



REALIZZAZIONE DI UN PARCO EOLICO DA REALIZZARSI
NEI COMUNI DI DI ITTIRI, BANARI, BESSUDE E THIESI

RELAZIONE GEOTECNICA

Rev. 0.0

Data: 14 dicembre 2023

QQR-WND-026

Committente:

Queequeg Renewables Due S.r.l.
piazza Cinque Giornate, 10
20129 Milano (MI)
C. F. e P. IVA: 04578310163
PEC: queequegrenewablesdue@pec.it

Progetto e sviluppo:

Queequeg Renewables, ltd
2nd Floor, the Works,
14 Turnham Green Terrace Mews,
W41QU London (UK)
Company number: 11780524
email: mail@quren.co.uk

Aspetti geologici, geotecnici e geofisici:

Geotechna S.r.l.
Via Lorenzo il Magnifico n. 7
09134 Cagliari (IT)

Gruppo di lavoro:
Dott.ssa Geol. Giorgia La Ruffa
Dott. Geol. Mauro Pompei
Dott.ssa Geol. Maria Francesca Lobina

INDICE

1	GENERALITÀ	2
1.1	Premessa.....	2
1.2	Normativa di riferimento	2
1.3	Inquadramento topografico e territoriale.....	3
1.4	Descrizione sommaria degli interventi.....	8
2	MODELLO GEOTECNICO.....	10
2.1	Assetto litostratigrafico di contesto.....	10
2.2	Aspetti sismici.....	10
2.3	Modello stratigrafico di riferimento	10
2.4	Caratteri idrogeologici	11
2.5	Parametrizzazione geotecnica preliminare	11
3	CONCLUSIONI.....	13

1 Generalità

1.1 Premessa

La società Queequeg Renewables Due S.r.l., controllata dal gruppo Queequeg Renewables, ha in programma l'installazione e la messa in esercizio di un impianto eolico in agro di Bessude, Ittiri, Thiesi e Banari (Provincia di Sassari) costituito da n. 9 turbine di altezza complessiva 220 m e ciascuna di potenza nominale 6,80 MW, nonché l'approntamento delle opere accessorie indispensabili per il funzionamento e la gestione degli aerogeneratori (viabilità, piazzole, distribuzione elettrica di impianto, cavidotto di connessione alla RTN e opere accessorie necessarie al funzionamento dell'impianto stesso).

La potenza complessiva del parco sarà di 61,2 MW, con una potenza elettrica in immissione di 61,2 MWac.

In tale ambito, la *QUEEQUEG RENEWABLES, LTD* in qualità di gruppo incaricato della progettazione ha inteso conferire alla *GEOTECHNA S.R.L. DI CAGLIARI* l'incarico per lo svolgimento degli studi geologici s.l., geotecnici e sismici funzionali alla fase di conseguimento del titolo autorizzativo.

Gli argomenti di seguito esposti si basano su dati originali acquisiti nel corso di sopralluoghi all'uopo eseguiti nei siti di intervento coadiuvati da dati provenienti dalla miscellanea regionale oltreché da indagini geologiche e geotecniche condotte per altre edilizie nel medesimo contesto territoriale. I risultati dell'analisi geotecnica sono illustrati nel presente elaborato, incentrato sulla descrizione del modello geotecnico e relativa parametrizzazione dei terreni influenzati dalle opere di fondazione, a supporto della progettazione strutturale ed in particolare dell'analisi dell'interazione opera-terreno. La finalità è stata quindi quella di fornire gli elementi per definire il comportamento meccanico del volume significativo di terreno influenzato, direttamente o indirettamente, dall'intervento.

Si rimanda alla successiva fase progettuale per l'esecuzione della campagna di indagini geognostiche, in ossequio agli obblighi del succitato D.M. 17.01.2018 e relativa Circolare C.S. LL.PP. n. 7 del 21.01.2019, che consentirà di definire con il dettaglio necessario gli aspetti litologici e geomorfologici delle aree di intervento nonché per la definizione della configurazione stratigrafica e geotecnica del sottosuolo in corrispondenza dei siti designati ad ospitare gli aerogeneratori e le opere annesse.

1.2 Normativa di riferimento

La normativa vigente in materia a cui si è fatto riferimento per lo svolgimento degli studi e la compilazione del presente documento tecnico è la seguente:

- Circolare C.S. LL.PP. n. 7 del 21.01.2019 «*Istruzioni per l'applicazione dell'Aggiornamento delle Norme tecniche per le Costruzioni*» di cui al D.M. 17.01.2018»;
- D.M. 17.01.2018 «*Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni*»;
- Circolare C.S. LL.PP. n. 617 del 02.02.2009 «*Istruzioni per l'applicazione delle nuove Norme tecniche per le costruzioni di cui al D.M. 14.01.2008*»;
- D.M. 14.01.2008 «*Norme Tecniche per le Costruzioni*»;
- Ordinanza del P.C.M. n. 3316 del 02.10.2003 «*Modifiche ed integrazioni all'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri*»;
- Ordinanza del P.C.M. n. 3274 del 20.03.2003 «*Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per la costruzione in zona sismica*»;
- D.M. LL.PP. 16.01.1996 «*Norme tecniche per la costruzione in zone sismiche*».

