



Nuovo impianto per la produzione di energia da fonte eolica nel comune di Sassari e Porto Torres (SS)

RELAZIONE SULLA PERICOLOSITA' SISMICA DI BASE EX NTC 2018

Rev. 0.0

Data: Gennaio 2021

WIND006.REL003c

**ORDINE DEI GEOLOGI**
REGIONE SARDEGNA
SEZIONE A
N. 656 Dott. Geol. COSIMA ATZORI

Cosima Atzori

Committente:

Ecwind 3 S.r.l.
via Alessandro Manzoni n. 30
20121 MILANO (MI)
C. F. e P. IVA: 11437650960
PEC: ecwind3srl@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	5
3. Inquadramento Geologico	8
3.1 Descrizione del contesto geologico dell'area vasta oggetto di intervento.....	8
4. Inquadramento Geomorfologico	12
4.1 Lineamenti geomorfologici generali	13
5. Inquadramento sismico	14
5.1 Azione sismica.....	15
5.2 Vita nominale, classi d'uso e periodo di riferimento.....	15
5.3 Amplificazione stratigrafica e topografica.....	16
6. Indagini Geognostiche	17
6.1 Categorie del sottosuolo.....	26
6.1.1 Parametri di pericolosità sismica	31



1. Premessa

La presente relazione è parte integrante del procedimento di **Valutazione d'Impatto Ambientale** ai sensi del Decreto Legislativo numero 152 del 2006, e di Autorizzazione Unica Regionale ai sensi dell'articolo 12 del Decreto Legislativo numero 387 del 2003 e del D. G. R. 3/15 del 23 Gennaio 2018.

Nell'ambito della redazione del **Progetto Definitivo** che prevede la realizzazione di un impianto eolico per la produzione di energia elettrica, di potenza nominale pari a 92.400 kW denominato "Sa Corredda" e dislocato nel territorio comunale di Sassari e porto Torres nella Provincia di Sassari, al fine di avere un quadro completo del contesto geologico e geotecnico è stata redatta la presente **Relazione sulla Pericolosità Sismica di Base**, la cui stesura ottempera quanto previsto dal D.M. del 17/01/2018 recante le nuove Norme Tecniche per le Costruzioni (di seguito NTC).

In data **25-26-27/01/2021** è stata eseguita una prospezione sismica eseguita con la tecnica MASW (stendimenti denominati M1 – M2 – M3 – M4) 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 1:25 000. Serie 25 –Fogli: 440 "Stintino" sez. II, e 458 "Argentiera" sez. I, 459 "Sassari" sez. IV.
- Carta Tecnica Regionale in scala 1:10000 - Fogli: 458030, 458040, 458070, 458080, 459010, e 440160.

- RAS - Modello digitale del Terreno con passo 1m
- Carta Geologica dell'Italia in scala 1:100.000 nel foglio n°179 "Porto Torres";
- 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

Sassari è un comune dell'omonima provincia situato nella Sardegna nord-occidentale, e confina con il comune di Porto Torres, Alghero, Muros, Olmedo, Osilo, Ossi, Sennori, Sorso, Stintino, Tissi, Uri e Usini. L'area che interessa le opere in progetto è situata nella periferia ovest dell'abitato di Sassari e a sud di quello di Porto Torres, in località "Sa Corredda".

L'inquadramento cartografico di riferimento è il seguente:

- Cartografia ufficiale dell'Istituto Geografico Militare I.G.M scala 1:25 000. Serie 25 –Fogli: 440 "Stintino" sez. II, e 458 "Argentiera" sez. I, 459 "Sassari" sez. IV.
- Carta Tecnica Regionale scala 1:10 000 - Fogli: 458030, 458040, 458070, 458080, 459010, e 440160.

