



IMPIANTO EOLICO E FOTOVOLTAICO "CAMPANEDDA IBRIDO"

COMUNE DI SASSARI

PROPONENTE



Bentusoliana Energie Rinnovabili s.r.l.
Via Cavour, n. 33
07100 SASSARI (SS)

IMPIANTO EOLICO E FOTOVOLTAICO PER LA PRODUZIONE DI ENERGIA DA FONTI RINNOVABILI - PROGETTO DEFINITIVO

OGGETTO:
Relazione sulla Pericolosità Sismica di Base

CODICE ELABORATO

PD-R04

COORDINAMENTO



BRUNO MANCA | STUDIO TECNICO DI INGEGNERIA

LOC. RIU IS PIRAS, SN | 09040 SERDIANA (SU)

439 347 5965654

€ P.IVA 02926980927

SDI: W7YVJK9

ATTESTATO ENAC N° I.A.PRA.003678

INGERUNOMANCA@GMAIL.COM

PEC: BRUNO.MANCA@INGPEC.EU

WWW.BRUNOMANCA.COM

WWW.LMBRAS360.COM

Studio Tecnico Dott. Ing Bruno Manca

GRUPPO DI LAVORO S.I.A.

Dott.ssa Geol. Cosima Atzori
F&F SYSTEM Srl
F&F Engineering Srl
Dott. Giulio Casu
Dott.ssa Ing. Ilaria Giovagnorlo
Dott. Giorgio Lai
Dott. Federico Loddo
Dott. Giovanni Lovigu
Dott. Ing Bruno Manca
Dott. Nat. Maurizio Medda
Dott.ssa Geol. Consuelo Nicolò
Dott.ssa Archeol. Marta Pals
Dott.ssa Ing. Alessandra Scalas
Dott. Nat. Fabio Schirru
Dott. Agr. Giuseppe Puggioni
Federica Zaccheddu

REDATTORE		
Dott.ssa Geol. Cosima Atzori		
REV.	DATA	DESCRIZIONE REVISIONE
00	Maggio 2024	Prima emissione
FORMATO		
ISO A4 - 297 x 210		

Bentusoliana Energie Rinnovabili s.r.l. - TUTTI I DIRITTI SONO RISERVATI A NORMA DI LEGGE

INDICE

1. PREMESSA	3
1.1. Quadro normativo.....	3
2. STUDI ED INDAGINI DI RIFERIMENTO	4
3. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO GENERALE.....	5
4. INQUADRAMENTO GEOLOGICO	9
4.1. Descrizione del contesto geologico dell'area vasta oggetto di intervento.....	9
4.2. Successione sedimentaria mesozoica	17
4.3. Depositi Quaternari dell'area continentale	18
4.4. Caratteri geostrutturali, geometria e caratteristiche delle superfici di discontinuità.....	20
5. INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO.....	21
5.1. Analisi dell'area geomorfologicamente significativa al progetto.....	23
6. INQUADRAMENTO SISMICO	24
6.1. Azione sismica	25
6.2. Vita nominale, classi d'uso e periodo di riferimento.....	26
7. INDAGINI GEOGNOSTICHE	28
7.1. M.A.S.W. – Tecnica e parametri utilizzati.....	29
7.1.1. Caratteristiche della strumentazione impiegata	30
7.1.2. Elaborazione dei dati	30
7.1.3. Categorie di sottosuolo – D.M. 19,01,2018 (NTC 2018)	31
7.2. Risultati delle indagini	33
7.2.1. M.A.S.W. – elaborazione risultati.....	33
8. CATEGORIE DI SOTTOSUOLO E PARAMETRI DI PERICOLOSITÀ SISMICA.....	35
9. CONCLUSIONI	36



Indice delle figure

Figura 1 Inquadramento geografico dell'area di progetto	5
Figura 2 Inquadramento topografico (Zona Nord), CTR 1:10.000	6
Figura 3 Inquadramento topografico IGM Serie 25.....	7
Figura 4 Localizzazione area di progetto (Fonte RAS)	8
Figura 5 Schema tettonico-strutturale della Sardegna.....	10
Figura 6 Schema Tettonico dell'area vasta di studio con l'area di dettaglio evidenziata in arancio (tratto da Ghiglieri et al 2006; 2009a)	11
Figura 7 Sezione geologica rappresentativa dell'area vasta (tratto da Ghiglieri et al 2006; 2009a)	12

Figura 8 Particolare della sezione geologica con dettaglio dell'area in studio	13
Figura 9 Stralcio Carta Geologica d'Italia scala 1:100.000 foglio 179 "Porto Torres"	14
Figura 10 Stralcio Carta Geologica d'Italia scala 1:50.000 foglio 459 "Sassari"	15
Figura 11 Stralcio della Carta Geologica dell'area di interesse.....	16
Figura 12 Calcare della Formazione di Monte Nurra.....	18
Figura 13 Calcare oolitico della Formazione di Campanedda.....	18
Figura 14 Coltri eluvio-colluviali.	19
Figura 15 Fratturazione in blocchi alla scala dell'affioramento. (Formazione di Monte Nurra).....	20
Figura 16 paesaggio a monte dell'area di studio	22
Figura 17 Foto nei pressi dell'area interessata al progetto	23
Figura 18 Foto dell'area interessata al progetto	24
Figura 19 Caratteri geomorfologici dell'area vasta e significativa (NNW verso il lato superiore dell'immagine)	24
Figura 20 Valori minimi della Vita nominale VN di progetto per i diversi tipi di costruzioni.....	26
Figura 21 Schema geometrico di acquisizione dei dati per gli stendimenti di lunghezza L = 46,0 m	30
Figura 22 Localizzazione stendimento M1/R1 e T1	32
Figura 23 Parametri di deformazione dinamici e statici dei terreni determinati tramite misure sismiche.....	34

1. PREMESSA

Il proponente **Bentusoliana Energie Rinnovabili S.r.l.** intende realizzare un impianto eolico e fotovoltaico in località "Campanedda" tra Monte Su Zumburu e Monte Nudo nel Comune di Sassari e denominato "**Campanedda Ibrido**", per il cui progetto è stato conferito, alla scrivente Geol. Cosima Atzori, regolarmente iscritta all'Albo Professionale dei Geologi della Sardegna al n°656, con studio in Sestu (CA) – C.D. Pittarello - Loc. Scala Sa Perda 87, C.F. TZRC5M72H41B354F e P.I.V.A. 03191600927, l'incarico professionale per la redazione della Relazione sulla Pericolosità Sismica di Base, la cui stesura ottempera quanto previsto dal D.M. del 17/01/2018 recante le nuove Norme Tecniche per le Costruzioni (di seguito NTC2018).

In data 10/11/2022 è stata eseguita una prospezione sismica eseguita con la tecnica MASW (stendimento denominato M1) al fine di determinare la categoria di sottosuolo

1.1. QUADRO NORMATIVO

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. (6.2.1 – Caratterizzazione e modellazione geologica del sito, 6.4.2 Fondazioni superficiali)
- D.lgs. n. 152/2006 Norme in materia ambientale
- DPR 59/2013 Regolamento recante la disciplina dell'autorizzazione unica ambientale e la semplificazione di adempimenti amministrativi in materia ambientale gravanti sulle piccole e medie imprese e sugli impianti non soggetti ad autorizzazione integrata ambientale
- Dgls 50/2016 Codice dei contratti pubblici

2. STUDI ED INDAGINI DI RIFERIMENTO

Le informazioni topografiche e geologiche 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 1:100000.
- Cartografia Geologica di base della R.A.S. in scala 1:25000
- 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 meteorologici 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 dai sopralluoghi effettuati dalla scrivente in sito e dagli esiti della campagna di indagini geognostiche eseguita in data 10/11/2022 nella zona di interesse.

3. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO GENERALE

Sassari è un comune di 123.850 abitanti, capoluogo dell'omonima provincia, è situato nella parte Nord Occidentale dell'isola e confina da NNW in senso orario con Stintino, Porto Torres, Sorso, Sennori, Osilo, Muros, Ossi, Tissi, Usini, Uri, Olmedo e Alghero.

Il terreno sul quale verrà realizzato il progetto ricade nella località "*Campanedda*".

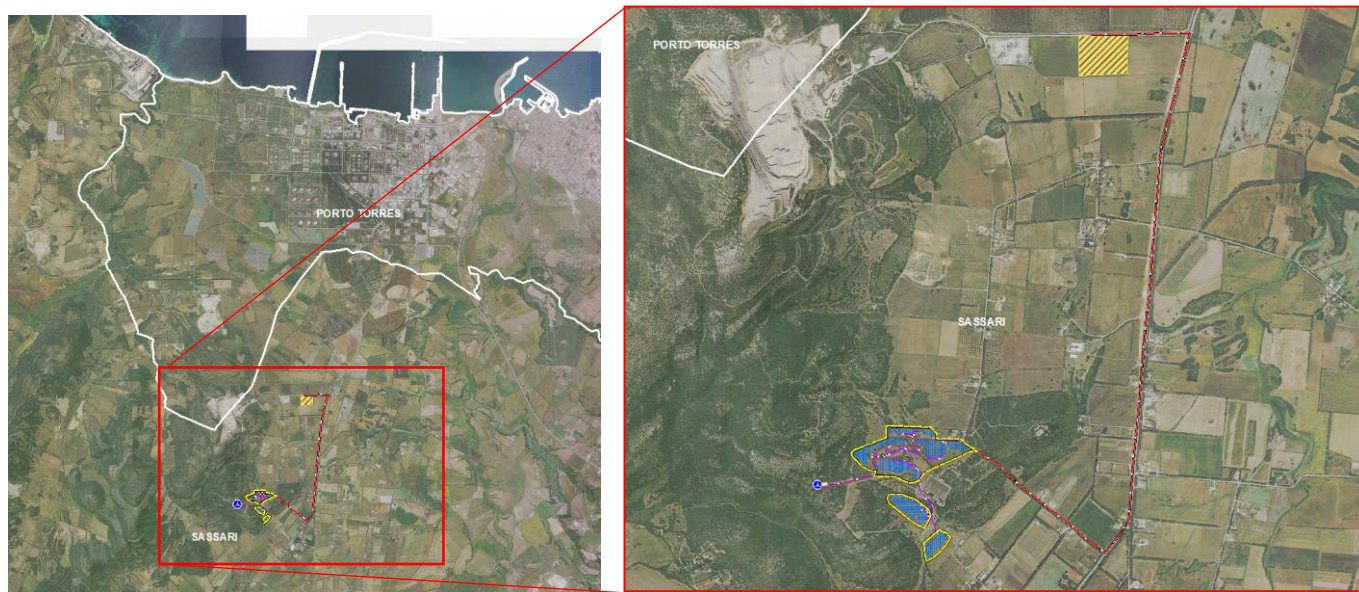


Figura 1 Inquadramento geografico dell'area di progetto

Le coordinate geografiche del centroide ipotetico di riferimento della porzione di impianto in località "*Cugia Manna*" sono: **1.444.084E - 4.513.294N**

L'inquadramento cartografico di riferimento è il seguente:

- Cartografia ufficiale dell'Istituto Geografico Militare I.G.M. Serie 25 foglio **458 I "Palmadula"** e **459 IV "La Crucca"**
- Carta Tecnica Regionale della Sardegna – scala 1:10000 – sez. **458040 "Monte Alvaru"**-**sez.459010 "Campanedda"**
- Carta Geologica d'Italia – scala 1:50000 – foglio **459 "Sassari"**
- Carta Geologica d'Italia – scala 1:100000 – foglio **179 "Porto Torres"**