1.3 Inquadramento topografico e territoriale

Il settore in studio è ubicato nella Sardegna nord-occidentale, in Provincia di Sassari e ricade entro le pertinenze territoriali dei Comuni di Ittiri, Banari, Bessude e Thiesi, abbracciando da nord verso sud le località identificate con i toponimi di Sa Seasa, Monte Uppas, Sa Frissa, Monte Gherra, Monte Longos, Sea Lepere e Monte Cheia.

I siti sono raggiungibili percorrendo la stradale statale S.S. 131 bis che taglia a nord l'area del parco e la provinciale S.P. 128bis che lambisce il parco eolico ad ovest collegando il centro abitato di Ittiri con quello di Romana.

I riferimenti cartografici sono rappresentati da:

- Foglio 479 "ITTIRI" dell'I.G.M.I. [scala 1:50.000]
- Sezione 479 - I "ITTIRI" dell'I.G.M.I. [scala 1:25.000]
- Sezione 479040 "DIGA 'E SU BIDIGHINZU" della C.T.R. [scala 1:10.000]
- Sezione 479080 "MONTE CHEIA" della C.T.R. [scala 1:10.000]



FIGURA 1.1 – Inquadramento geografico del sito di intervento.



FIGURA 1.2 – Ubicazione degli interventi nell'area vasta, su immagine estratta da Google Earth, 2022.

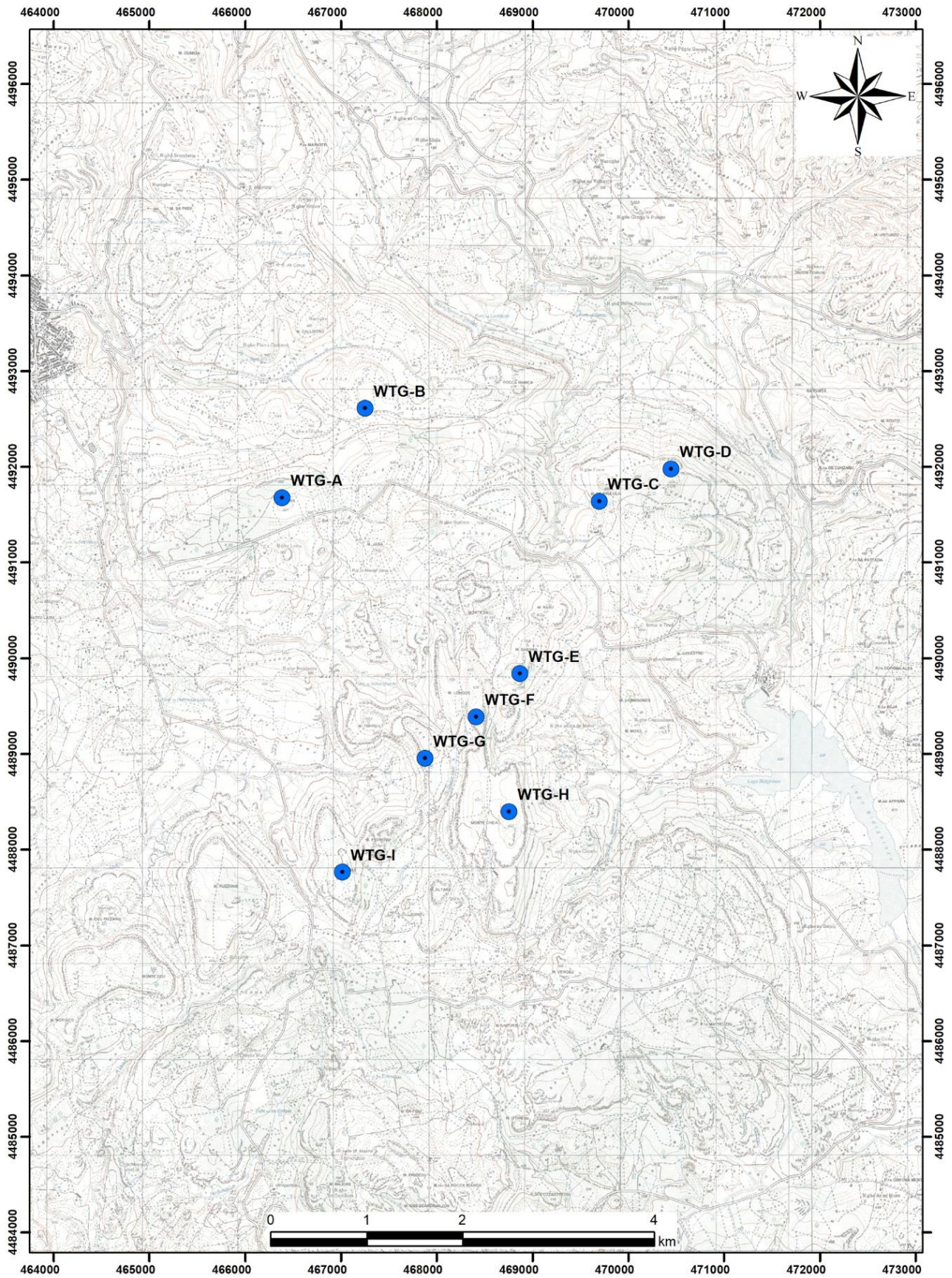


FIGURA 1.3 – Area di intervento su stralcio cartografia IGM 1:25.000, fuori scala.