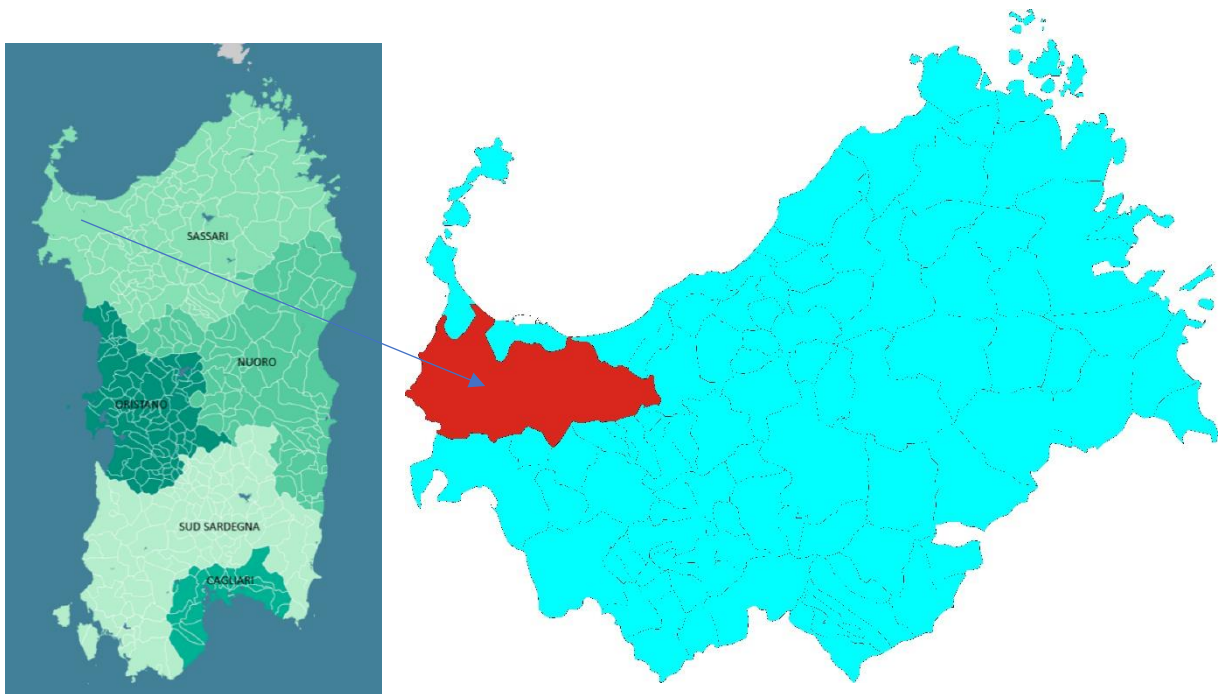


Figura 2.1 - Localizzazione comune di Sassari

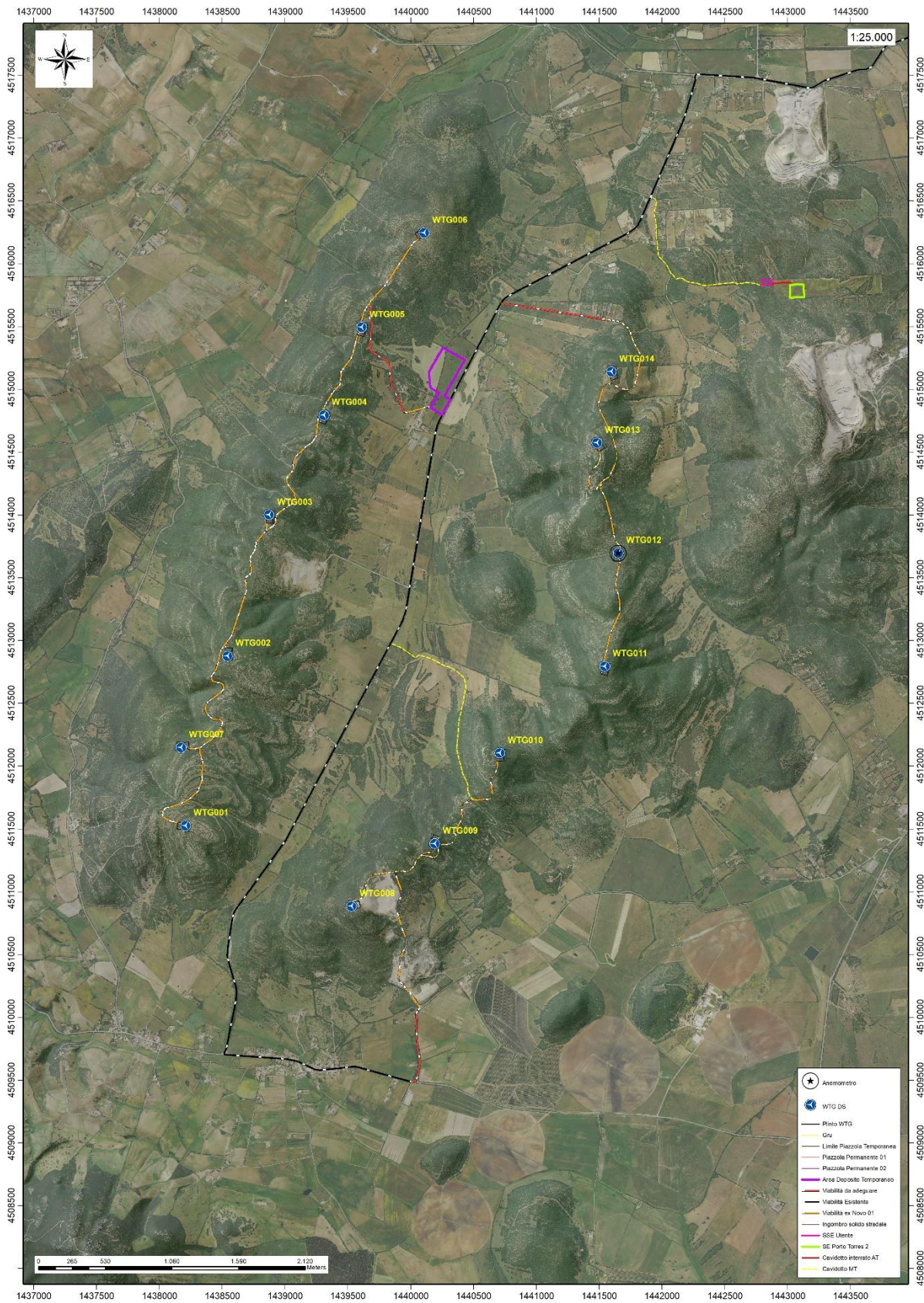


Figura 2.2 Localizzazione dell'area - (Google Earth)

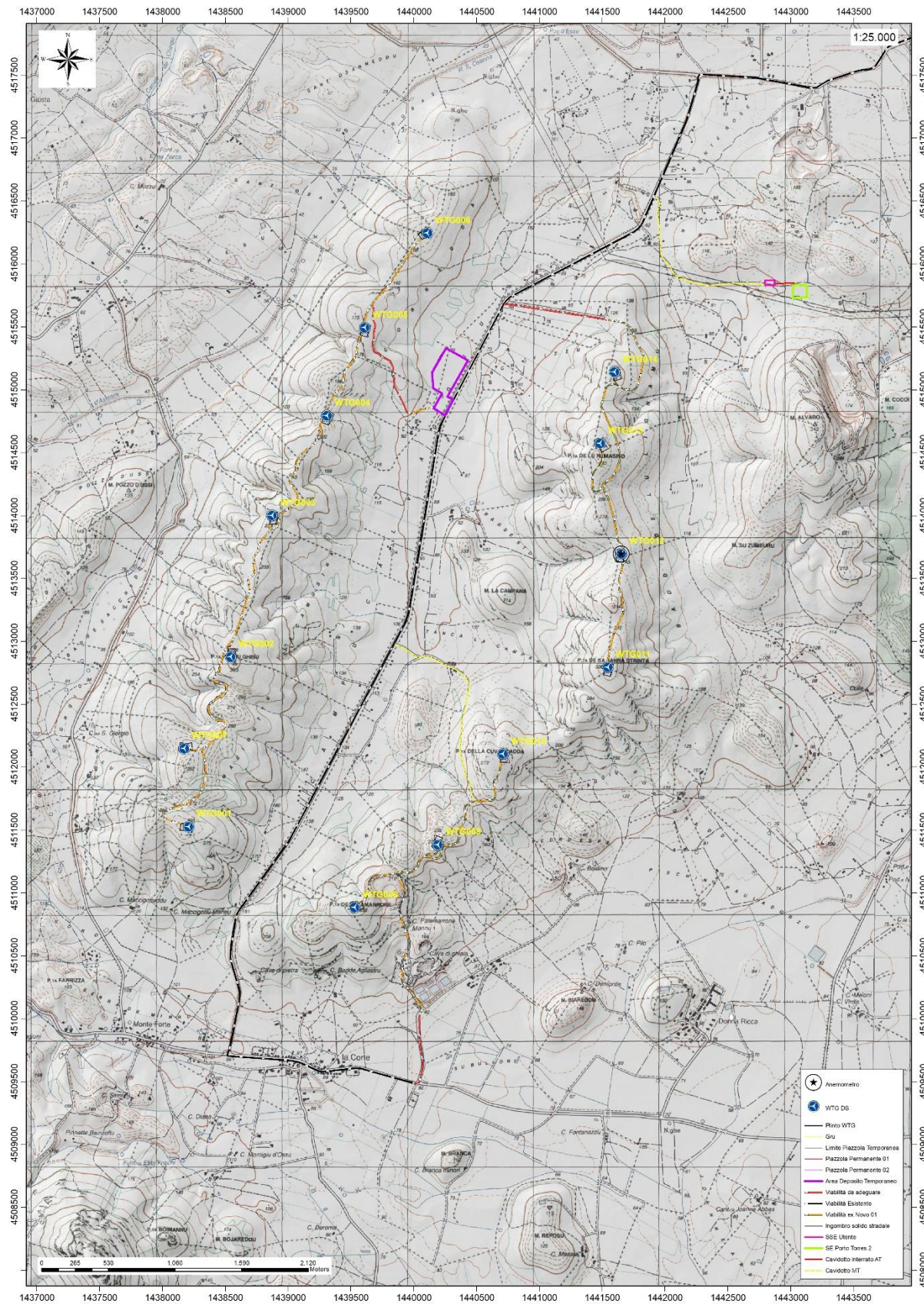


Figura 2.3 - Inquadramento topografico – IGM scala 1:25000

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.

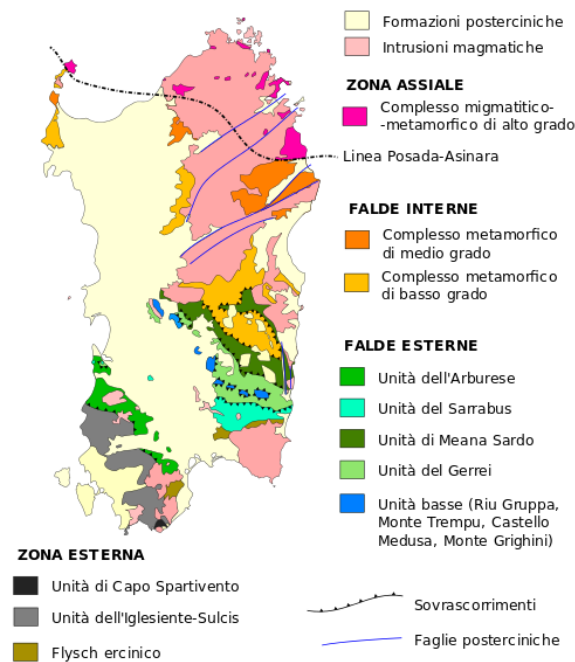


Figura 3.1: schema geologico-strutturale della Sardegna.

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.

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'avanzata 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., avviene la messa in posto dei batoliti granitici tardo ercinici, questa ha prodotto metamorfismo termico e di alta pressione delle rocce esistenti.

L'area di studio ricade parzialmente nella zona a Falde Interne del basamento varisco sardo; ma comprende soprattutto rocce delle coperture mesozoiche, che in quest'area dell'Isola sono costituite da sedimenti alluvionali del Buntsandstein (Trias medio), su cui poggiano in trasgressione i sedimenti carbonatici di ambiente neritico (Muschelkalk) e poi quelli evaporitici (Keuper). Seguono le rocce della successione vulcano-sedimentaria Miocenica, e i depositi quaternari. Le Unità Tettoniche affioranti nel settore occidentale dell'area vasta sono costituite da originarie successioni sedimentarie e vulcaniche di età compresa tra il Cambriano e il Carbonifero inferiore, note come Unità di Canaglia, Li Trumbetti e Argentiera.

Il settore di interesse all'installazione delle quattordici torri eoliche si trova nella zona cosiddetta a Falde interne, caratterizzata da fenomeni di medio e basso metamorfismo, localizzata nell'area geografica della Nurra

L'area vasta è costituita principalmente da unità di età paleozoica e mesozoica di origine sedimentaria, da rocce magmatiche a carattere effusivo, e da depositi recenti rappresentati dai prodotti di disfacimento della roccia madre e dei suoi derivati che vanno a colmare le vallecole e/o i piccoli impluvi presenti.