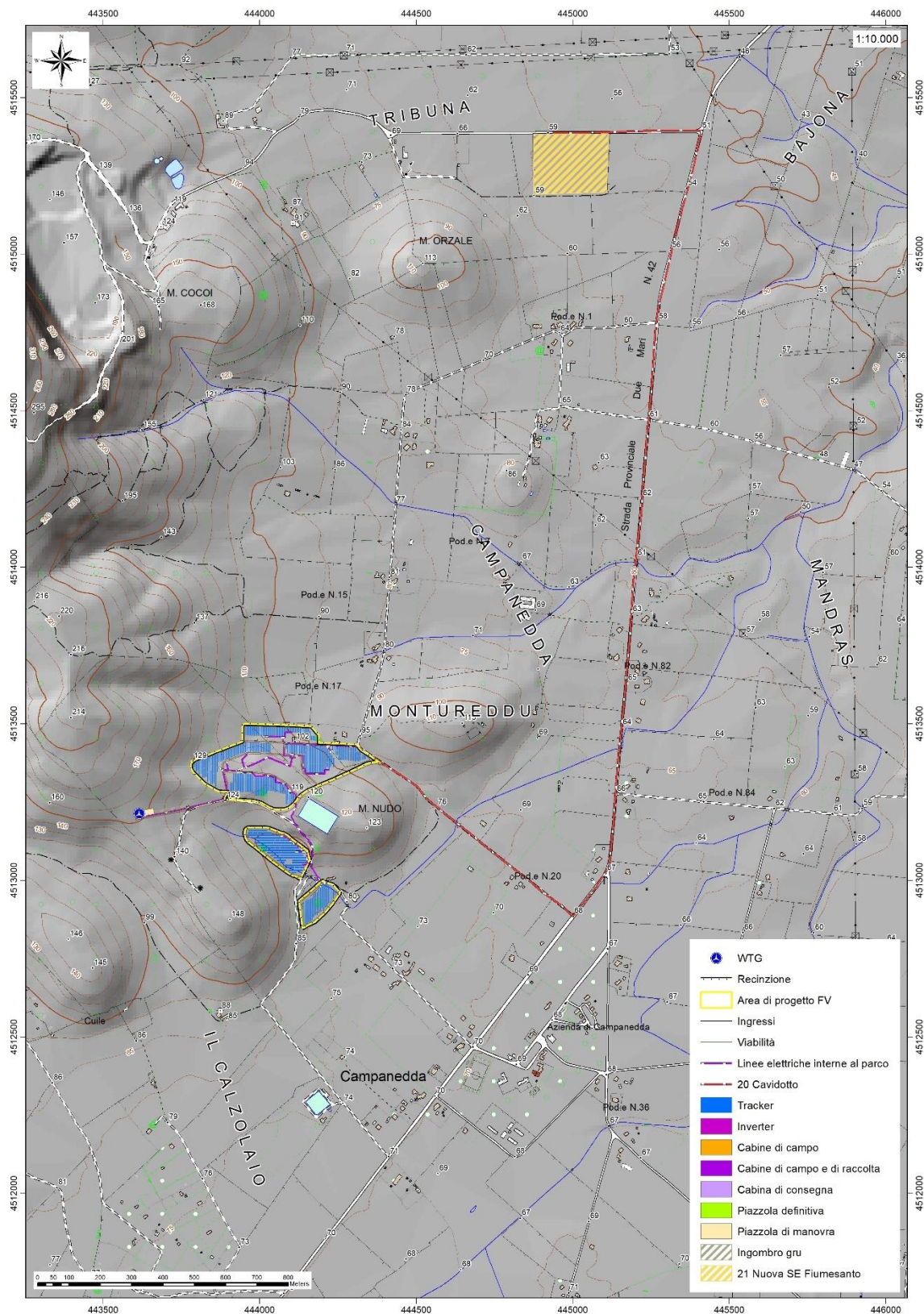


Figura 2 Inquadramento topografico (Zona Nord), CTR 1:10.000

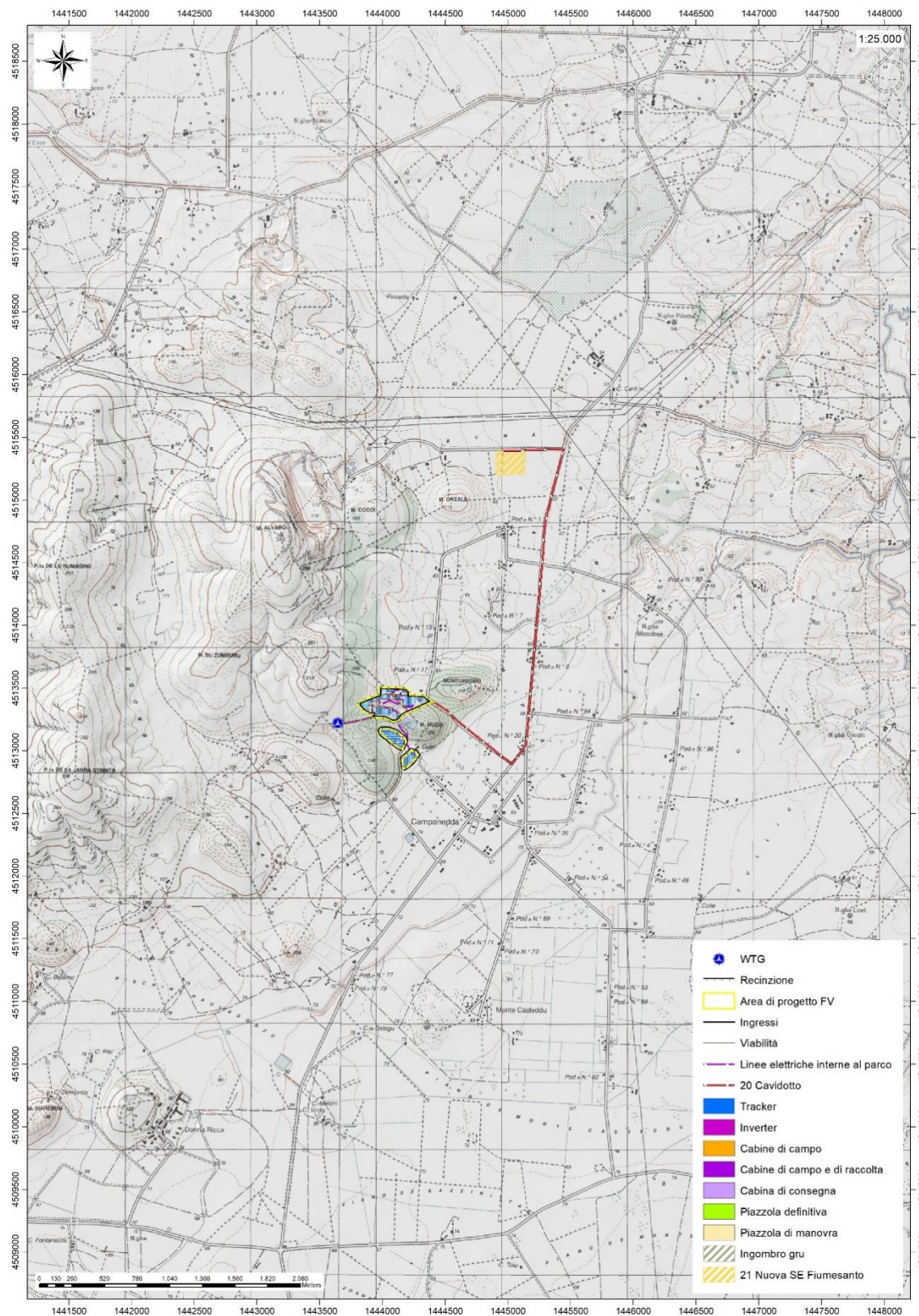


Figura 3 Inquadramento topografico IGM Serie 25

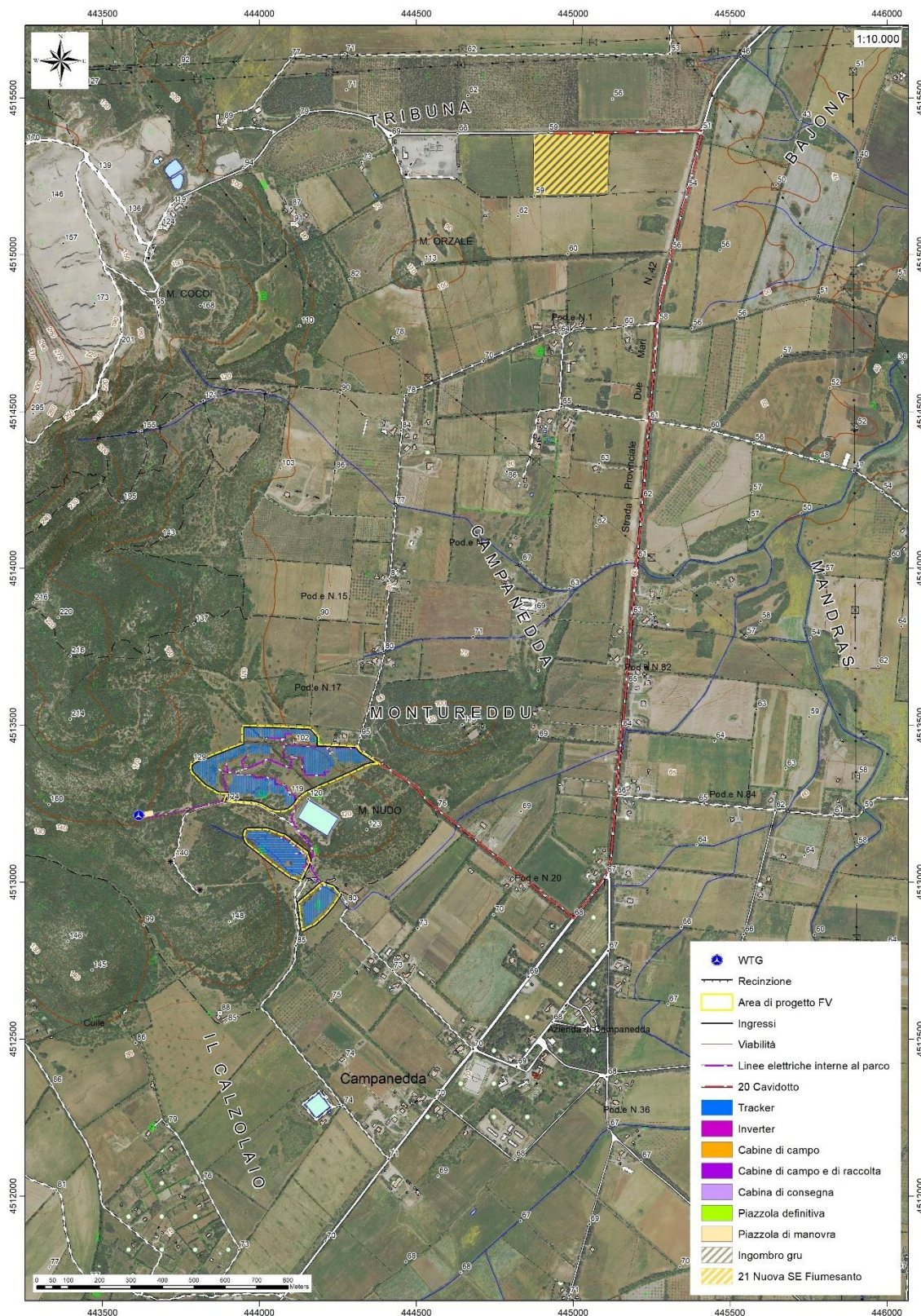


Figura 4 Localizzazione area di progetto (Fonte RAS)

4. INQUADRAMENTO GEOLOGICO

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

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

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

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

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

L'orogenesi Caledoniana, la più antica, le cui tracce si 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'avanzfossa 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 varisico 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.

