi d'acqua minori. I versanti vallivi modellati negli scisti paleozoici sono localmente asimmetrici e verso l'alto, in corrispondenza delle coperture terziarie, diventano invece complessi, a gradinata o sub-verticali.

Particolarmente evidenti sono i rilievi tabulari e le cornici di roccia nelle litologie carbonatiche ed arenacee dell'Eocene che caratterizzano l'area di studio. Gli eventi geodinamici e morfostrutturali che si sono succeduti a partire dall'emersione della successione eocenica, la hanno frammentata, dislocando le sue parti a diverse quote, portando all'attuale conformazione geomorfologica dell'area caratterizzata da tavolati più o meno estesi separati da profonde valli fluviali. Sui bordi degli altipiani, spesso caratterizzati dall'erosione retrograda, spesso si osserva la formazione di imponenti blocchi calcarei franati lungo *tension cracks* parallele al bordo stesso, nei banchi più calcarei si sviluppano morfologie carsiche impostate su superfici strutturali (diaciasi e strati).

5. 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.

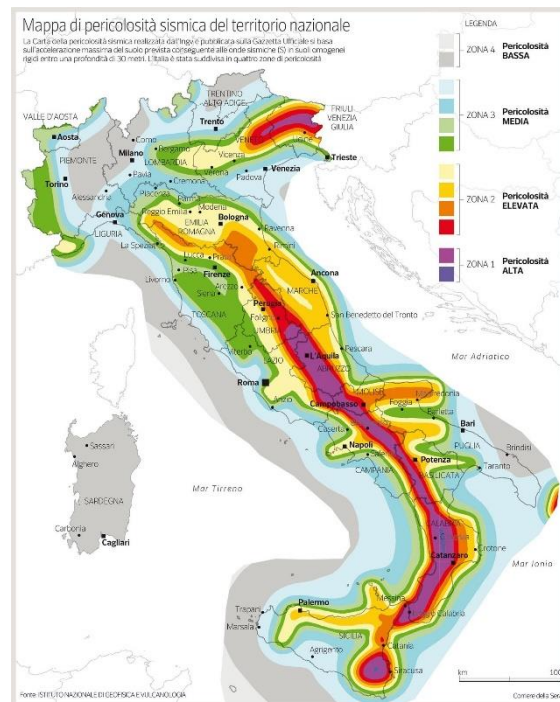


Figure 5.1: Carta della pericolosità sismica del territorio nazionale.

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

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;

Fo 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 , Fo 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.

| 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 5.2: 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 :

¹ Per i valori di a_g , Fo 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.

$$V_R = V_N \times C_U$$

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

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

Figura 5. 3: Valori di coefficiente d'uso C_U

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

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.

| 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 5.4: 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 5.1 - 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.

6. Indagini Geognostiche

Al fine di definire le caratteristiche fisico-meccaniche e sismiche dei terreni di sedime di cui al progetto in data 26.06.2020 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.

| Tipologia Indagine | Sigla Stendimento | Orientamento | Intervallo Geofoni (m) | Lunghezza (m) |
|--------------------|-------------------|--------------|------------------------|---------------|
| MASW | M1 | SE-NW | 3,0 | 72,0 |
| MASW | M2 | SSE-NNW | 3,0 | 72,0 |
| MASW | M3 | SE-NW | 3,0 | 72,0 |

Figura 6.1: Schema delle indagini svolte.

La prospezione geofisica integrativa al piano di indagini dirette effettuate tramite l'esecuzione di sondaggi è stata eseguita il giorno 06/08/2020. La prospezione 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° 3 stendimenti di sismica MASW (M1 – M2 – M3) e n° 3 rifrazioni (R1 – R2 – R3). Le basi sismiche MASW ricadono lungo il medesimo allineamento delle Rifrazioni in onde P.
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.