Per quanto riguarda l'assetto strutturale dell'area vasta (Fig. 3.2), quest'ultima riflette essenzialmente eventi deformativi di età cenozoica ed in minor misura mesozoica. La tettonica varisca, che è polifasica ed è responsabile della strutturazione del basamento, ha rilevanza solo nel settore della Nurra occidentale.

La Nurra è costituita da un alto strutturale immergente verso est, che si è sviluppato nel Terziario, che confina ad est coi depositi del Miocene inferiore del semi-graben del bacino di Porto Torres.

Nella sua parte occidentale della Nurra affiora il basamento paleozoico in diverse unità strutturali impilate tettonicamente per via di alcuni sovrascorrimenti ercinici orientati circa NW-SE e E-W, che dalla più profonda alla più superficiale si distinguono in Unità di Argentiera, Li Trumbetti e Canaglia. In quest'area, il basamento paleozoico è coperto in maniera discontinua dalla successione vulcano-sedimentaria del Permiano.

Le rocce mesozoiche della Nurra poggiano generalmente sui depositi continentali permo-triassici o direttamente sul basamento, e sono rappresentate da depositi di piattaforma carbonatica sottoposta ad oscillazioni eustatiche e a fasi tettoniche distensive, che hanno favorito l'ingressione dei mari epicontinentali alternati a fasi subaeree. Il controllo tettonico, attivo in vari intervalli cronostratigrafici, insieme al controllo eustatico, ha condizionato l'evoluzione sedimentaria della piattaforma. Infatti, la successione mesozoica presenta un tipico aspetto a "duomi e bacini" dovuto alla sovrapposizione di due sistemi di pieghe che hanno interessato la piattaforma carbonatica mesozoica prima durante il Cretaceo medio (pieghe e sovrascorrimenti orientati NW-SE), e poi nel Cretaceo superiore (piegamenti orientati NE-SW).

La successione mesozoica è rappresentata da una sequenza di calcari, dolomiti e marne e depositi evaporitici il cui spessore può superare i 700 m.

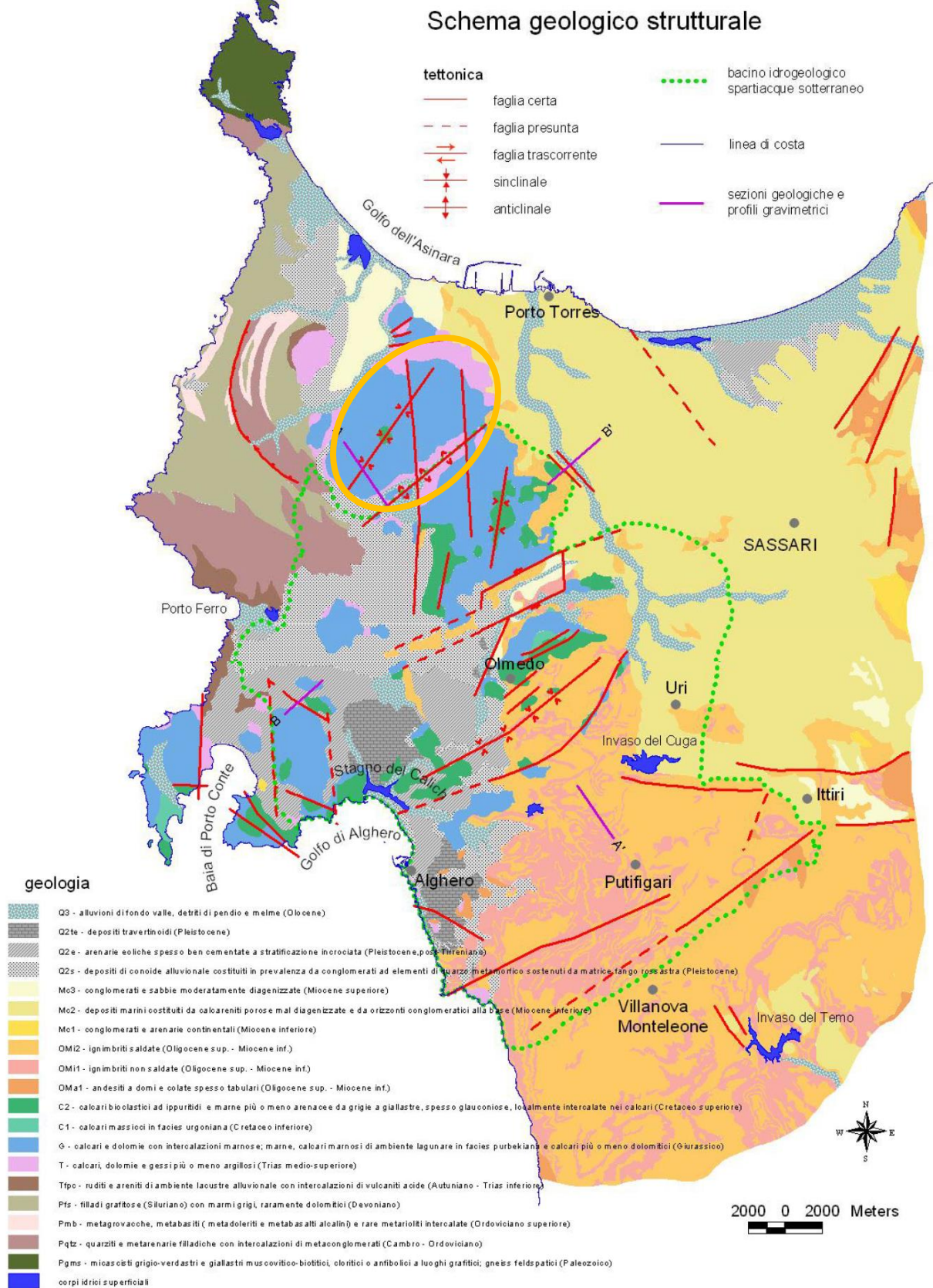


Figura 3. 2: Schema Tettonico dell'area vasta di studio con l'area di dettaglio evidenziata in arancio (tratto da Ghiglieri et al 2006; 2009a)

In particolare, nell'area vasta affiorano le seguenti litologie, di seguito riportate con la nomenclatura adottata dalla RAS nella stesura della cartografia geologica in scala 1:25000:

Depositi quaternari:

h1m – Depositi antropici, discariche minerarie. OLOCENE

bb - Depositi alluvionali, sabbie con subordinati limi e argille. OLOCENE

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

b - Depositi alluvionali. OLOCENE

a – Depositi di versante, detriti con clasti angolosi, talora parzialmente cementati. OLOCENE

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

Depositi sedimentaria Miocenica:

FUA - FORMAZIONE DI FIUME SANTO. Argille arrossate con livelli e lenti di conglomerati a ciottoli di basamento paleozoico, vulcaniti e calcari mesozoici. Ambiente fluviale. TORTONIANO-MESSINIANO

RESb - Litofacies nella FORMAZIONE DI MORES. Arenarie e conglomerati a cemento carbonatico, fossiliferi e bioturbati. Intercalazioni di depositi sabbioso-arenacei quarzoso-feldspatici a grana medio-grossa, localmente ricchi in ossidi di ferro (Ardara-Mores). MIOCENE INFERIORE (BURDIGALIANO)

Successione sedimentaria Mesozoica:

MUC - FORMAZIONE DI MONTE UCCARI (cfr. Formazione di Punta Cristallo IST). Calcari micritici e bioclastici grigio biancastri ben stratificati; dolomie grigiastre e lenti di calcare oolitico con ciottoli a carofite. MALM

NRRa - Litofacies nella FORMAZIONE DI MONTE NURRA (cfr. Formazione di Gamba di Moro GDMa). Intercalazioni di arenarie quarzose. DOGGER

NRR - FORMAZIONE DI MONTE NURRA (cfr. Formazione di Gamba di Moro GDM) Dolomie e calcari dolomitici, calcari bioclastici, calcari selciferi, calcari marnosi e marne, con intercalazioni di arenarie quarzose. Alla base calcari e dolomie scure di ambiente lacustre a carofite. DOGGER

NDD - FORMAZIONE DI CAMPANEDDA (cfr. Formazione di Monte Zirra ZRR). Calcari oolitici, oncolitici e bioclastici, marne e calcari marnosi; calcari grigio-bluastri con lenti di selce. LIAS

KEU - KEUPER AUCT. Marne grigio-giallognole con subordinati calcari marnosi; argille varicolori gessifere. TRIAS SUP. (LONGOBARDICO SUP. - ?RETICO)

MUK - MUSCHELKALK AUCT. Calcari laminati sottilmente stratificati e calcari dolomitici in grossi strati. TRIASSICO MEDIO (LADINICO)

BUN - BUNTSANDSTEIN AUCT. Alternanza di arenarie, argilliti, siltiti, livelli marnosi con gesso e conglomerati poligenici alla base ("Verrucano" sensu Gasperi & Gelmini, 1979). TRIASSICO MEDIO (ANISICO)

Unità tettonica di Canaglia:

LIR - FORMAZIONE DI LI CORTI. Metargilliti nere. SILURIANO

Unità tettonica di Argentiera:

PDL - FORMAZIONE DI PALMADULA. Metargilliti laminate e metapeliti nere. ORDOVICIANO SUP. - SILURIANO

FTE - FORMAZIONE DI MONTE FORTE. Metarenarie e quarziti. CAMBRIANO - ORDOVICIANO INF.