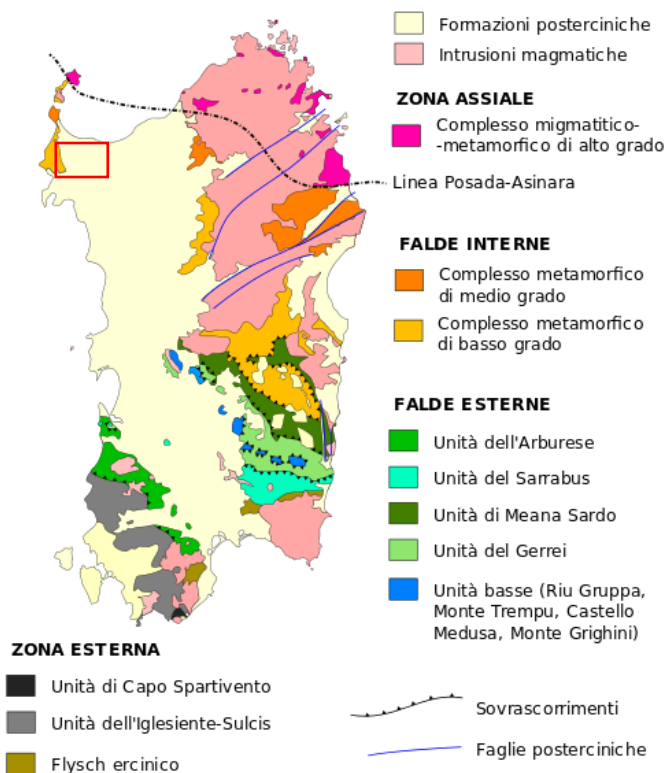


Figura 5 Schema tettonico-strutturale della Sardegna

Il settore di interesse all'installazione dell'impianto eolico fotovoltaico 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, 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 E coi depositi del Miocene inferiore del semi-graben del bacino di Porto Torres.

Nella 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.

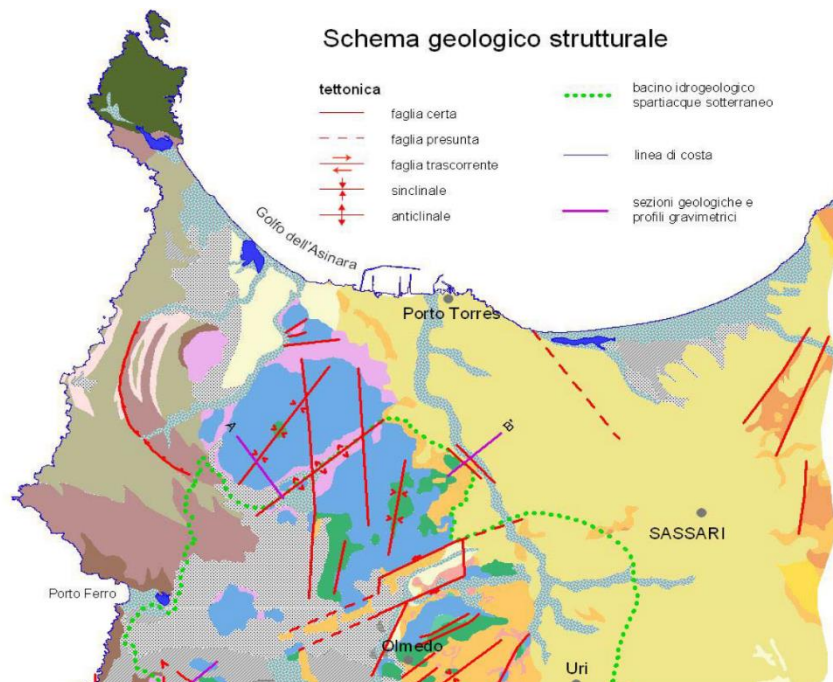


Figura 6 Schema Tettonico dell'area vasta di studio con l'area di dettaglio evidenziata in arancio (tratto da Ghiglieri et al 2006; 2009a)

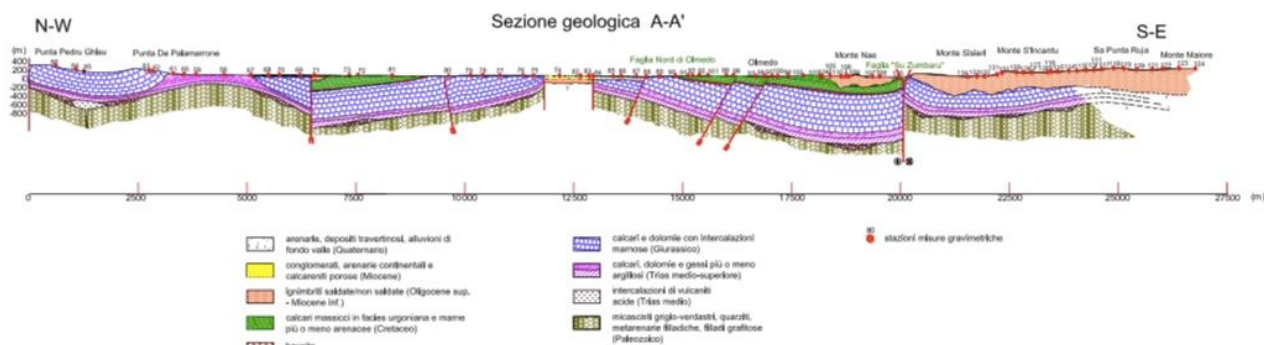


Figura 7 Sezione geologica rappresentativa dell'area vasta (tratto da Ghiglieri et al 2006; 2009a)

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.

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:

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

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)