L'ubicazione generale degli stendimenti è indicata nella planimetria di Figura 6.2, mentre quelle di dettaglio M1 – R1, M2 – R2 e M3 – R3 rispettivamente nelle Figure 6.3, 6.4 e 6.5.



Figura 6.2: Planimetria ubicazione degli stendimenti

Sono stati realizzati n° 3 stendimenti MASW con 24 geofoni e spaziatura pari a 3,0 metri, e lunghezza totale di 72 m. Lo stendimento M1 – R1 (Figura 6.3) è ubicato in prossimità del sondaggio BN_S02, effettuato dove verrà installata la turbina WTG006.

Lo stendimento M2 – R2 (Figura 6.4) è stato posizionato nell'area prossima alla zona dove verrà installata la turbina WTG011, mentre lo stendimento M3 – R3 (Figura 6.5) vicino all'area dedicata alla turbina WTG001.



Figura 6.3: Ubicazione di dettaglio dello stendimento M1 – R1 (BN_S02 rappresenta un sondaggio)

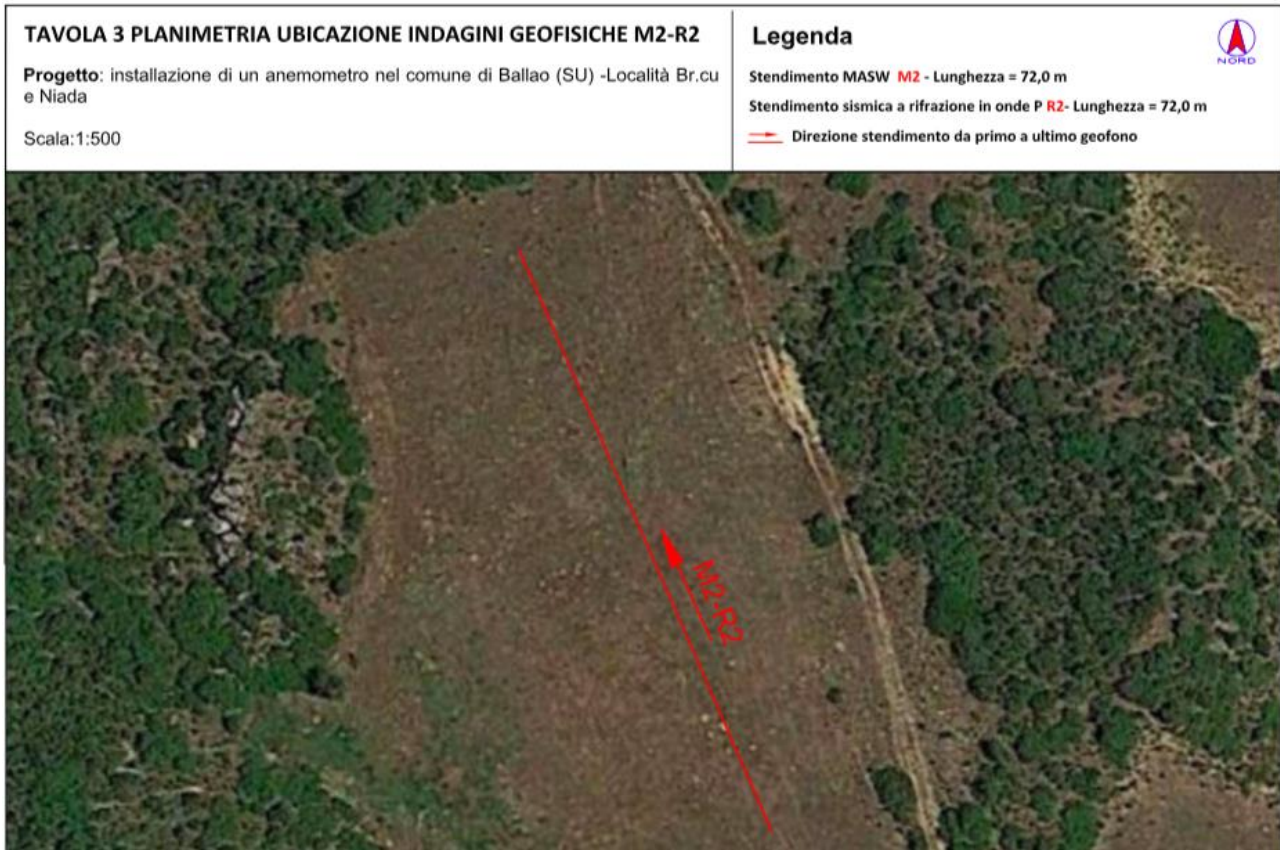


Figura 6.4: Ubicazione di dettaglio dello stendimento M2 – R2



Figura 6.5: Ubicazione di dettaglio dello stendimento M3 – R3

Stendimento M1 dal Geofono 1 al Geofono 24



Stendimento M1 dal Geofono 24 al Geofono 1



Stendimento R2 dal Geofono 1 al Geofono 24



Stendimento R2 dal Geofono 24 al Geofono 1



Figura 6.6: Vista panoramica degli stendimenti M1 – R1 e M2 – R2.

Stendimento R3 dal Geofono 1 al Geofono 24



Stendimento R3 dal Geofono 24 al Geofono 1

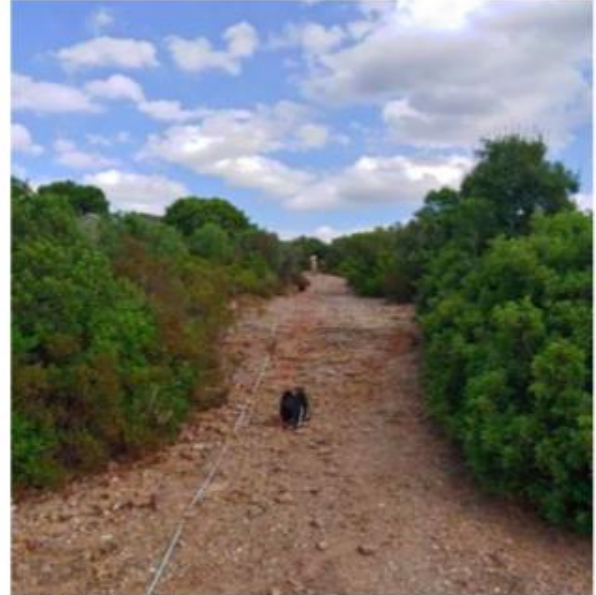