Nell'area investigata attraverso l'indagine sismica, presso cui andranno installate le turbine, affiorano le formazioni di Monte Nurra (NRR) e la Formazione di Monte Uccari (MUC).

4. Inquadramento Geomorfológico

Il territorio indagato è costituito sostanzialmente da una zona collinare, con rilievi arrotondati e dislivelli dell'ordine di 200 m circa tra monte e valle. L'area vasta del settore in studio presenta delle morfologie tipiche di calcari duri e cristallini del mesozoico, stratificati e con forme accidentate che vanno da aspre a sub-pianeggianti, spesso con piani di inclinazione orientati, variamente fratturati ed erosi.

La forma prevalentemente rotondeggiante dei rilievi dell'area di Sa Corredda è il risultato della graduale demolizione del rilievo ad opera degli agenti erosivi sulle rocce di natura prevalentemente carbonatica, modellate dal carsismo. Le turbine verranno installate sulle suddette rocce mesozoiche che costituiscono le creste di due costoni tra loro paralleli e orientati NE-SW e compresi tra la località Sa Corredda a Nord e Pala Marrone a Sud.

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, in particolare il carsismo.

Il carsismo si sviluppa principalmente a seguito della dissoluzione chimica delle rocce carbonatiche.

Il processo carsico rientra nel grande insieme delle azioni di disgregazione compiute dagli agenti esogeni a spese delle rocce affioranti sulla crosta terrestre. La corrosione avviene per opera delle acque meteoriche che, oltre a contenere una certa quantità di anidride carbonica atmosferica disciolta al loro interno, scorrendo sulla superficie del suolo ed attraversando lo strato superficiale del suolo si arricchiscono ulteriormente di CO₂. Queste acque reagiscono con la roccia calcarea intaccandola lentamente, sia in superficie sia infiltrandosi nel reticolo, fino a dar luogo nell'arco del tempo a veri e propri condotti di dimensioni variabili, che costituiscono i classici acquiferi tipici delle rocce carbonatiche. Infatti le acque ricche di anidride carbonica sono particolarmente aggressive nei confronti del carbonato di calcio.

Il paesaggio carsico è caratterizzato da forme superficiali o epigee e da forme sotterranee o ipogee. Le forme epigee possono avere dimensioni molto diverse, comprese fra pochi millimetri e parecchi chilometri. I paesaggi carsici sono caratterizzati da aridità, dalla mancanza di idrografia superficiale, dalla presenza di conche di assorbimento (doline), inghiottitoi, e pozzi, da valli incise con pareti ripide (forre), da conche chiuse di grandi dimensioni (polje) con depositi alluvionali ed eluviali (residui insolubili dell'erosione carsica - terre rosse), e da forme carsiche tipiche come i Karren (campi carreggiati), i Lapiez (scannellature), solchi (docce), vaschette di corrosione, fori carsici, crepacci e lame.

4.1 Lineamenti geomorfologici generali

La morfologia del paesaggio è caratterizzata da colline poco elevate rappresentate da modesti rilievi subarrotondati, e ampie valli aperte; i rilievi principali hanno altezze intorno ai 300 metri (P.ta de Sanna Istrinta 339 m, Monte Alvaru 341 m, P.ta Pedru Ghisu 305 m). Il reticolato idrografico è impostato sulle principali direttrici tettoniche e mostra valli quasi sempre aperte poco incassate, con prevalente andamento NE-SW.

Nell'area di studio sono presenti numerose cave per inerti, di conseguenza l'uomo ha modificato notevolmente il paesaggio attraverso sbancamenti e superfici di spianamento artificiali.

Le forme carsiche sotterranee o ipogee sono dovute alla dissoluzione operata dalle acque che si infiltrano nel sottosuolo. Le cavità che si originano possono avere sviluppo prevalentemente verticale come le gallerie e le grotte. In queste ultime, di varie forme e dimensioni, l'acqua scende dal soffitto e il suo lento stillicidio costruisce nuove forme (stalattiti, stalagmiti, colonne) utilizzando il materiale prelevato in superficie.

Tra le forme ipogee presenti nell'area di studio sono presenti alcune grotte tra le quali una cavità con ingresso a pozzo profonda alcune decine di metri (30 m) presso la località Punta Su Rumasinu (Pentuma di Punta Rumasinu). Poco più a sud si trova un'altra grotta a pozzo (Pozzo Ardeca) profonda circa 17 metri; presso località su Crabiore si trova un'altra grotta a pozzo (Pozzo di Pedru Ghisu) anch'esso presenta una profondità di circa 17 metri. La grotta più importante si trova presso Monte Alvaru; si tratta sempre di una grotta a pozzo che presenta un dislivello di circa 45 metri.

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.

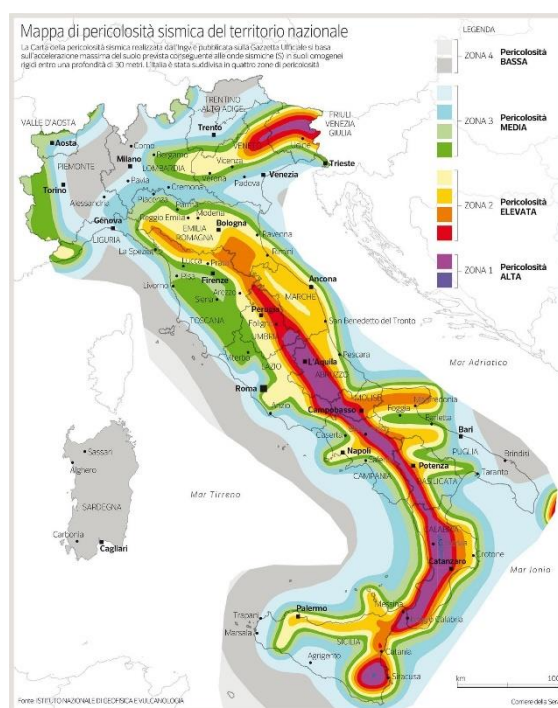


Figure 5.1: Carta della pericolosità sismica del territorio nazionale.

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 **Sassari** e **Porto Torres** ricadono 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;

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**.

¹ Per i valori di a_g , F_0 e T_C^* necessari per la determinazione delle azioni sismiche, si fa riferimento agli Allegati A e B al Decreto del Ministro delle Infrastrutture 14 gennaio 2008, pubblicato nel S.O. alla Gazzetta Ufficiale del 4 febbraio 2008, n.29, ed eventuali successivi aggiornamenti.

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

Figura 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 :

$$V_R = V_N \times C_U$$

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 1.2.

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 25-26-27.01.2021 dalla ditta GEOSERVICE Snc specializzata nel settore, è stata eseguita una prospezione sismica eseguita con la tecnica MASW.

L'indagine sismica attiva con tecnica MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) è una tecnica di indagine non invasiva, che attraverso la definizione del profilo di velocità delle onde di taglio verticali V_s , 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	Turbina di riferimento	Lunghezza (m)
MASW	M1	NW-SE	WTG012	69,0
MASW	M2	SSW-NNE	WTG006	69,0
MASW	M3	SSW-NNE	WTG005	69,0
MASW	M3	SW-NE	WTG001	69,0

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 25-26-27/01/2021. 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° 4 stendimenti di sismica MASW (M1 – M2 – M3 – M4) e n° 4 rifrazioni (R1 – R2 – R3 – R4), e n° 4. 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, M3 – e R4 – M4 rispettivamente nelle Figure 6.3, 6.4, 6.5 e 6.6.