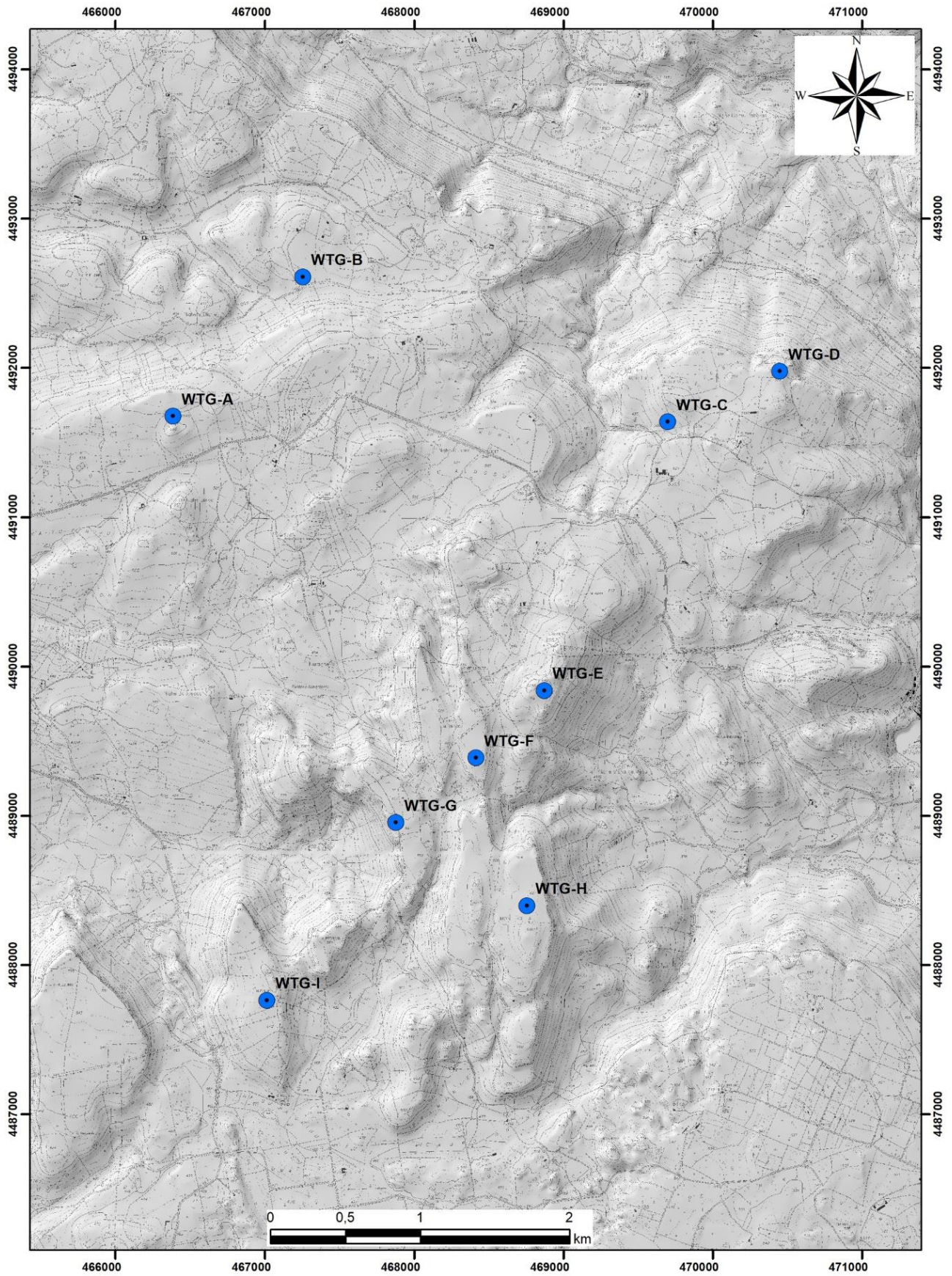


FIGURA 1.4 – Area di intervento su stralcio Cartografia Tecnica Regionale 1:10.000, fuori scala.