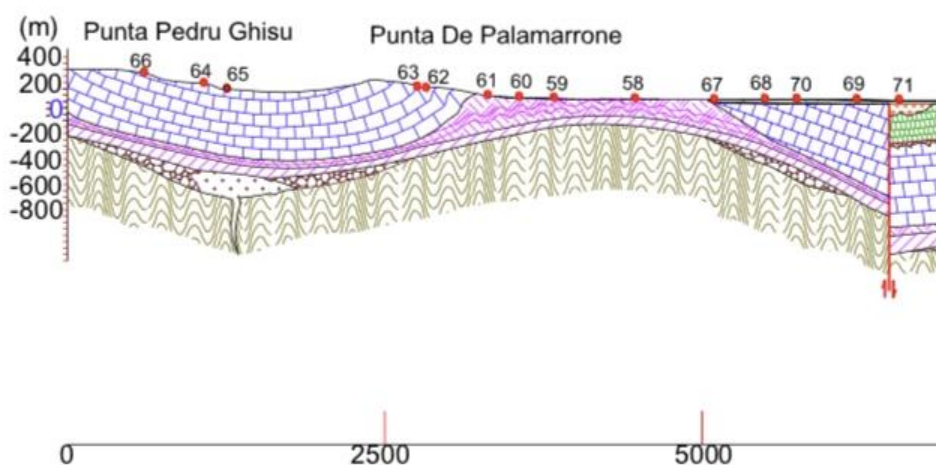


Figura 8 Particolare della sezione geologica con dettaglio dell'area in studio

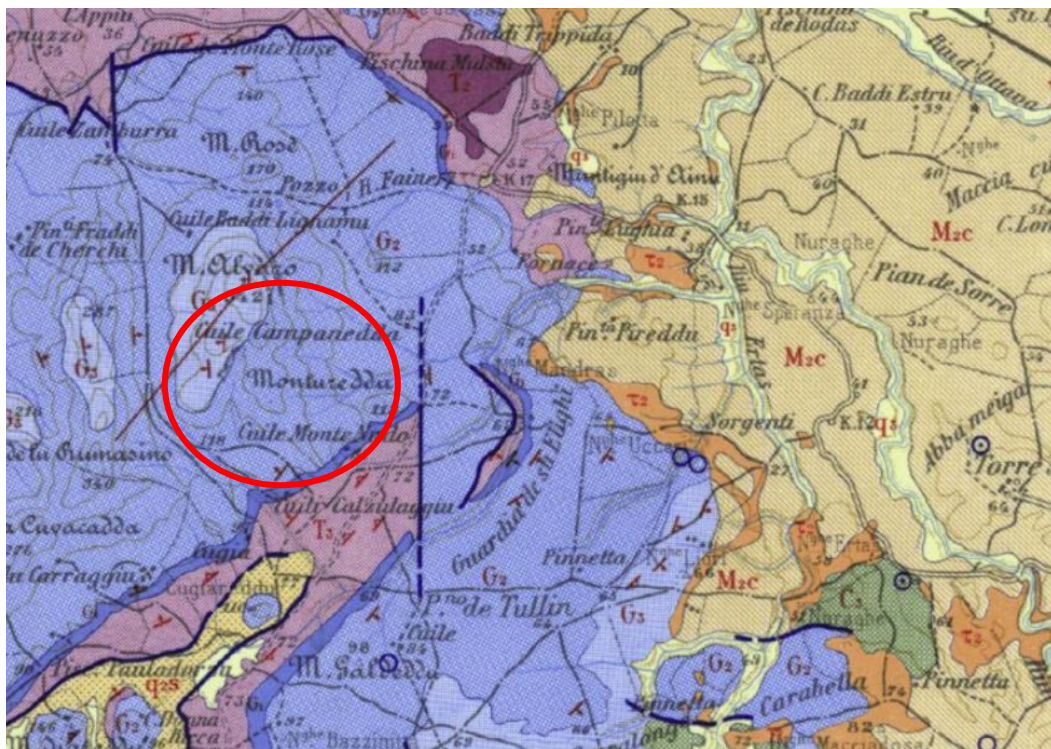


Figura 9 Stralcio Carta Geologica d'Italia scala 1:100.000 foglio 179 "Porto Torres"



Figura 10 Stralcio Carta Geologica d'Italia scala 1:50.000 foglio 459 "Sassari"

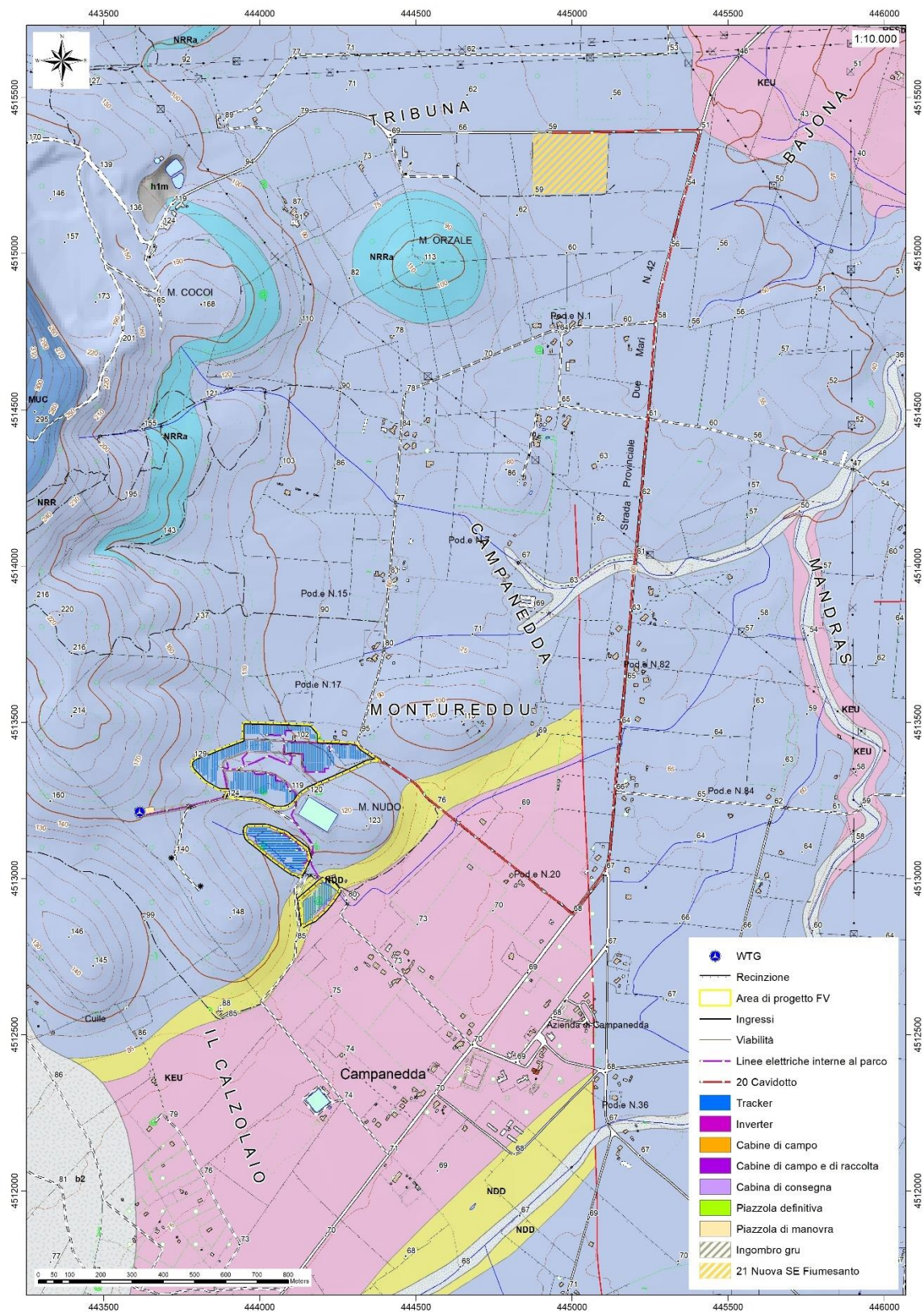


Figura 11 Stralcio della Carta Geologica dell'area di interesse

4.2. SUCCESSIONE SEDIMENTARIA MESOZOICA

Le rocce della successione mesozoica sono deformate da una tettonica con tipico stile di copertura. La parte più bassa della successione, presenta rocce con caratteri di sedimentazione prevalentemente terrigena (Triassico), che evolve a piattaforma carbonatica (Giurassico). Vengono descritte quelle affioranti nell'area di interesse, a partire dalla più recente fino alla più antica.

MUC - Formazione di Monte Uccari (cfr. Formazione Punta Cristallo IST). E' costituita da calcari micritici e bioclastici grigio biancastri ben stratificati; dolomie grigiastre e lenti di calcare oolitico con ciottoli a carofite. La successione, di potenza di un centinaio di metri, viene riferita al Giurassico superiore (MALM) per via della ricca associazione di alghe dasycladacee.

NRRa - Litofacies nella Formazione di Monte Nurra (cfr Formazione Gamba di Moro GDMa). Intercalazioni di arenarie quarzose e siltiti arenacee. DOGGER

NRR - Formazione di Monte Nurra (cfr Formazione Gamba di Moro GDM). La successione, potente fino a 150-200m, è costituita da 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. La ricca fauna a spugne, coralli ermatipici, lamellibranchi, gasteropodi, brachiopodi, echinodermi e briozoi ha permesso di collocare la successione nel Giurassico medio (DOGGER).

NDD - Formazione di Campanedda (cfr. Fm. Monte Zirra ZRR). Affiora presso la località omonima con una successione di spessore variabile tra 10-15m che sormonta il sottostante Keuper. La successione è costituita da calcari oolitici, oncolitici e bioclastici, marne e calcari marnosi; calcari grigio-bluastri con lenti di selce. Il ricco contenuto fossilifero a foraminiferi, coralli, gasteropodi, brachiopodi, ammoniti ed echinidi permette di attribuire la successione al Giurassico inferiore (LIAS).