Figura 6.7: Vista panoramica dello stendimento M3 – R3.

Di seguito si riporta la tabella (Figura 4.8) con i singoli sismostrati identificati nello stendimento M1 – R1:

| Profondità [m sotto il pc] | Descrizione |
|----------------------------|--|
| 0 – 3,0 | 1° sismostrato con Vs tra 590 e 630m/s , Terre molto addensate |
| 3,0– 7,2 | 2° sismostrato con Vs di 670 m/s ,Roccia molto fratturata |
| 7,2 – 16,2 | 3° sismostrato con Vs di 810 m/s Roccia debolmente fratturata |
| 16,2– 30,0 | 4° sismostrato con Vs di 1600 m/s ,Substrato roccioso debolmente fratturato |
| >30,0 | 5° sismostrato con Vs di 2900 m/s ,Substrato roccioso sano |

Figura 6.8: Sismostrati identificati nello stendimento M1.

Di seguito si riporta la tabella con i singoli sismostrati identificati nello stendimento M2 – R2:

| Profondità [m sotto il pc] | Descrizione |
|----------------------------|--|
| 0 – 3,0 | 1° sismostrato con Vs tra 870 e 930m/s ,Substrato roccioso fratturato |
| 3,0– 7,5 | 2° sismostrato con Vs di 1040 m/s ,Substrato roccioso fratturato |
| 7,5 – 13,5 | 3° sismostrato con Vs di 1360m/s Substrato roccioso debolmente fratturato |
| 13,5– 34,9 | 4° sismostrato con Vs di 1880m/s ,Substrato roccioso sano |
| >34,9 | 5° sismostrato con Vs di 2850 m/s ,Substrato roccioso sano |

Figura 6.9: Sismostrati identificati nello stendimento M2.