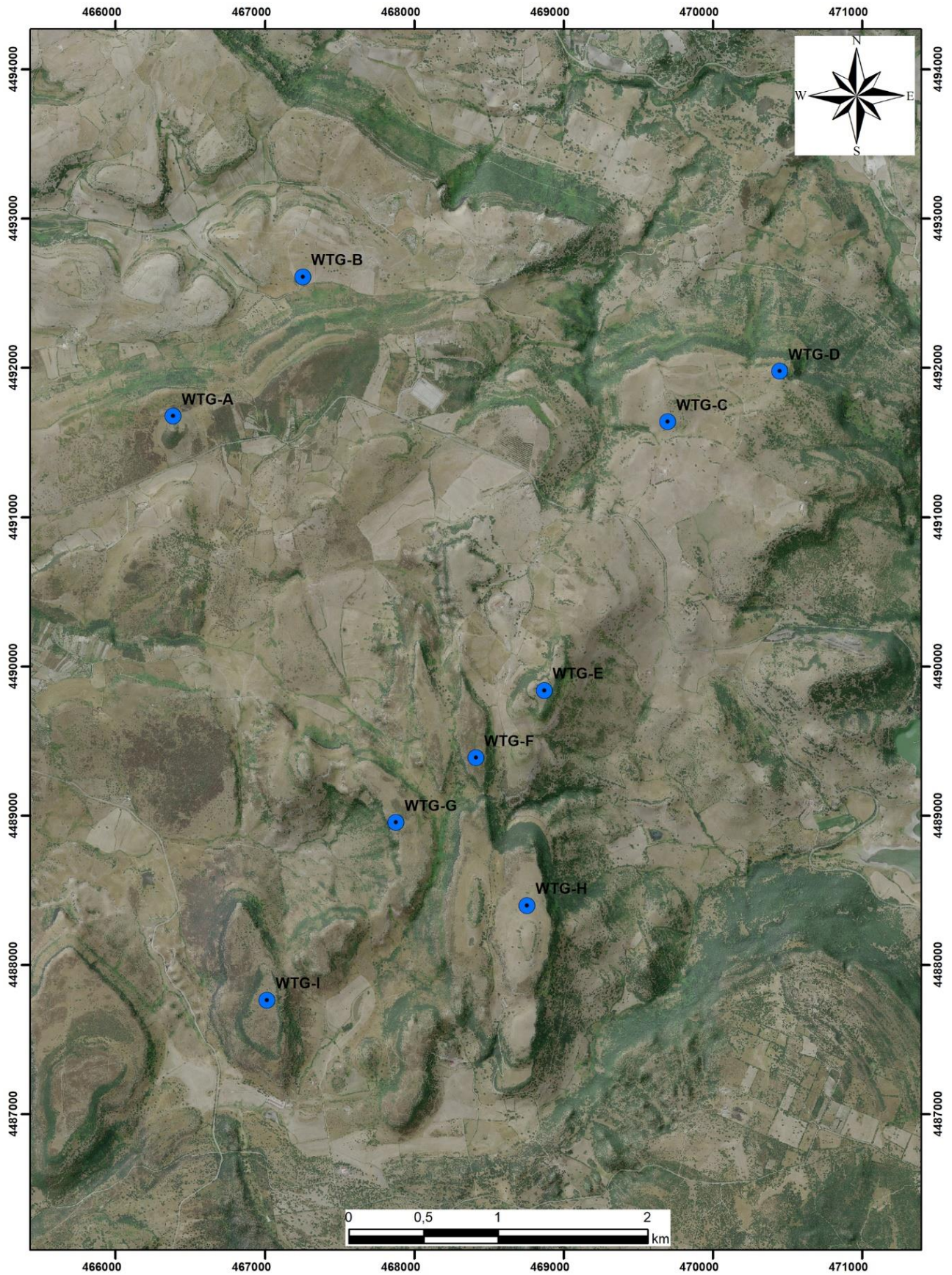


FIGURA 1.5 – Area di intervento su stralcio ortofotogrammetrico.