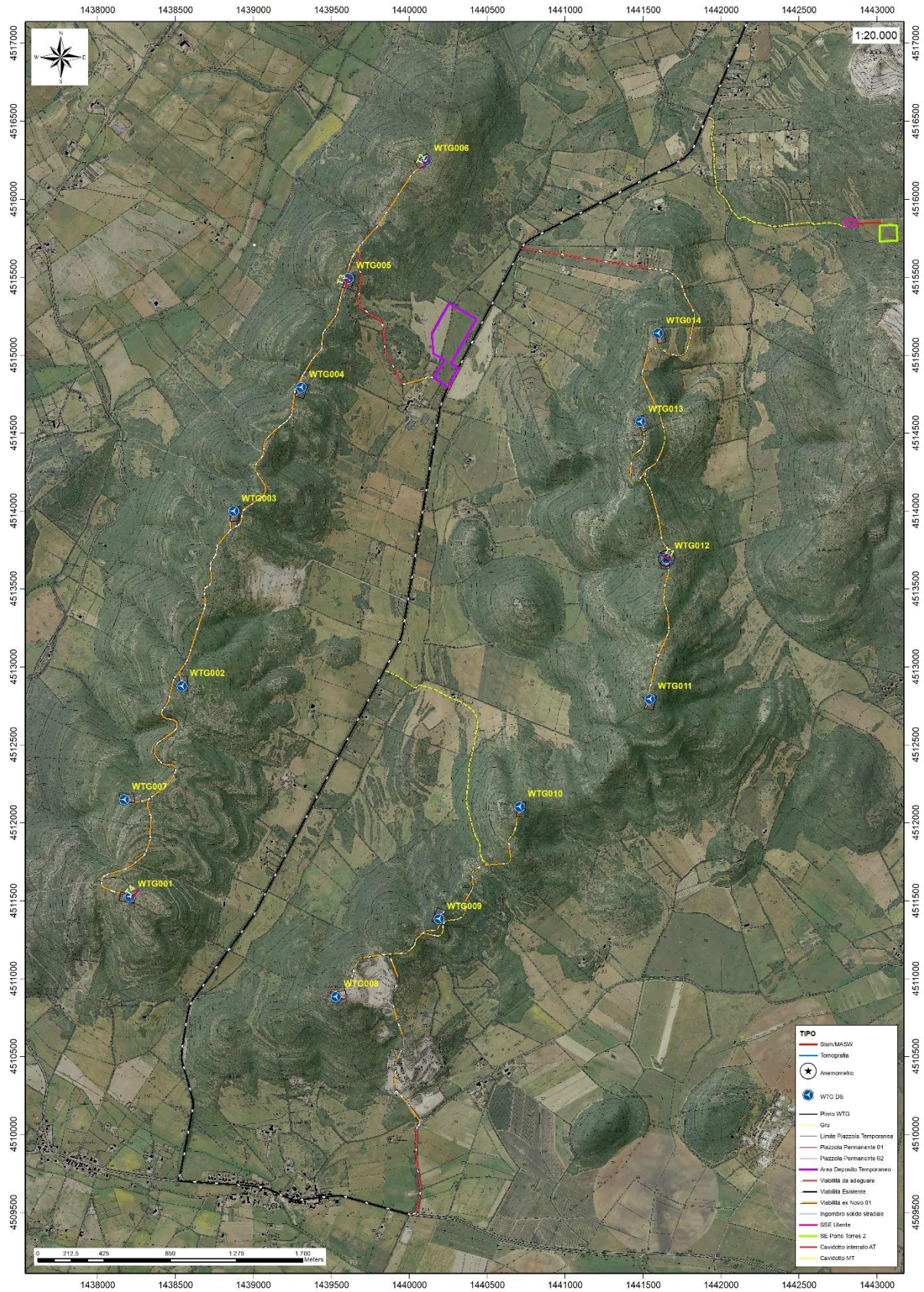


Figura 6.2: Planimetria ubicazione degli stendimenti

Sono stati realizzati n° 4 stendimenti MASW con 24 geofoni e spaziatura pari a 3,0 metri, e lunghezza totale di 69 m.

Lo stendimento M1 (Figura 6.3) è ubicato in prossimità del punto dove verrà installata la turbina WTG012, dove affiora la Formazione di Monte Uccari (MUC).

Lo stendimento M2 (Figura 6.4) è stato posizionato nell'area prossima alla zona dove verrà installata la turbina WTG006, in un'area dove affiora la Formazione di Monte Nurra (NRR).

Lo stendimento M3 (Figura 6.5) è ubicato vicino alla turbina WTG005, mentre lo stendimento M4 (Figura 6.6) è stato posizionato presso l'area dove verrà installata la turbina WTG001, entrambi dove affiora la Formazione di Monte Nurra (NRR).

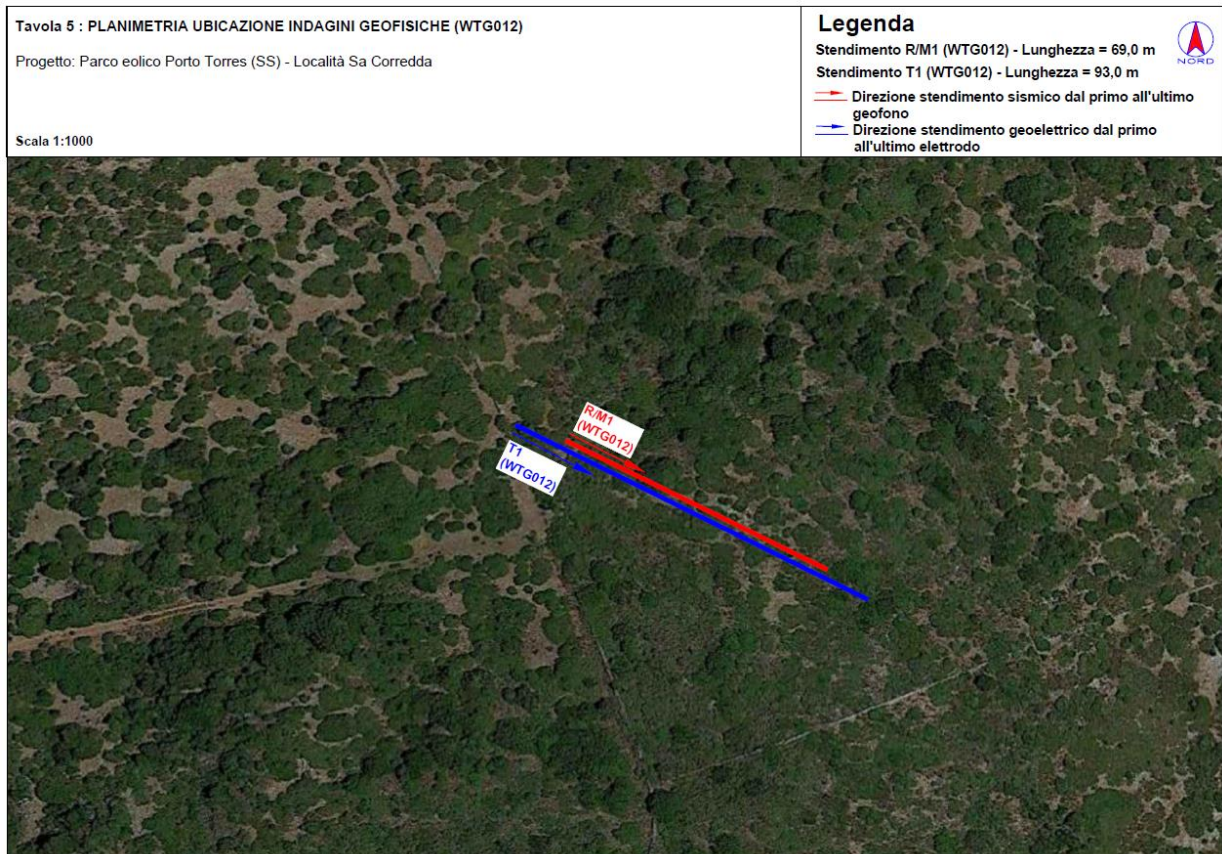


Figura 6.3: Ubicazione di dettaglio dello stendimento M1—R1—T1.