KEU - Keuper AUCT. La successione, di spessore valutabile in 40-50 m, presenta due litofacies non sempre affioranti costituite da marne grigio-giallognole con subordinati calcari marnosi; argille varicolori gessifere. TRIAS SUP. (LONGBARDICO SUP. - ?RETICO)

MUK - Muschelkalk AUCT. La successione, spesso non oltre 10-15m, è costituita da calcari laminati sottilmente stratificati e calcari dolomitici in grossi banchi. Si possono individuare quattro livelli che, dalla base verso il tetto, sono costituiti da marne dolomitiche nodulari giallastre e dolomie grigie laminate e attraversate da bioturbazioni, seguite da calcari marnosi e livelli argillosi, e da calcari bioclastici, per terminare con calcari intercalati a livelli di dasycladacee e foraminiferi. Viene attribuita al Ladinico per la presenza di alcuni conodonti, sebbene siano presenti alghe, coralli, foraminiferi, bivalvi, brachiopodi, crinoidi, e ammoniti. 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)



Figura 12 Calcari della Formazione di Monte Nurra.



Figura 13 Calcare oolitico della Formazione di Campanedda.

4.3. DEPOSITI QUATERNARI DELL'AREA CONTINENTALE

I depositi quaternari cartografati nell'area di studio sono generalmente poco rilevanti; sono rappresentati principalmente da depositi di versante, coltri eluvio-colluviali e depositi alluvionali. Vengono descritti dal più antico al più recente.

(a) Depositi di versante: sono costituiti da detriti spigolosi e a varia granulometria accumulati essenzialmente per gravità alla base dei versanti rocciosi più ripidi. Sono depositi in genere monogenici ed

eterometrici, con clasti spigolosi o scarsamente elaborati ed una notevole matrice fine. Gli affioramenti più estesi si rinvenivano alla base dei versanti, oppure in corrispondenza dei compluvi dove formano delle fale di detrito piuttosto estese. Lo spessore di questi depositi, che generalmente non sono cementati e sono fissati da vegetazione, solitamente è variabile nell'ordine massimo di qualche metro alla base dei versanti e nei compluvi. Olocene.

(b2) Coltri eluvio-colluviali: Si tratta di materiali derivati dal disfacimento in situ delle rocce in seguito mobilizzate da processi di versante, costituiti da depositi con percentuali variabili di sedimenti fini (sabbia e silt) più o meno pedogenizzati e arricchiti in frazione organica, con clasti eterometrici di varia litologia. Lo spessore di questi depositi solitamente è abbastanza esiguo (nell'ordine massimo di qualche metro in prossimità dei compluvi). Olocene.



Figura 14 Coltri eluvio-colluviali.

(b) Depositi alluvionali: si tratta di depositi di spessore modesto (compreso tra qualche metro e 15m lungo il Riu Mannu), costituiti da materiale sabbiosi, limosi o ghiaiosi depositati lungo i corsi d'acqua.

(bb) Depositi alluvionali: si tratta di sedimenti fini, costituiti da sabbie con rare ghiaie.

(h1m) Depositi antropici: si tratta di depositi imputabili ad attività antropica, ascrivibili a discariche minerarie derivanti dall'attività estrattiva di materiali quali sabbie silicee, ghiaie e rocce calcaree. I depositi

sono costituiti da materiali litoidi più o meno grossolani e formano cumuli di modesta estensione con spessore massimo di 15-20m.

4.4. CARATTERI GEOSTRUTTURALI, GEOMETRIA E CARATTERISTICHE DELLE SUPERFICI DI DISCONTINUITÀ

I principali lineamenti strutturali, nell'area vasta, derivano dall'evoluzione stratigrafica e tettonica oligo-miocenica, responsabile dello sviluppo dei bacini del Logudoro e di Porto Torres e dell'intenso vulcanismo calcalcalino.

L'area di studio è caratterizzata dall'affioramento delle coperture mesozoiche, costituite da arenarie grossolane, conglomerati basali, e marne, argille e calcari bioclastici. I depositi quaternari sono principalmente costituiti da coltri eluvio-colluviali di spessore molto modesto e depositi di versante.



Figura 15 Fratturazione in blocchi alla scala dell'affioramento. (Formazione di Monte Nurra)

Sono presenti alcune importanti discontinuità, tra cui una faglia che si estende per circa 2 km lungo la direzione N-S, localizzata ad S di P.ta Janna Strinta. Dal rilevamento geologico di dettaglio è emersa la presenza di altre faglie, sia nel costone orientale (con orientamento N-S e NW-SE) che in quello occidentale (WNW-ESE).

L'area interessata dal progetto è posizionata nelle coperture mesozoiche: in particolare nella formazione di Monte Nurra (NRR).

Le rocce della Formazione di Monte Nurra presentano evidente stratificazione (S0), che rappresenta la struttura principale sia alla scala dell'affioramento che alla mesoscala, mentre la fratturazione è visibile soprattutto alla scala dell'affioramento.

Anche le rocce della Formazione di Monte Uccari presentano una stratificazione ben sviluppata, evidente alla scala dell'affioramento.

5. INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO

I pannelli fotovoltaici verranno posizionati in basse colline (a quote dai 75m ai 150m slm) in Località **Campanedda**, ai piedi del versante nord-orientale di due rilievi tra loro paralleli e orientati NW-SE denominati Monte Su Zumburu (220m) e Monte Nudo (123).

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.

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. La forma prevalentemente rotondeggiante dei rilievi dell'area di intervento è il risultato della graduale demolizione del rilievo ad opera degli agenti erosivi sulle rocce di natura prevalentemente carbonatica, modellate dal carsismo.

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 disaggregazione 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.



Figura 16 paesaggio a monte dell'area di studio

I karren sono superfici nelle quali le acque hanno provocato ampie fessure, simili ai solchi delle ruote di un carro, e caratterizzati da una vegetazione molto scarsa. Le doline invece sono tra le forme più note del paesaggio carsico. La dolina è una conca chiusa a pianta tondeggiante, ovvero una depressione a forma di imbuto, prodotta dalla dissoluzione della roccia ad opera delle acque piovane (un bacino che si riempirebbe d'acqua a originare un laghetto se le pareti ed il fondo fossero impermeabili), con un diametro variabile da qualche metro fino a 1 km e di profondità fra i 2 e i 200 metri e che presentano sul fondo un inghiottitoio cioè un'apertura attraverso la quale le acque meteoriche vengono convogliate in profondità. Le doline raccolgono quindi grandi quantità di acque piovane o di scorrimento superficiale e le convogliano nel reticolo carsico di drenaggio, dove si formano così veri e propri torrenti sotterranei. La dolina, se abbastanza profonda, è caratterizzata da un clima particolare. A causa della sua forma, infatti, la dolina si

presenta come una trappola di aria fredda, presentando una sensibile differenza di temperatura rispetto al resto dell'altopiano.

Questa particolarità rende la dolina un ambiente a sé con una presenza di flora (vedi "inversione della vegetazione in una dolina) e fauna che normalmente si trovano ad altitudini maggiori. La dolina è quindi il risultato della dissoluzione delle rocce carbonatiche attorno all'inghiottitoio o del crollo di una grotta sotterranea.

5.1. ANALISI DELL'AREA GEOMORFOLOGICAMENTE SIGNIFICATIVA AL PROGETTO

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 fortemente interessata dall'azione geochimica e fisica che l'acqua esercitata sulle dolomie e sui calcari, la quale, assieme al clima locale caratterizzato dall'imponenza del maestrale e alle importanti escursioni termiche giornaliere, ha smussato e modellato il territorio conferendoli forme dolci e valli da fondo prevalentemente piatto.