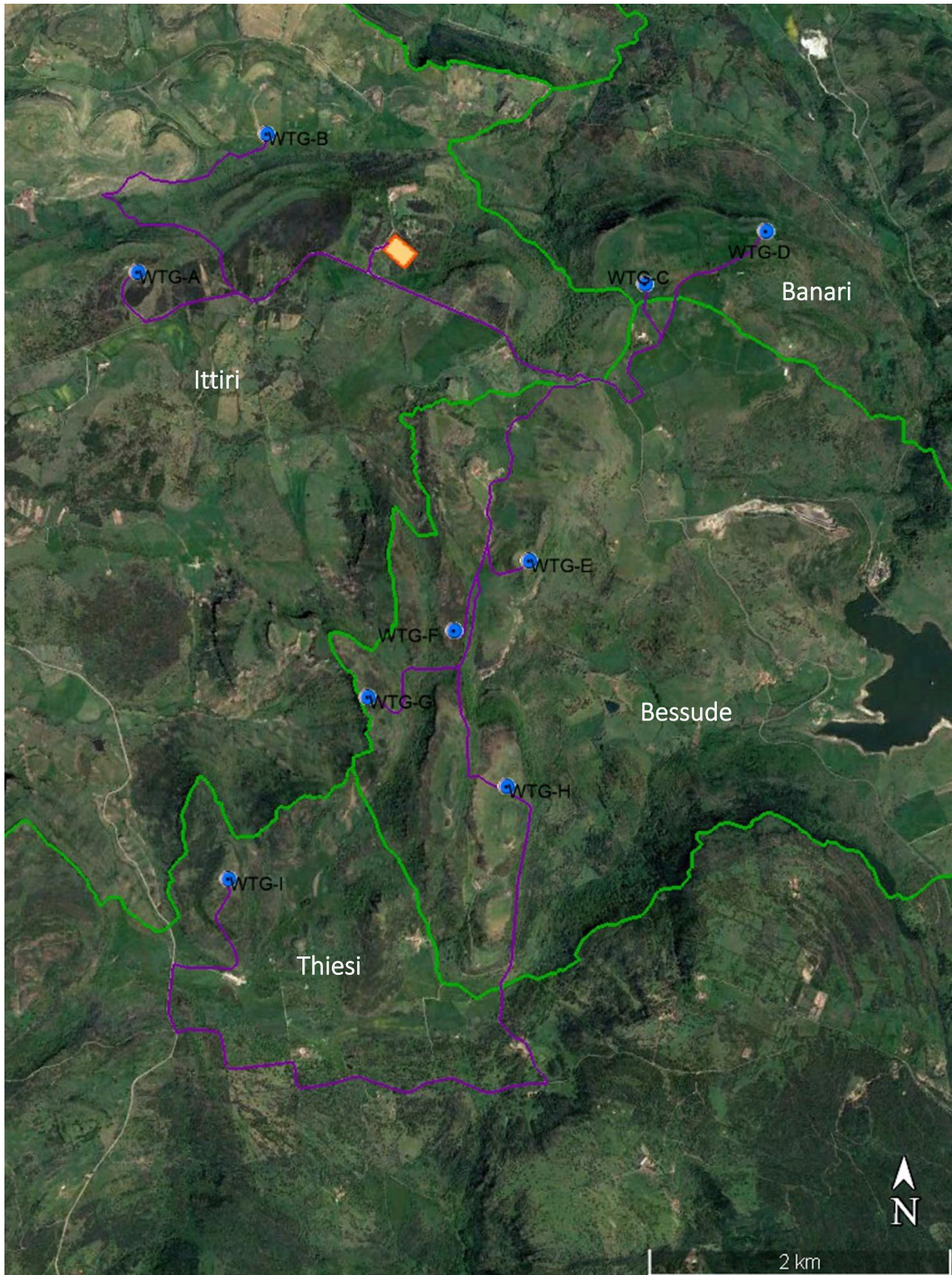


FIGURA 1.6 – Area di intervento e confini comunali (in verde) su immagine estratta da Google Earth 2022.

1.4 Descrizione sommaria degli interventi

È prevista l'installazione di n. 9 aerogeneratori con diametro massimo delle turbine di 172 m, altezza del mozzo di 134 m e complessiva di 220 m.

La potenza complessiva sarà di 61,2 MW, con una potenza elettrica in immissione di 61,2 MWac.

Poiché la viabilità locale è interamente ed agevolmente camionabile anche per il trasporto di generatori di grande taglia (multimegawatt) e delle relative parti complementari (conci di torre e pale), si prevede sin d'ora l'adeguamento temporaneo e la realizzazione di alcune tratte.

Gli aerogeneratori saranno installati in piazzole accessibili a partire dalla nuova viabilità di accesso. Le nuove piste di accesso saranno in terra battuta, con larghezza di circa 6 m comprensiva delle banchine laterali. Le piste saranno realizzate in misto stabilizzato e compattato con uno strato di fondazione in pietrisco costipato.

L'elettrodotto interrato, previsto sotto le piste di accesso al parco eolico e la viabilità pubblica dell'area, collegherà in MT gli aerogeneratori raggruppandoli in n. 5 comparti (FIGURA 1.6):

- Nord-occidentale WTG-A + WTG-B
- Nord-orientale WTG-C + WTG-D
- Centrale WTG-E + WTG-F + WTG-G
- Meridionale WTG-H + WTG-I

All'uscita di questi, l'elettrodotto di connessione permetterà di immettere l'energia elettrica prodotta in rete presso la stazione elettrica (SE) in agro del comune di Ittiri. Quest'ultima raccoglierà le linee in cavo interrato a 36 kV provenienti dal parco eolico che saranno attestate ad un quadro elettrico in MT, installato all'interno di un locale dedicato.

L'elettrodotto interrato in AT sarà composto da una terna di conduttori unipolari realizzati in alluminio, schermati e tensione massima pari a 170 kV. I cavi saranno direttamente interrati in una trincea di sezione 80 cm, ad una profondità di scavo minima di 1,50 m, protetti inferiormente e superiormente con un letto di sabbia vagliata e compattata.

Per ulteriori specifiche si rimanda agli elaborati tecnici di progetto.