Di seguito si riporta la tabella con i singoli sismostrati identificati nello stendimento M3 – R3:

| Profondità [m sotto il pc] | Descrizione |
|----------------------------|---|
| 0 – 3,0 | 1° sismostrato con Vs tra 400 e 500m/s , Terre molto addensate |
| 3,0– 7,5 | 2° sismostrato con Vs di 690 m/s , Roccia molto fratturata |
| 7,5 – 14,3 | 3° sismostrato con Vs di 1200m/s Rocciafratturata |
| 14,3– 30,8 | 4° sismostrato con Vs di 1950 m/s , Substrato roccioso sano |
| >30,8 | 5° sismostrato con Vs di 2440 m/s , Substrato roccioso sano |

Figura 6.10: Sismostrati identificati nello stendimento M3.

6.1 Categorie del sottosuolo

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 con:

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

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 per lo stendimento M1 (Figura 4.11) si pone l'eventuale presenza del substrato a profondità 8,2 m (Vs >800m/s).

La velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio calcolata per il substrato posto a profondità 8,2m di profondità dal p.c. è pari a:

$$V_{s,eq} = 8,2/0,0126 = 653 \text{ m/s}$$

Ciò consente di classificare il terreno come **categoria B** (Tab. 3.2.II e 3.2.III; Figura 6.14): **Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fine 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.

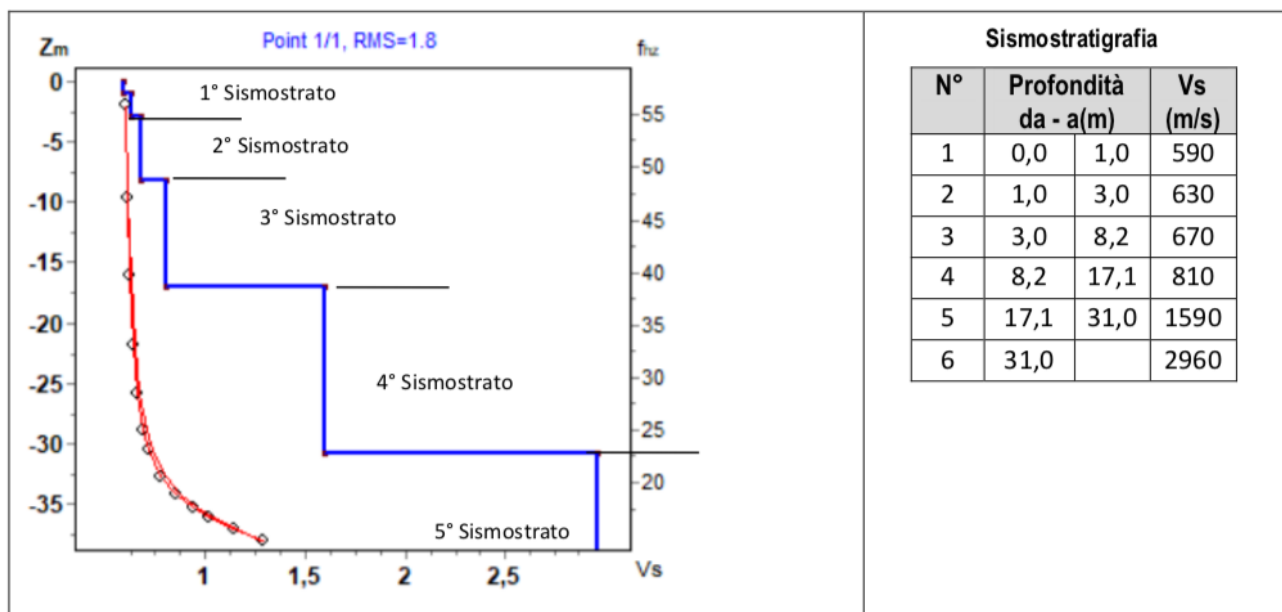


Figura 6.11: Profilo rilevato per lo stendimento M1.

