



REGIONE SARDEGNA
COMUNI DI VILLANOVAFORRU, SARDARA, SANLURI E
FURTEI (SU)

PROGETTO

Impianto per la produzione di energia elettrica da fonte eolica
di potenza pari a 42 MW denominato "Marmilla"
Comuni di Villanovaforru, Sardara, Sanluri e Furtei (SU)
Variante in riduzione da 42 MW a 36 MW

TITOLO

Rel.22 - Relazione Geologica

PROPONENTE



ENGIE TREXENTA S.r.l.

Sede legale e Amministrativa:

Via Chiese 72
20126 Milano (MI)
PEC: engietrexenta@legalmail.it

PROGETTISTA



SCM ingegneria S.r.l.
Via Carlo del Croix, 55
Tel.: +39 0831-728955
72022 Latiano (BR)
Mail: info@scmingegneria.com

Dott. Ing. Daniele Cavallo



Scala	Formato Stampa	Cod.Elaborato	Rev.	Nome File	Foglio
	A4-A3-A2	EOMRMD-I_Rel.22	01	EOMRMD-I_Rel.22-Relazione Geologica	1 di 28

Rev.	Data	Descrizione	Elaborato	Controllato	Approvato
00	17/04/2023	Emesso per iter autorizzativo	M.O. - R.F.	D. Cavallo	D. Cavallo
01	20/10/2023	Emesso per iter autorizzativo - Variante in riduzione potenza	M.O. - R.F.	D. Cavallo	D. Cavallo

INDICE

1	INTRODUZIONE	3
1.1	DESCRIZIONE DEL PROGETTO	4
2	QUADRO NORMATIVO DI RIFERIMENTO.....	6
3	DATI GENERALI	7
3.1	DATI DEL PROPONENTE	7
3.2	INQUADRAMENTO TERRITORIALE.....	7
4	GEOLOGIADELL’AREA	8
4.1	CARATTERISTICHE LITOLOGICHE DELL’AREA DI PROGETTO	10
5	LINEAMENTI MORFOLOGICI E GEOMORFOLOGICI.....	11
5.1	CARATTERISTICHE GEOMORFOLOGICHE DELLE AREE DI PROGETTO.....	11
6	ANALISI IDROGRAFICA ED IDROGEOLOGICA.....	12
6.1	INQUADRAMENTO IDROGRAFICO GENERALE.....	12
6.2	ANALISI IDROGRAFICA DELL’AREA DI PROGETTO.....	14
6.3	VALUTAZIONI IDROGEOLOGICHE E PERMEABILITÀ	16
7	PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE E LOCALE.....	18
8	CENNI SULLE CARATTERISTICHE LITOTECNICHE DEI TERRENI DI SEDIME	25
9	CONCLUSIONI	27

1 INTRODUZIONE

A supporto del progetto per la realizzazione di una centrale, per la produzione di energia da fonte eolica, che la società *ENGIE TREXENTA S.R.L.* intende realizzare nei Comuni di Villanovaforru, Sardara, Sanluri e Furtei (SU), nel mese di aprile 2023 era stato redatto uno studio Geologico e Geomorfologico degli areali di interesse.

Il presente elaborato rappresenta una revisione del progetto presentato in richiesta di autorizzazione, resasi necessaria a valle dell'identificazione di interferenze con il progetto di un impianto eolico da 55,8 MW presentato dalla società *Asja Serra* e localizzato nella medesima area, come evidenziato nella comunicazione E-SERRA/FG/SC/sa/227/23 presentata al Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica (MASE) in data 15/06/2023.

Al fine di risolvere tali interferenze si è rivisto il progetto presentato in prima revisione andando a ridurre il numero di aerogeneratori, da 7 a 5, e il modello degli stessi, da 7,2 MW ciascuno invece di 6 MW, risultando in una riduzione di potenza totale di impianto da 42 MW a 36 MW.

Le modifiche principali di layout rispetto alla revisione precedente del progetto, sono visivamente evidenziate nell'elaborato grafico EOMRMD-I_Tav.36 - Planimetria comparativa layout impianto eolico e in figura 1-1 ed essenzialmente consistono nell'eliminazione degli aerogeneratori identificati come WTG04 e WTG06 ed in una rimodulazione del cavidotto di connessione.