In questa sede, per procedere con il dovuto dettaglio alla descrizione delle caratteristiche geologiche e morfologiche dei luoghi di intervento, si è fatto riferimento a soli due settori così raggruppati:

- Settentrionale WTG-A + WTG-B + WTG-C + WTG-D
- Centro-meridionale WTG-E + WTG-F + WTG-G + WTG-H + WTG-I

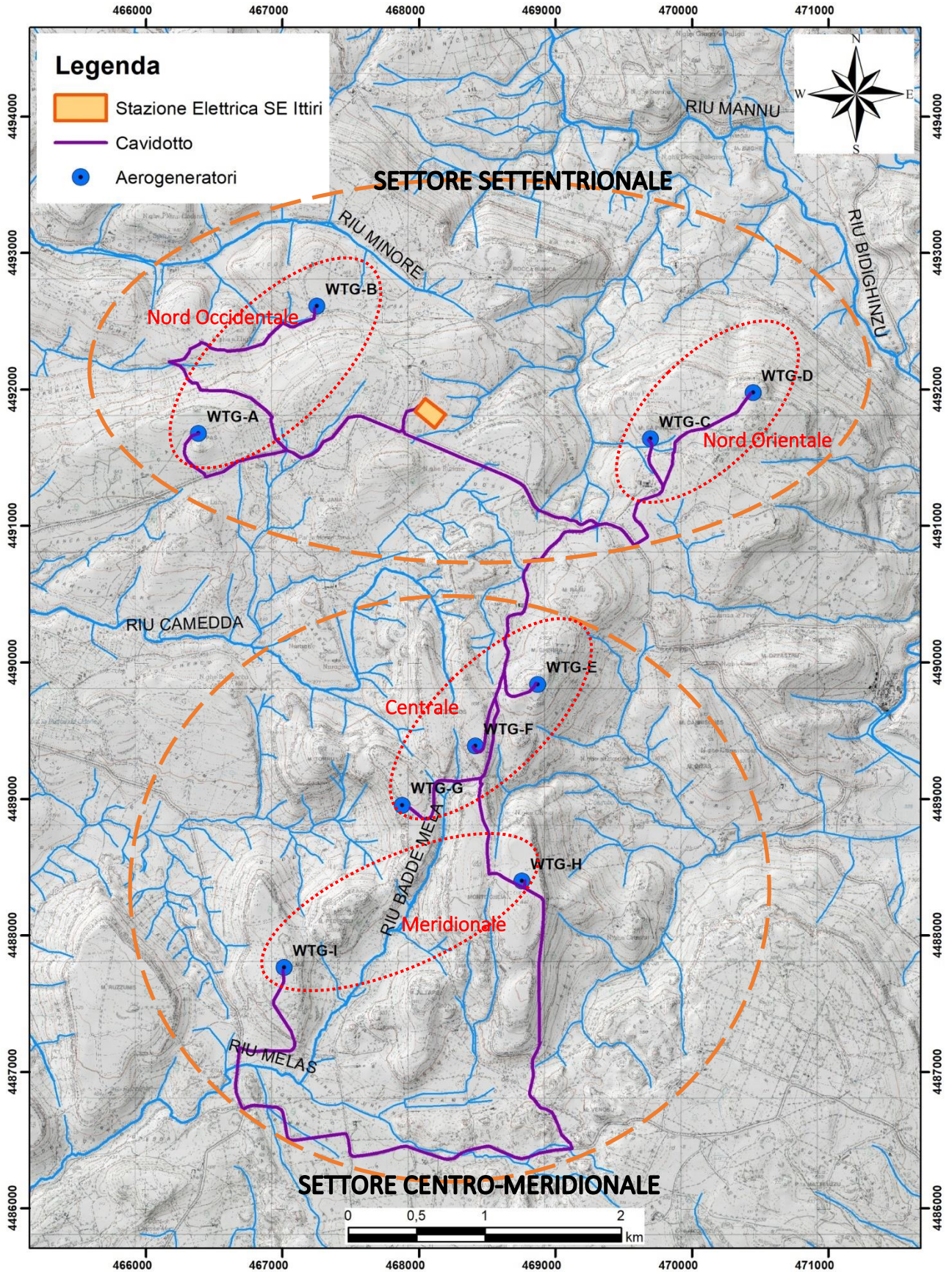


FIGURA 1.6 – Area di intervento e suddivisione in settori a fini descrittivi su immagine estratta da Google Earth 2022.

2 MODELLO GEOTECNICO

2.1 Assetto litostratigrafico di contesto

L'areale designato ad ospitare il parco eolico e la relativa viabilità di collegamento si caratterizza per l'esteso affioramento di ignimbriti riolitiche e riodacitiche afferenti Distretto Vulcanico di Capo Marargiu con subordinanti prodotti lavici basaltici ed andesitici spesso in facies di domi. Tutte le vulcaniti sono datate approssimativamente al Burdigaliano e quindi contemporanee alla costituzione del bacino che le ospita.

Le unità ignimbritiche di interesse specifico sono state distinte durante le campagne di rilevamento geologico CARG sulla base della continuità delle fratture di raffreddamento e della presenza di depositi di caduta pomicee basali che separano le diverse unità di raffreddamento, aventi al loro interno da caratteri chimico-petrografici abbastanza omogenei. Ciascuna unità di raffreddamento, o unità ignimbritica, è suddivisa al suo interno in diverse unità di flusso, caratterizzate da un grado di saldatura variabile, e presenta tipicamente un fallout basale, spesso argillificato, seguito depositi di surge piroclastici e da un livello vitrofirico ossidianaceo, localmente argillificato anch'esso, che costituisce la base dell'ignimbrite *sensu stricto*.

A nord del parco eolico affiorano diffusamente depositi sedimentari del Miocene medio e superiore costituiti da conglomerati, arenarie, marne e calcari.