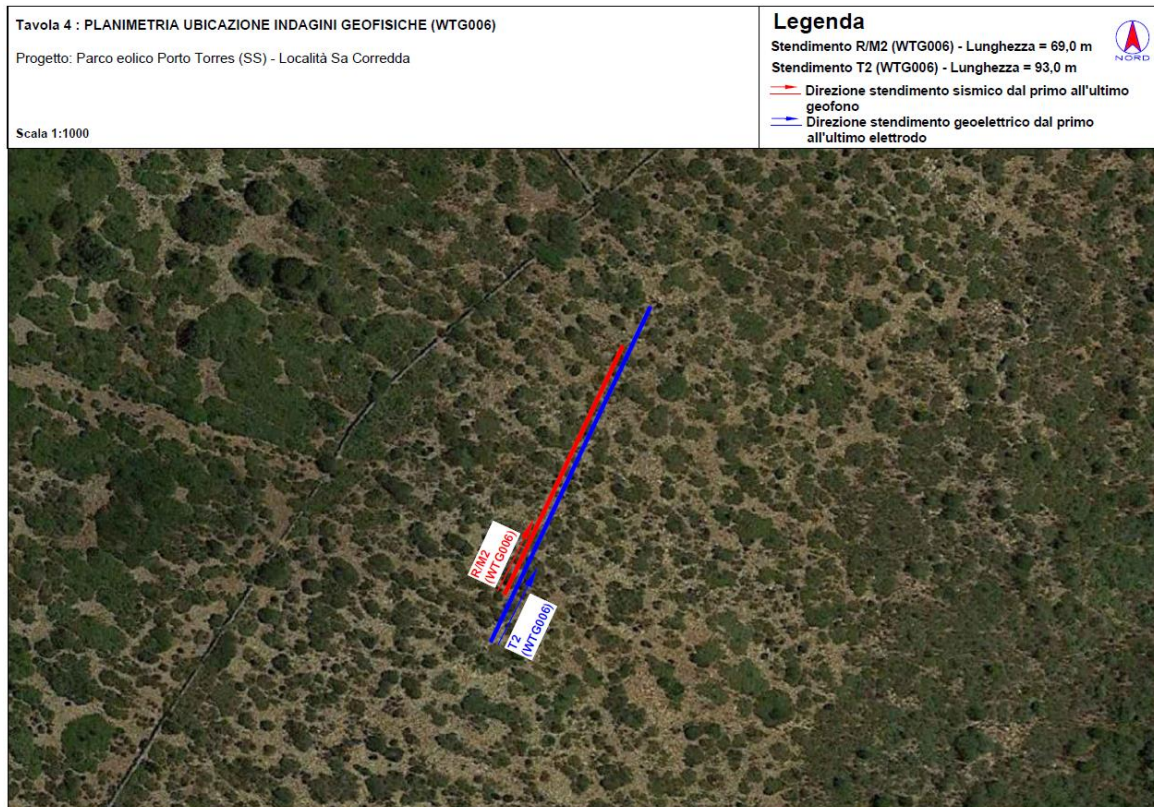


Figura 6.4: Ubicazione di dettaglio dello stendimento M2 – R2 – T2.

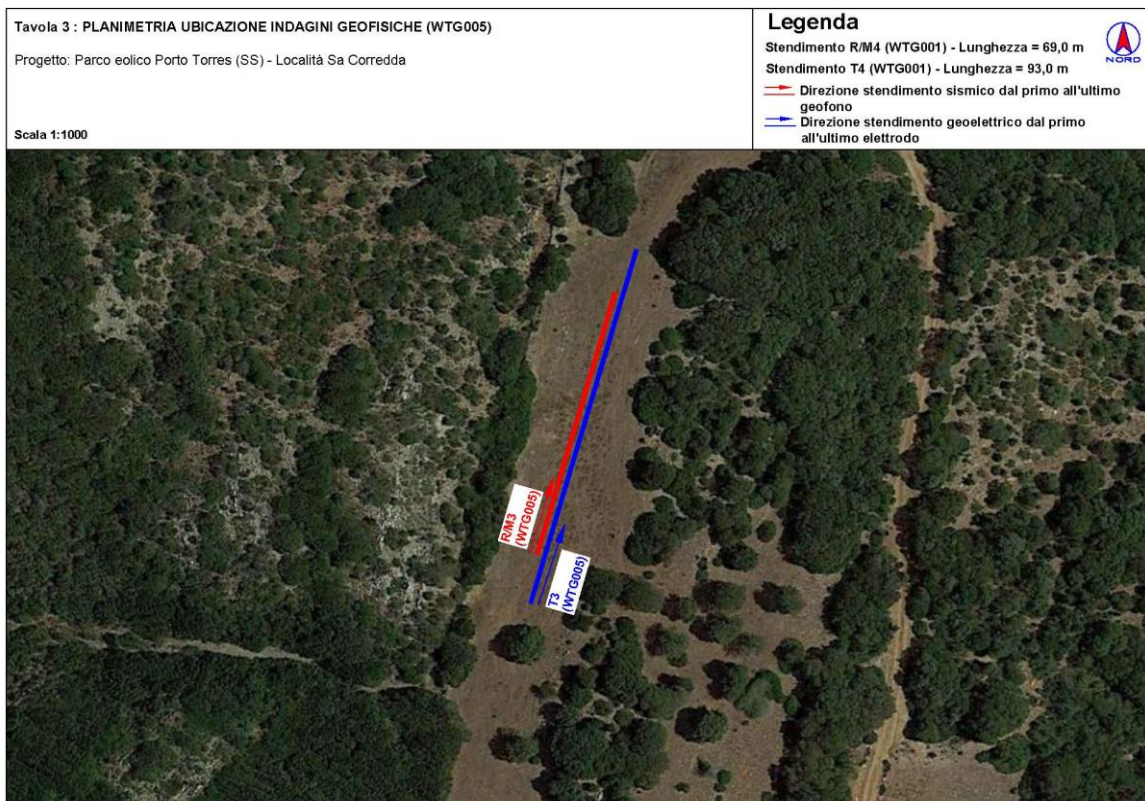


Figura 6.5: Ubicazione di dettaglio dello stendimento M3 – R3 – T3.

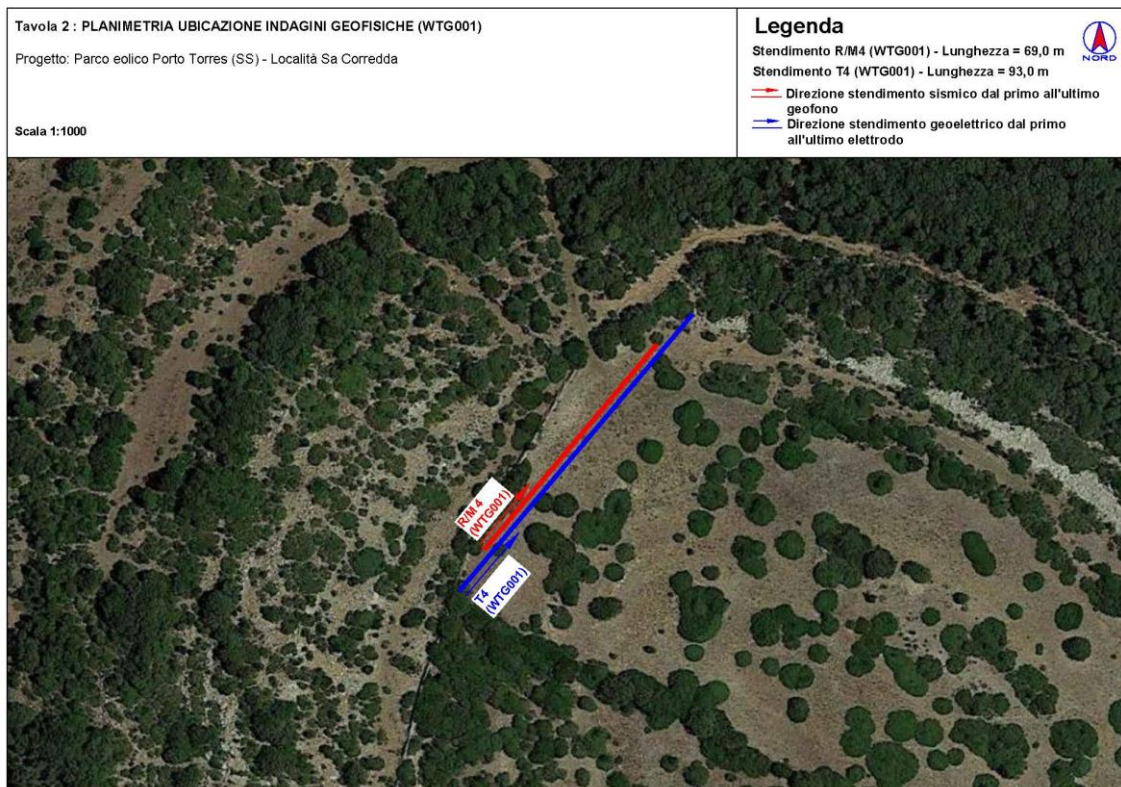


Figura 6.6: Ubicazione di dettaglio dello stendimento M4 – R4 – T4



Figura 6.7: Vista panoramica degli stendimenti M1 – R1



Figura 6.8: Vista panoramica degli stendimenti M2 – R2.