Si precisa che per fondazioni con piano di imposta sito a profondità maggiore di 1,0 m la classe di sottosuolo passa a Categoria A, in quanto la V_s diventa maggiore di 800 m/s includendo in superficie terreni con caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3,0 m.

Esaminato il profilo delle V_s per lo stendimento M2 (Figura 6.12), si pone l'eventuale presenza del substrato a quota di campagna, che consente di classificare il terreno come **categoria A** (Tab. 3.2.II e 3.2.III; Figura 6.14): **Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi**, caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio > 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.

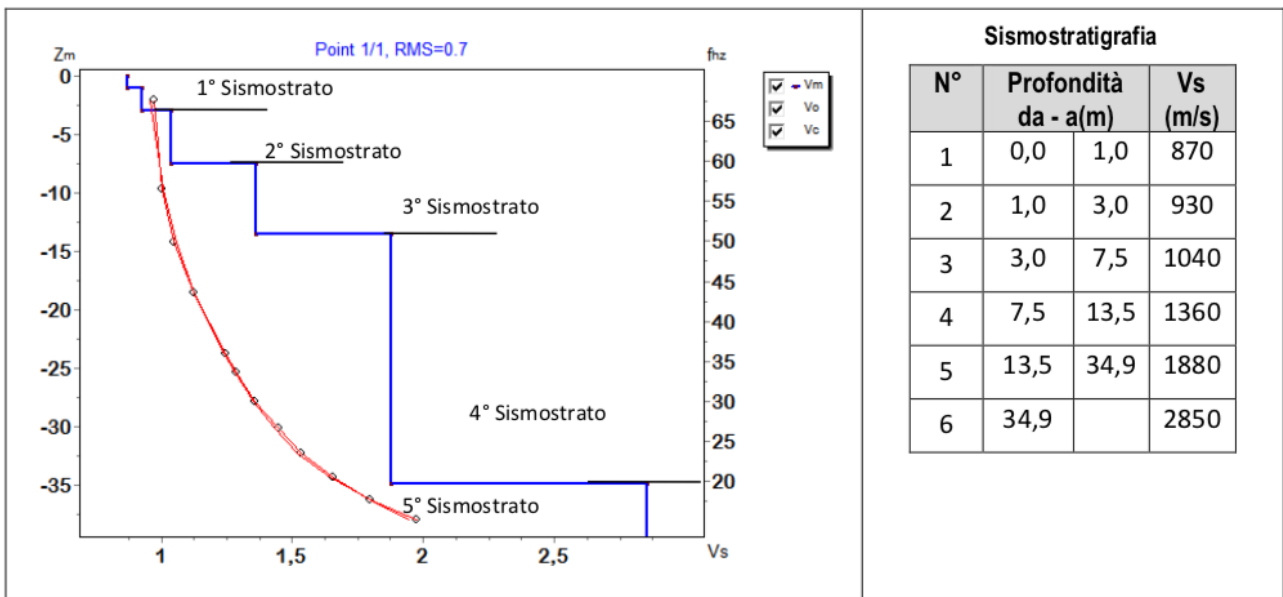


Figura 6.12: Profilo rilevato per lo stendimento M2.

Esaminato il profilo delle V_s per lo stendimento M3 (Figura 6.13) si pone l'eventuale presenza del substrato a profondità 7,5 m ($V_s > 800$ m/s).

La velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio calcolata per il substrato posto a profondità 7,5 m di profondità dal p.c. è pari a:

$$V_{s,eq} = 7,5/0,0128 = 586 \text{ m/s}$$

Ciò consente di classificare il terreno come **categoria B** (Tab. 3.2.II e 3.2.III; Figura 6.14): **Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fine 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.

Si precisa che per fondazioni con piano di imposta sito a profondità maggiore di 1,0 m la classe di sottosuolo passa a Categoria A, in quanto la V_s diventa maggiore di 800 m/s includendo in superficie terreni con caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3,0 m.

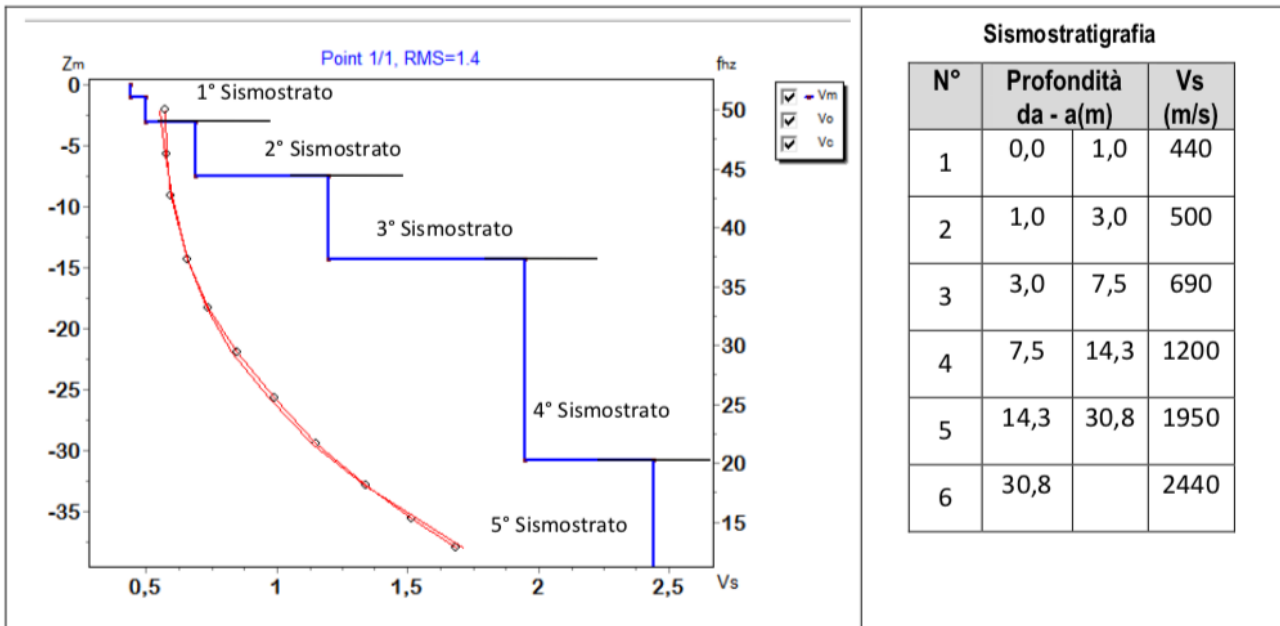


Figura 6.13: Profilo rilevato per lo stendimento M3.

I terreni analizzati mediante tecnica MASW possono esser classificati come categoria A per lo stendimento M2, e categoria B per gli stendimenti M1 e M3 (Figura 6.14).

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 | Depositati 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 | Depositati 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. |

Figura 6.14: 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 6.15: Parametri sismici in funzione delle coordinate geografiche del sito

dove:

Stati limite di esercizio

Stato Limite di Operatività (SLO)

Stato Limite di Danno (SLD)

Stati limite ultimi

Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV)

Stato Limite di prevenzione del Collasso (SLC)

ag accelerazione orizzontale massima al sito

F₀ valore massimo del fattore di ampl. dello spettro in accelerazione orizzontale

T^{*}C periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in acc. orizzontale