Nei bassi topografici le unità ignimbritiche e le masse laviche sono coperte da depositi olocenici e tardo-pleistocenici, con predominanza di depositi alluvionali costituiti da ghiaie e sabbie [PVM2a] e depositi di detrito di versante [a]. Benché poco cartografati a causa di loro limitati spessori, sono presenti diffusamente in tutta l'area sottili coltri eluvio-colluviali [b2].

2.2 Aspetti sismici

Il sito specifico, così come tutto il territorio regionale ricade in **Zona 4**, contraddistinto da «pericolosità sismica BASSA» a cui corrisponde la normativa antisismica meno severa ed al parametro **ag** è assegnato un valore di accelerazione al suolo (con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni) compreso tra **0,025÷0,05 g** da adottare nella progettazione.

Dal database del progetto ITHACA (ITaly HAZard from CAPable faults) non si evince alcun elemento tettonico capace di interferire direttamente con i luoghi di intervento.

2.3 Modello stratigrafico di riferimento

Come accennato in premessa, la stesura del presente elaborato si è avvalsa di una accurata base informativa e cognitiva diretta, confortata da descrizioni e dati in possesso degli scriventi, derivanti da studi e indagini effettuate in areali adiacenti a quello in oggetto, oltre che da informazioni estrapolate dalla letteratura geologica internazionale e dalla banca dati ISPRA, relativi a trivellazioni effettuate per scopi di ricerca idrica piuttosto che di ingegneria civile, spinte a profondità di oltre 30 m dal piano campagna.

Seppur relativi ad iniziative edilizie di altra natura, poiché effettuati in terreni con similari caratteristiche geologiche e stratigrafiche, in assenza al momento di dati geognostici sito-specifici, dette informazioni hanno comunque consentito una modellazione geologica confacente alla fase in essere ed una caratterizzazione geotecnica indicativa dei terreni interagenti con le opere in programma.

Sotto la coltre eluvio-colluviale limoso-sabbiosa e conglomeratica [Strato LL_A] di spessore prevalentemente decimetrico e raramente metrico, si rinviene un substrato vulcanico [Strato LL_C]. Solo in WTG-B il basamento si identifica con una sequenza di sedimenti miocenici calcarei e calcarenitici [Strato LL_B].

Schematicamente, la sequenza stratigrafica è stata ricondotta alla sovrapposizione dei seguenti strati a partire dalla sommità:

LL_A	Depositi eluvio-colluviali	[Olocene]
LL_B	Calcari e calcareniti	[Miocene]
LL_C	Vulcaniti	[Miocene]

2.4 Caratteri idrogeologici

L'assetto idrogeologico del settore interessato dall'impianto è condizionato dalla presenza di un substrato roccioso sostanzialmente poco permeabile e da una modestissima coltre detritica prevalentemente eluvio-colluviale di modesto spessore, non favorevole alla formazione di una circolazione idrica sotterranea a carattere freatico alle profondità di interessate dalle opere fondali degli aerogeneratori.

Si può escludere sin d'ora la presenza di una falda acquifera di tipo "freatico" nel senso classico del termine, pur non dubitando che durante gli scavi, semmai operati durante periodi intensamente piovosi, possano rinvenirsi modesti flussi idrici in corrispondenza delle zone intensamente fratturate della roccia.

2.5 Parametrizzazione geotecnica preliminare

Riprendendo la medesima nomenclatura utilizzata per l'assetto litostratigrafico, vengono nel seguito definite le caratteristiche geotecniche dei terreni interagenti con le opere in progetto.

La sequenza litotecnica vede a partire dall'alto le seguenti unità:

- LT_A Depositi eluvio-colluviali
- LT_B Calcari e calcareniti
- LT_C Vulcaniti

di seguito descritte per quanto attiene i caratteri geotecnici, in via preliminare e del tutto indicativa sulla base di dati provenienti da letteratura tecnica coadiuvate da informazioni estrapolate da indagini pregresse svolte in contesti geologi analoghi.

LL_A – Depositi eluvio-colluviali

Spessore min 0,00 m
Spessore max 1,00 m

Terre di genesi eluvio-colluviali perlopiù limo-argillosi più o meno pedogenizzati e rimaneggiati dalle pratiche agricole, con grado di consistenza variabile da scarso a medio.

Parametri geotecnici indicativi:

- Peso di volume naturale $\gamma_{nat} = 17,00 \div 17,50 \text{ kN/m}^3$
- Angolo di resistenza al taglio $\phi' = 25 \div 27^\circ$
- Coesione efficace $c' = 0,10 \div 0,25 \text{ daN/cm}^2$
- Modulo edometrico $E_{ed} = 50 \div 70 \text{ daN/cm}^2$
- Coefficiente di Poisson $\nu = 0,30$

LL_B – Calcari e calcareniti

Spessore min 1,00 m
Spessore max decametrico

Roccia litoide calcarea o calcarenitica stratificata, coerente, interessata da diversi sistemi di frattura subverticali a spaziatura metrica e da piani di debolezza paralleli alla stratificazione sub-orizzontale. Ai fini applicativi si distingue una facies tenera e fratturata [**Strato LT_B1**], riscontrabile nei primi metri di profondità ed una integra [**Strato LT_B2**] con migliori proprietà meccaniche.