Figura 6.9: Vista panoramica dello stendimento M3 – R3



Figura 6.10: Vista panoramica dello stendimento M4 – R4.

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

Profondità [m sotto il pc]	Descrizione
0 – 1,0	1° sismostrato con Vs di 500 m/s , Terre molto addensate
1,0– 4,0	2° sismostrato con Vs tra 920 e 1070 m/s , Substrato roccioso fratturato
4,0– 12,8	3° sismostrato con Vs tra 1250 e 1660 m/s , Substrato roccioso debolmente fratturato
12,8– 32,0	4° sismostrato con Vs tra 1970 e 2750 m/s , Substrato roccioso sano
>32,0	5° sismostrato con Vs di 3030 m/s , Substrato roccioso sano

Figura 6.11: 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
0,0 – 1,0	1° sismostrato con Vs di 520 m/s , Terre molto addensate
1,0 – 4,0	2° sismostrato con Vs tra 850 e 1020 m/s , Substrato roccioso fratturato
4,0 – 12,6	3° sismostrato con Vs tra 1280 e 1840 m/s Substrato roccioso debolmente fratturato
12,6 – 32,0	4° sismostrato con Vs tra 2040 e 2600 m/s , Substrato roccioso sano
>32,0	5° sismostrato con Vs di 2960 m/s , Substrato roccioso sano

Figura 6.12 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 – 4,1	1° sismostrato con Vs tra 320 e 420 m/s , Terre mediamente addensate
4,1 – 6,3	2° sismostrato con Vs di 590 m/s , Roccia intensamente fratturata
6,3 – 12,6	3° sismostrato con Vs tra 880 e 1250 m/s Substrato roccioso fratturato
12,6 – 32,0	4° sismostrato con Vs tra 1570 e 1800 m/s , Substrato roccioso debolmente fratturato
>32,0	5° sismostrato con Vs di 1810 m/s , Substrato roccioso sano

Figura 6.13: Sismostrati identificati nello stendimento M3.

Di seguito si riporta la tabella con i singoli sismostrati identificati nello stendimento M4 – R4:

Profondità [m sotto il pc]	Descrizione
0,0 – 1,0	1° sismostrato con Vs di 535 m/s , Terre molto addensate
1,0 – 6,2	2° sismostrato con Vs tra 810 e 1100 m/s , Substrato roccioso fratturato
6,2 – 24,5	3° sismostrato con Vs tra 1300 e 1530 m/s Substrato debolmente fratturato
24,5 – 32,0	4° sismostrato con Vs di 1960 m/s , Substrato roccioso sano
>32,0	5° sismostrato con Vs di 2670 m/s , Substrato roccioso sano

Figura 6.14: Sismostrati identificati nello stendimento M4.

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, $V_{s,eq}$ (in m/s), definita dall'espressione con:

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

con:

h_i spessore dell'i-esimo strato;

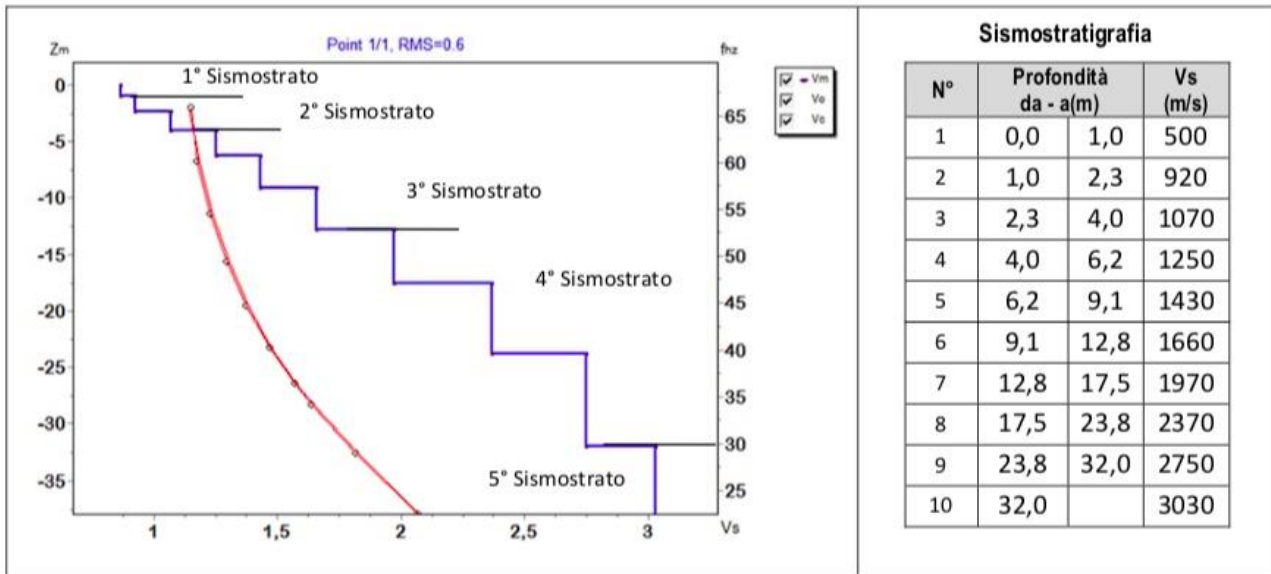
$V_{s,i}$ velocità delle onde di taglio nell'i-esimo strato;

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 per lo stendimento M1 (Figura 6.7) si pone l'eventuale presenza del substrato a profondità **1 m** ($V_s > 800$ m/s).

Ciò consente di classificare il terreno come **categoria A** (Tab. 3.2.II e 3.2.III; Figura 6.17): **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.



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;

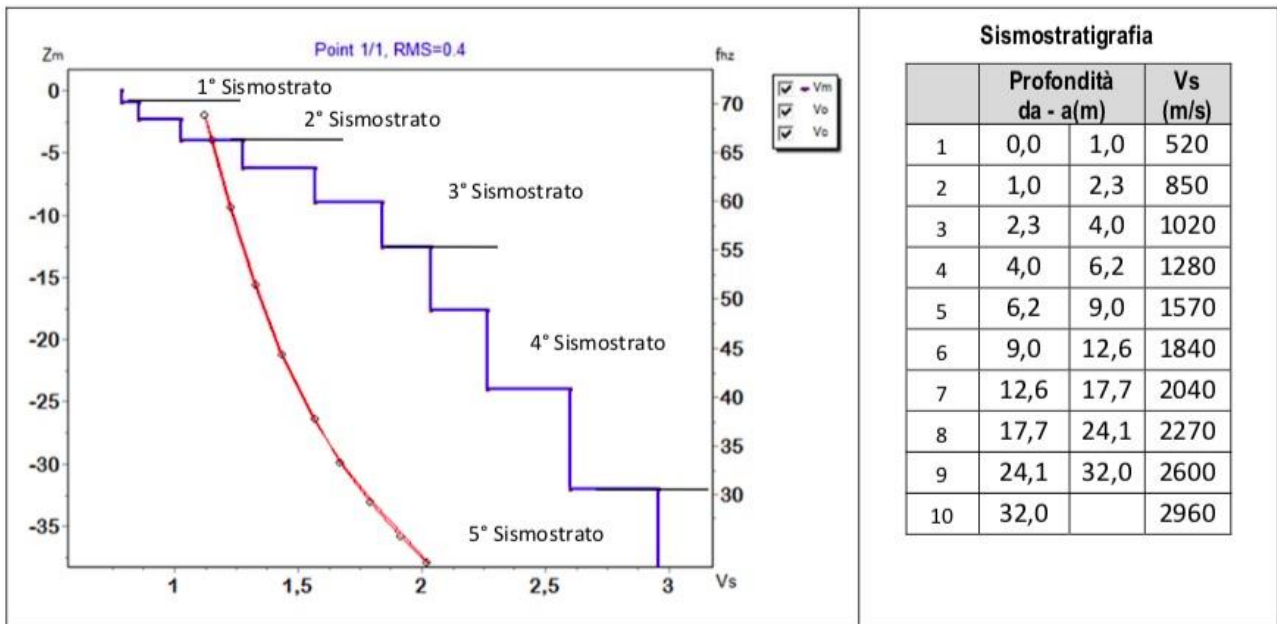
N numero di strati;

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.