Figura 17 Foto nei pressi dell'area interessata al progetto



Figura 18 Foto dell'area interessata al progetto



Figura 19 Caratteri geomorfologici dell'area vasta e significativa (NNW verso il lato superiore dell'immagine)

6. INQUADRAMENTO SISMICO

La sismicità indica la frequenza e la forza con cui si manifestano i terremoti, ed è una caratteristica fisica del territorio. Sulla base delle conoscenze relative alla frequenza e all'energia associate ai terremoti che caratterizzano un territorio, si attribuisce un valore di probabilità al verificarsi di un evento sismico di una

data magnitudo in un certo intervallo di tempo, possiamo definirne la pericolosità sismica. La pericolosità sismica sarà tanto più elevata quanto più probabile sarà il verificarsi di un terremoto di elevata magnitudo, a parità di intervallo di tempo considerato.

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

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

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

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

6.1. 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_o valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;

TC* 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_o e TC^* 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.

6.2. 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** (opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali e dighe di grandi dimensioni...) 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 20 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 :

$$V_R = V_N \times C_U$$

¹ Per i valori di a_g , F_o e TC^* 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.

Il valore del coefficiente d'uso C_U è definito, al variare della classe d'uso, come mostrato in Tab. 2.4.II. Nel Caso specifico $C_U = 1$.

Tab. 2.4.II – Valori del coefficiente d'uso C_U

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

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

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

La **categoria topografica è la T1** a cui corrisponde un valore del fattore di amplificazione pari a 1.0 e localmente T2 con coefficiente 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 $i > 30^\circ$

Tabella 1 Categorie topografiche (NTC 2018 3.2 - Tab. 3.2.II)

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

Categoria topografica	Ubicazione dell'opera o dell'intervento	S_T
T1	-	1,0
T2	In corrispondenza della sommità del pendio	1,2
T3	In corrispondenza della cresta di un rilievo con pendenza media minore o uguale a 30°	1,2
T4	In corrispondenza della cresta di un rilievo con pendenza media maggiore di 30°	1,4

Tabella 2 Valori massimi del coefficiente di amplificazione topografica S_T (NTC 2018 3.2 - Tab. 3.2.V)

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

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

7. INDAGINI GEOGNOSTICHE

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

L'obiettivo delle indagini realizzate è stato:

- Definire la stratigrafia ed i rapporti tra le formazioni geologiche interessate dagli interventi;
- Definire le caratteristiche fisico-meccaniche degli ammassi rocciosi coinvolti nelle opere in progetto;

L'indagine geognostica è stata realizzata essenzialmente mediante prospezione geofisica. Sono state realizzate impiegando la metodologia **sismica a rifrazione** e **tomografia elettrica** e con la tecnica **MASW**. Sono state posizionate in corrispondenza della base fondante della turbina. Per analogia geologica le stesse possono essere utilizzate per valutare le caratteristiche fisico-meccaniche preliminari dell'area interessata dall'impianto fotovoltaico.

L'indagine sismica con tecnica MASW (Multichannel Analysis of SurfaceWaves) 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 DM 17/01/2018.

L'indagine sismica a rifrazione con acquisizione ed elaborazione tomografica in onde longitudinali (P) permette di ricostruire l'andamento stratigrafico, nel senso di spessori elastomogenei, andando a stimare lo stato di addensamento e/o fratturazione del terreno investigato. E' molto utile anche per classificare la cosiddetta "rippabilità" degli ammassi rocciosi e per ottenere per via indiretta una classificazione dell'ammasso roccioso.

La tomografia elettrica è una tecnica geofisica che restituisce, del sottosuolo investigato, l'immagine 2D della distribuzione della resistività elettrica. Trova le sue migliori applicazioni in situazioni complesse, dove può manifestare tutto il suo elevato potere risolutivo, sia laterale che verticale. Nel caso in esame è stata impiegata con lo scopo di individuare l'eventuale presenza di cavità di origine carsica nella formazione delle dolomie.

In data 24/08/2021 è stata realizzata la prospezione geofisica integrativa ad opera della ditta Geoservice S.R.L., articolata in:

- Esecuzione di n° 1 stendimenti di sismica con tecnica MASW (M1)
- Esecuzione di n°1 stendimento di sismica a rifrazione in onde P
- Esecuzione di n° 1 stendimenti di geoelettrica.

Rilievo topografico tramite GPS differenziale STONEX S70G (geofoni, punti di shot) e restituzione dei profili altimetrici da impiegare nella sezione sismica.

Elaborazione dei dati tramite analisi delle prospezioni acquisite in campagna, applicazione filtri, e restituzione grafica delle sezioni sismiche con l'impiego del software specialistici.

Lo stendimento è stato posizionato in modo da esser rappresentativo delle condizioni litostratigrafiche e geostrutturali, in accordo con quanto rilevato dai rilievi di superficie.

Nella Tabella seguente è riportato il quadro riassuntivo delle indagini svolte, con le sigle identificative, la direzione di esecuzione (da geofono iniziale a quello finale), e la loro lunghezza complessiva, mentre nella figura seguente è rappresentato il punto dove sono state effettuate le indagini.

Stendimento	Metodo di indagine geofisico	Orientamento	Lunghezza(m)
M1	MASW	SE-NW	69,0
R1	Sismica a rifrazione in onde P	SE-NW	69,0
T1	Geoelettrica	SE-NW	93,0

Di seguito si riportano le specifiche di rilievo e gli esiti dell'elaborazione dei profili sismici acquisiti.

7.1. M.A.S.W. – TECNICA E PARAMETRI UTILIZZATI

Il metodo MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) è una tecnica di indagine non invasiva, che individua il profilo di velocità delle onde di taglio verticali Vs, basandosi sulla misura delle onde superficiali fatta in corrispondenza di diversi sensori (geofoni) posti sulla superficie del suolo.

Il contributo predominante alle onde superficiali è dato dalle onde di Rayleigh, che viaggiano con una velocità correlata alla rigidità della porzione di terreno interessata dalla propagazione delle onde. In un mezzo stratificato le onde di Rayleigh sono dispersive, cioè onde con diverse lunghezze d'onda si propagano con diverse velocità di fase e velocità di gruppo (Achenbach, J.D., 1999, Aki, K. and Richards, P.G., 1980) o detto in maniera equivalente la velocità di fase (o di gruppo) apparente delle onde di Rayleigh dipende dalla frequenza di propagazione. La natura dispersiva delle onde superficiali è correlabile al fatto che onde ad alta frequenza con lunghezza d'onda corta si propagano negli strati più superficiali e quindi danno informazioni sulla parte più superficiale del suolo, invece onde a bassa frequenza si propagano negli strati più profondi e quindi interessano gli strati più profondi del suolo." (da Caratterizzazione sismica dei suoli con il metodo MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves – V. Roma 2006). L'indagine svolta ha visto l'applicazione di tecnica M.A.S.W. di tipo attivo, ossia misura del comportamento dei terreni a seguito di un'energizzazione.

Figura 21 Schema geometrico di acquisizione dei dati per gli stendimenti di lunghezza $L = 46,0$ m

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

Il metodo risulta efficace se la base sismica è ubicata su piano a pendenza costante e per una stratificazione piano parallela al piano topografico. Al fine di svolgere al meglio la campagna geofisica M.A.S.W., è utile che lo sviluppo lineare della base sismica sia limitata in lunghezza secondo i siti.

La maggior profondità di caratterizzazione raggiunta è legata alla minor frequenza registrata. Come già indicato nella figura, una frequenza alta caratterizza gli strati superficiali. La registrazione delle frequenze minori è destinata ai geofoni più lontani dalla sorgente.