Parametri geotecnici indicativi:

LT_B1 – Calcari e calcareniti tenere e fratturate

- Peso di volume naturale $\gamma_{nat} = 21,50 \div 22,00 \text{ kN/m}^3$
- Angolo di resistenza al taglio $\phi = 28 \div 30^\circ$
- Coesione $c = 0,25 \div 0,30 \text{ daN/cm}^2$
- Modulo elastico $E_{el} = 500 \div 750 \text{ daN/cm}^2$
- Coefficiente di Poisson $\nu = 0,30 \div 0,35$

LT_B2 – Calcari e calcareniti litoidi integri

– Peso di volume naturale	$\gamma_{\text{nat}} = 23,00 \div 24,00 \text{ kN/m}^3$
– Angolo di resistenza al taglio	$\varphi = 32 \div 34^\circ$
– Coesione	$c = 1,00 \div 1,20 \text{ daN/cm}^2$
– Modulo elastico	$E_{\text{el}} = 5.000 \text{ daN/cm}^2$
– Coefficiente di Poisson	$\nu = 0,30$

LL_C – Vulcaniti

Spessore min 1,00 m
Spessore max decametrico

Roccia in posto di origine vulcanica, interessata da più sistemi di giunti verticali e da fenomeni di alterazione più o meno marcati.

Anche in questo caso è stata distinta una facies sommitale fratturata ed alterata [**Strato LT_C1**] a cui segue una facies integra [**Strato LT_C2**] con ottime proprietà geotecniche.

Parametri geotecnici indicativi:

LT_C1 – Vulcaniti litoidi fratturate

– Peso di volume naturale	$\gamma_{\text{nat}} = 21,00 \text{ kN/m}^3$
– Angolo di resistenza al taglio	$\varphi = 30 \div 33^\circ$
– Coesione	$c = 0,50 \text{ daN/cm}^2$
– Modulo elastico	$E_{\text{el}} = 1.000 \text{ daN/cm}^2$
– Coefficiente di Poisson	$\nu = 0,25 \div 0,30$
– Modulo di deformazione al taglio	$G = 800 \text{ Mpa}$

LT_C2 – Vulcaniti litoidi integre

– Peso di volume naturale	$\gamma_{\text{nat}} = 21,00 \text{ kN/m}^3$
– Angolo di resistenza al taglio	$\varphi = 36 \div 38^\circ$
– Coesione	$c = 1,00 \text{ kg/cm}^2$
– Modulo elastico	$E_{\text{el}} = 5.000 \text{ daN/cm}^2$
– Coefficiente di Poisson	$\nu = 0,25 \div 0,30$
– Modulo di deformazione al taglio	$G = 800 \text{ Mpa}$

3 CONCLUSIONI

Sulla base di quanto esposto, le piazzole che ospiteranno gli aerogeneratori, i tracciati del cavidotto e della viabilità, ricadono in un ambito geologico si caratterizza per la presenza di un basamento litificato in facies effusiva [Unità LT_C] e solo limitatamente di natura sedimentaria [Unità LT_B].

Entrambe le litologie sono dotate di ottima consistenza meccanica globale, stabile e indeformabile, tale da consentire per gli aerogeneratori, l'adozione di fondazione dirette, purché si preveda il superamento della coltre detritica superficiale [Strato LT_A] piuttosto che della fascia decompressa ed alterata della roccia.

Infatti le scarse caratteristiche geotecniche dei terreni di copertura, in ragione dell'elevata componente argillosa plastica che rende i terreni suscettibili a rigonfiamento e contrazione con il variare del grado di umidità, pongono limitazioni nell'utilizzo come piano di posa dei manufatti.

Anche per la posa del cavidotto e per la viabilità di accesso e collegamento non sussistono particolari problematiche, fermo restando il superamento della coltre sommitale [Unità LL_A].

La coesione insita nella coltre terrigena sommitale assicura comunque la tenuta delle pareti di scavo anche per pendenze prossime alla verticalità a medio termine (settimane) purché in condizioni asciutte.

La giacitura suborizzontale o debolmente inclinata delle formazioni vulcaniche e sedimentarie non predispone a fenomeni di instabilità durante le operazioni di sbancamento, nemmeno se a sezione obbligata.

Fermo restando la necessità di supportare le valutazioni in questa sede con i dati provenienti dalle indagini geognostiche puntuali (tramite sondaggi opportunamente approfonditi in corrispondenza delle piazzole degli aerogeneratori, pozzetti a mezzo escavatore meccanico lungo il tracciato delle opere lineari, prove geotecniche in situ e di laboratorio) eseguite ad hoc, orientativamente si possono assumere valori di capacità portante dell'ordine di **3,5 daN/cm²**, senza che si manifestino cedimenti di entità apprezzabile o comunque pregiudizievoli per la stabilità delle strutture in progetto.

Dott.ssa Geol. Giorgia La Ruffa



Dott.ssa Geol. Maria Francesca Lobina