Figura 6.15: Profilo rilevato per lo stendimento M1.

Esaminato il profilo delle V_s per lo stendimento M2 (Figura 6.8) si pone l'eventuale presenza del substrato a profondità **1 m** ($V_s > 800$ m/s).

Ciò consente di classificare il terreno come **categoria A** (Tab. 3.2.II e 3.2.III; Figura 6.17): **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.



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.

Figura 6.16: Profilo rilevato per lo stendimento M2.

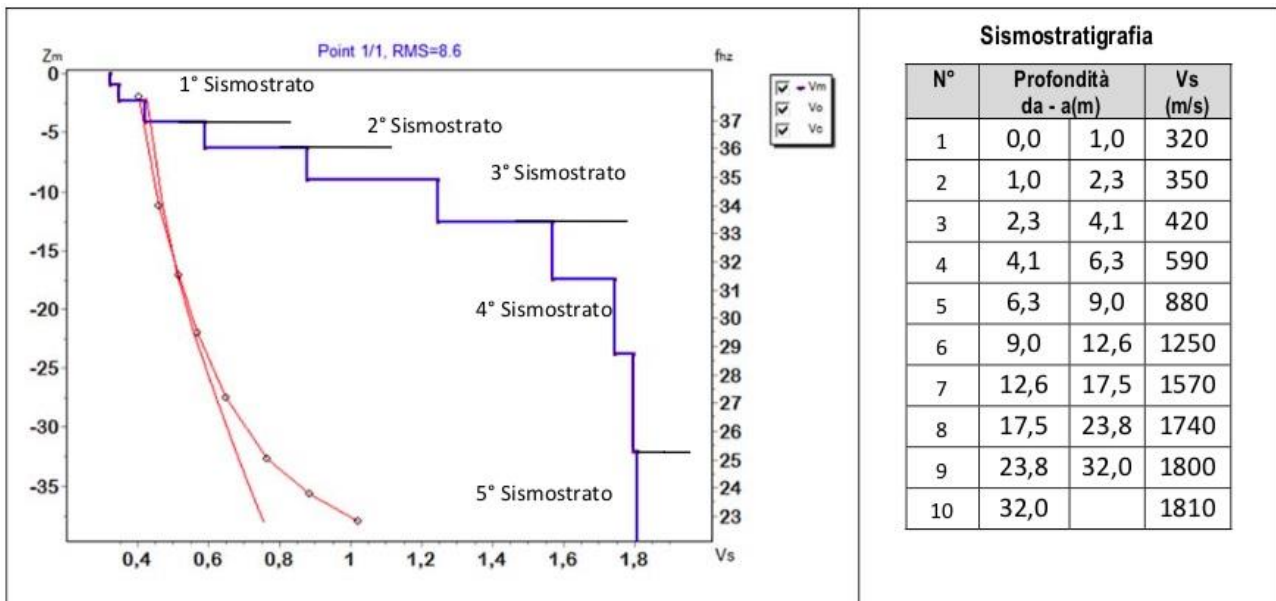
Esaminato il profilo delle V_s per lo stendimento M3 si pone come profondità del substrato 6,3 m ($V_s > 800$ m/s). La velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio calcolata per il substrato posto a 6,3 m di profondità dal p.c. è pari a:

$$V_{s,eq} = 6,3 / 0,01481 = 425 \text{ m/s}$$

che dà luogo ad una categoria B, ossia:

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

Nell'ipotesi però in cui le fondazioni siano realizzate a profondità maggiori di 6,1 m sotto il p.c. il substrato si troverà a quote < 3 metri per cui la categoria diventa una A.



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;

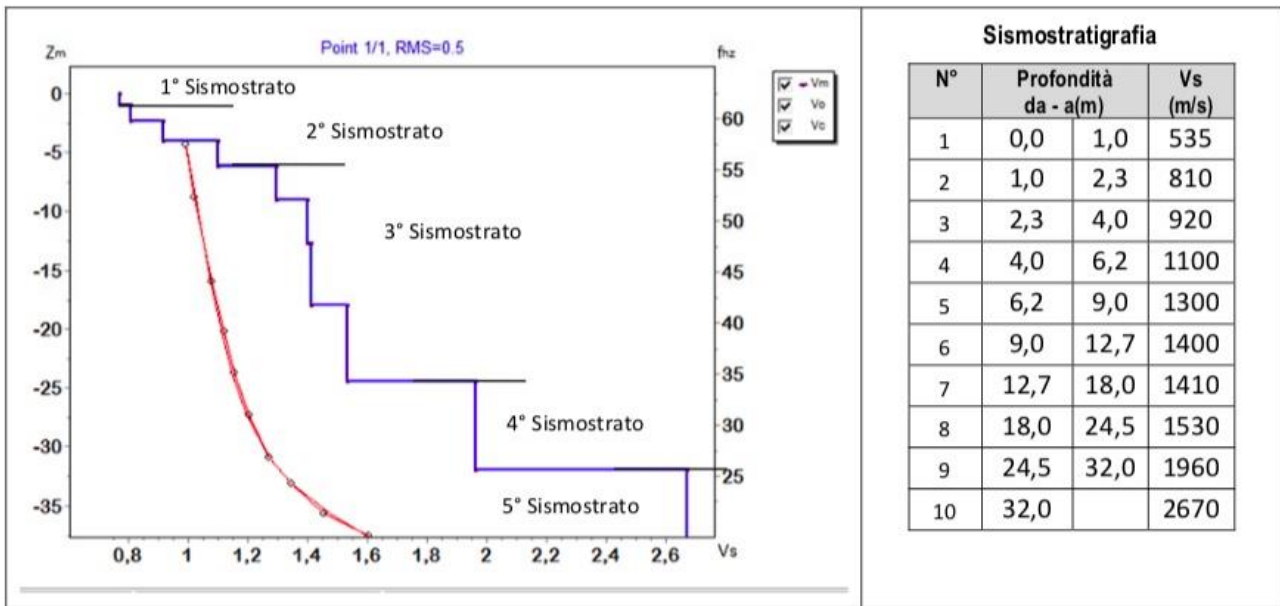
H profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da V_s non inferiore a 800 m/s.

Figura 6.17: Profilo rilevato per lo stendimento M3.

Esaminato il profilo delle V_s per lo stendimento M4 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.



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.

Figura 6.18: Profilo rilevato per lo stendimento M4.

I terreni analizzati mediante tecnica MASW possono essere classificati come **categoria A** per gli stendimenti **M1, M2, M4**, e come **categoria B** per lo stendimento **M3** (Figura 6.17).

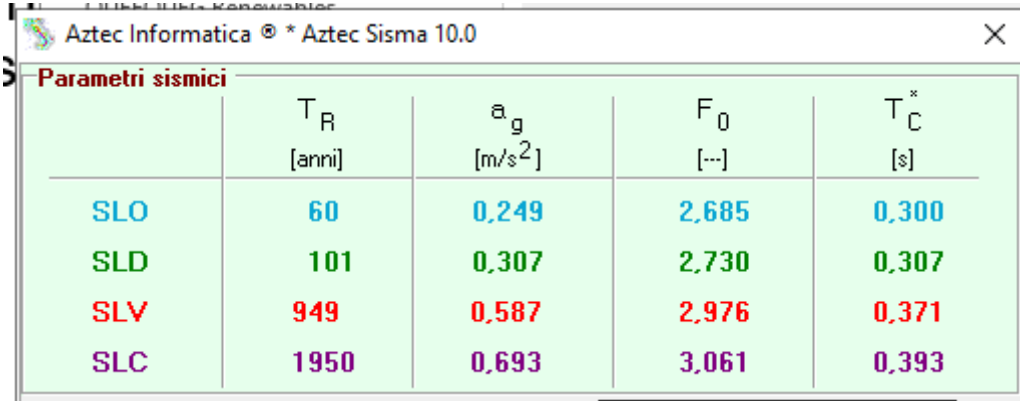
Tab. 3.2.II – Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato.

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
A	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.
B	Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.
C	Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.
D	Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.
E	Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.

Figura 6.18: 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):



	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 6.19: 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)

a_g accelerazione orizzontale massima al sito

F_0 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