7.1.1. CARATTERISTICHE DELLA STRUMENTAZIONE IMPIEGATA

Per l'esecuzione del cantiere d'interesse, ci siamo avvalsi di una strumentazione di acquisizione DoReMi, prodotto dalla SARA electronicinstruments, 24bit con frequenza di campionamento 1000 Hz per ognuno dei canali registrati, ciascuno attrezzato con geofoni verticali SARA electronics con frequenza propria di 4,5 Hz. Per l'energizzazione è stata usata una mazza battente da 10 kg impattante su piastra di battuta in duralluminio, diametro 18 cm, spessore 4 cm, peso 2 kg.

7.1.2. ELABORAZIONE DEI DATI

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

- individuazione della variazione del segnale acquisito nel tempo
- analisi di Fourier con definizione dei contenuti spettrali acquisiti nei segnali

- stacking dello spostamento di fase con definizione delle velocità di rotazione retrograda compatibile con il campo di frequenza definita.

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

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

7.1.3. CATEGORIE DI SOTTOSUOLO – D.M. 19/01/2018 (NTC 2018)

Le "Norme Tecniche per le Costruzioni" – Decreto del 19/01/2018 definiscono le regole per progettare l'opera sia in zona sismica che in zona non sismica. La classificazione del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio, $V_{s,eq}$ (in m/s), definita dall'espressione

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

con:

- h_i spessore dell'i-esimo strato;
- $V_{s,i}$ velocità delle onde di taglio nell'i-esimo strato;
- N numero di strati;
- H profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da V_s non inferiore a 800 m/s,

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

Le categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato sono definite in Tab. 3.2.11. Per queste cinque categorie di sottosuolo, le azioni sismiche sono definibili come descritto al § 3.2.3 delle NTC 2018. Per qualsiasi condizione di sottosuolo non classificabile nelle categorie precedenti, è necessario predisporre specifiche analisi di risposta locale per la definizione delle azioni sismiche.

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

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



Figura 22 Localizzazione stendimento M1/R1 e T1

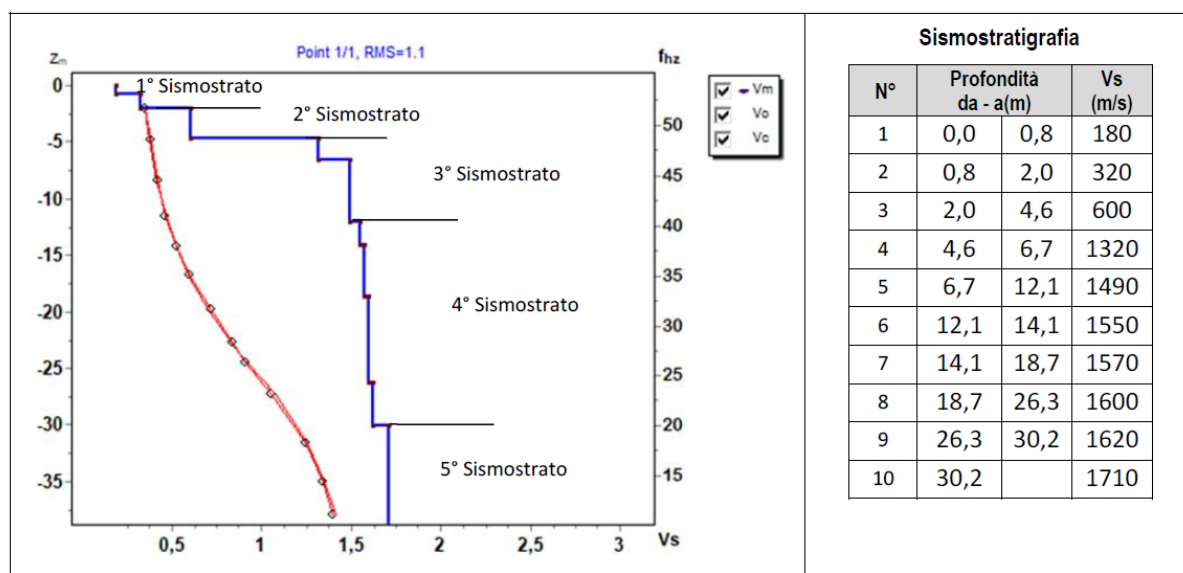
7.2. RISULTATI DELLE INDAGINI

7.2.1. M.A.S.W. – ELABORAZIONE RISULTATI

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

Profondità [m sotto il pc]	Descrizione
0 – 2,0	1° sismostrato con Vs tra 180 e 320 m/s , terre da poco a mediamente addensate
2,0 – 4,6	2° sismostrato con Vs di 600 m/s , Roccia fratturata
4,6 – 12,1	3° sismostrato con Vs tra 1320 e 1490 m/s , Substrato roccioso debolmente fratturato
12,1 – 30,2	4° sismostrato con Vs tra 1550 e 1620 m/s , Substrato roccioso sano
>30,2	5° sismostrato con Vs di 1710 m/s , Substrato roccioso sano

MASW M1 - PROFILO Vs



La classificazione del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio, 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 **4,6 m** (Vs > 800 m/s)

La velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio calcolata per il substrato posto a **4,6 m** di profondità dal p.c. è pari a: **Vs eq = 4,6/0,0124 = 371 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.

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

Sismostrato	Prof/zona	CT*	Densità γ	Vp	Vs	Coefficiente di Poisson ν	Modulo di Young dinamico Ed	Modulo di Young statico Ed	Modulo di taglio G_0	Modulo di comprimibilità o di Bulk - K
			[Kg/m ³]	[m/s]	[m/s]		[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]
1	0-2,0	terre	1.600	500	250	0,33	265	32	98	265
2	2,0-4,6	10%	1.800	1.200	600	0,33	1.726	173	647	1.726
3	4,6-12,1	15%	2.000	2.810	1.405	0,33	10.533	1.580	3.952	10.533
4	12,-30,2	20%	2.100	3.170	1.585	0,33	14.073	2.815	5.276	14.073
5	>30,2	30%	2.200	3.420	1.710	0,33	17.152	5.146	6.433	17.152

Figura 23 Parametri di deformazione dinamici e statici dei terreni determinati tramite misure sismiche

Sulla base delle correlazioni fornite nei precedenti paragrafi è possibile stimare una correlazione tra Vs e N_{SPT}, i parametri di resistenza al taglio e di deformazione. Nel caso in esame trattandosi di materiali a granulometria grossolana si consiglia di impiegare la correlazione di Imai (1977) di seguito indicata.

$$N_{SPT} = \left(\frac{V_s}{80,6} \right)^{3,021} \text{ valida per i terreni prevalentemente sabbiosi - Imai (1977)}$$

Categorie di 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:

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 6.11) si pone l'eventuale presenza del substrato a profondità 4,6 m (Vs > 800 m/s).

La velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio calcolata per il substrato posto a profondità 9,8m di profondità dal p.c. è pari a:

$$V_{s,eq} = 4,6/0,0124 = 371 \text{ m/s}$$

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.

8. CATEGORIE DI SOTTOSUOLO E PARAMETRI DI PERICOLOSITÀ SISMICA

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

Sigla Stendimento	Profondità substrato [m]	V_{seq} [m/s]	Categoria sottosuolo (NTC2018)
M1	4,6	371	B

Il substrato roccioso ($V_s > 800$ m/s) si rileva profondità di 4,60m che dà luogo alla categoria B come specificato nello schema sottostante.

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

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

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

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

dove:

Stati limite di esercizio

Stati limite ultimi

 a_g accelerazione orizzontale massima al sito

Stato Limite di Operatività (SLO)

Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV)

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

Stato Limite di Danno (SLD)

Stato Limite di prevenzione del Collasso (SLC)

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

9. CONCLUSIONI

Il territorio comunale di **Campanedda (SS)** ricade in **Zona 4 a bassa pericolosità sismica**.

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

I terreni investigati che appartengono Formazione di Monte Nurra, ricadono nella categoria di sottosuolo **categoria B: 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.