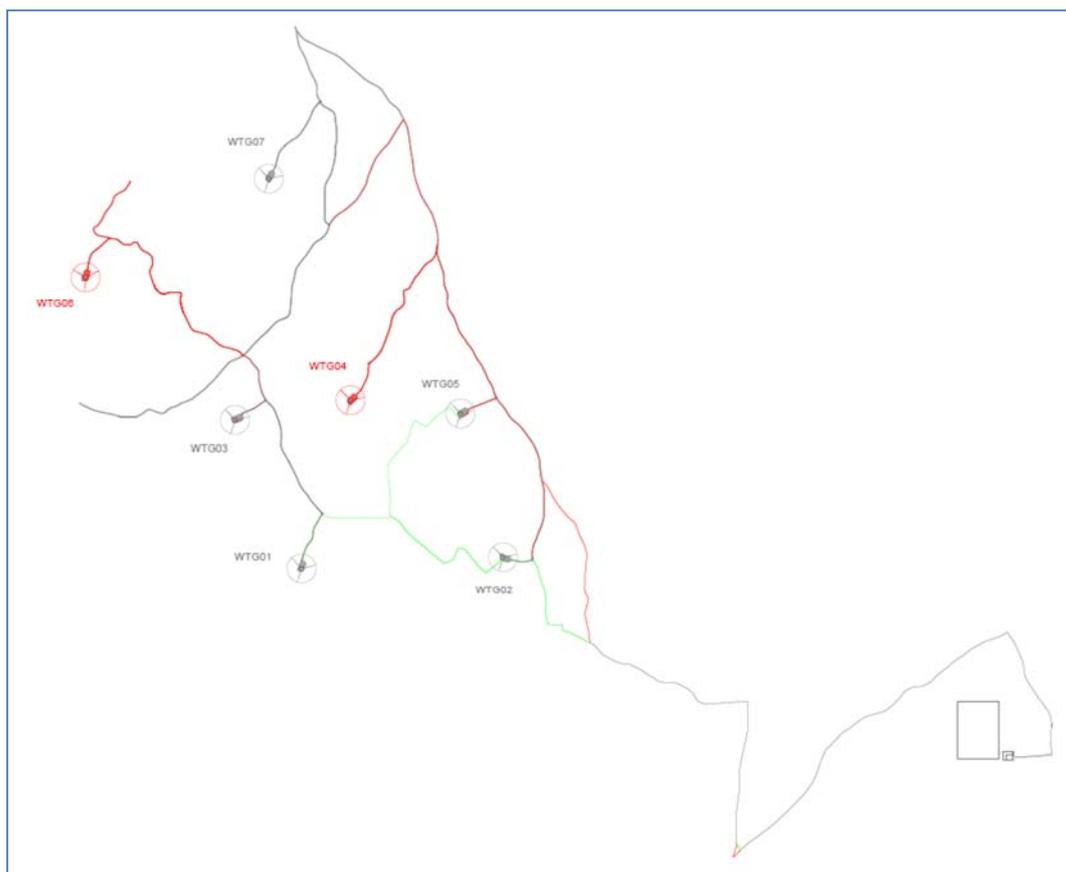


Figura 1-1 – Estratto Planimetria comparativa

Lo studio geologico ha avuto come obiettivo l'acquisizione e l'elaborazione di tutti quegli

elementi geognostici atti a verificare la compatibilità delle opere in progetto con le caratteristiche stratigrafiche, litologiche, idrologiche e fisico-meccaniche dei terreni di fondazione nonché l'accertamento delle condizioni di stabilità della zona e l'individuazione di eventuali processi morfodinamici in atto o potenziali.

Lo studio, pertanto, è stato essenzialmente finalizzato alla conoscenza dell'assetto litostratigrafico e geostrutturale della zona di interesse, con particolare riferimento alla definizione dei caratteri geomorfologici e alle modalità di deflusso delle acque superficiali, nonché ad una prima valutazione delle proprietà fisico-meccaniche delle unità litostratigrafiche destinate ad assorbire i nuovi carichi di progetto.

Di seguito si riepilogano sinteticamente le varie fasi dello studio:

- › Iniziale ricerca bibliografica di lavori o studi esistenti, effettuati nell'area in esame con lo scopo di ricostruire un quadro generale della geologia della zona.
- › Rilevamento geologico, geomorfologico e idrogeologico di dettaglio dell'area strettamente interessata e di un suo significativo intorno, finalizzato alla verifica delle condizioni generali di giacitura e stabilità e per il riconoscimento litostratigrafico delle formazioni geologiche affioranti.
- › Valutazioni di massima sulle caratteristiche fisico-meccaniche dei terreni di sedime.
- › Acquisizione informazioni circa la presenza o meno di falde freatiche.
- › Valutazioni sulla stabilità dei luoghi.
- › Inquadramento sismico dell'area di progetto ai sensi delle Norme tecniche per le Costruzioni - D.M. 17 Gennaio 2018.

1.1 DESCRIZIONE DEL PROGETTO

La centrale di produzione, detta nel seguito anche “Parco Eolico”, nel progetto in variante sarà pertanto costituito da n.5 aerogeneratori della potenza unitaria di 7,2 MW, interconnessi da una rete interrata di cavi MT 30 kV, che in fase di realizzazione potrebbe essere aumentata fino ad un massimo di 36 kV, in funzione di aspetti successivi inerenti eventuali opportunità legate alla connessione. Le opere di connessione prevedono la costruzione di una stazione elettrica di trasformazione MT/AT, anche detta “Stazione Utente”, di proprietà del soggetto produttore e delle infrastrutture di seguito brevemente descritte:

1. Parco eolico composto da 5 aerogeneratori, della potenza complessiva di 36.000 kW, ubicati nei comuni di Villanovaforru, Sardara e Sanluri (SU)
2. Elettrodotto in cavo interrato, in media tensione, per il vettoriamento dell'energia prodotta dagli aerogeneratori verso la stazione elettrica di trasformazione 150/30 kV;
3. Nuova Stazione di Utenza 30/150 kV;
4. Opere Condivise dell'Impianto di Utenza (Opere Condivise), costituite da sbarre comuni, dallo stallo arrivo linea e da una linea in cavo interrato a 150 kV, condivise tra la Società ed altri operatori, in antenna a 150 kV sulla sezione a 150 kV di una futura Stazione Elettrica (SE) di Trasformazione RTN 380/150 kV da inserire in entra – esce alla linea RTN 380 kV “Ittiri - Selargius”;
5. Nuovo stallo utente da realizzarsi nella nuova stazione elettrica di smistamento (SE) a 380/150 kV della RTN da inserire in entra - esce sulla linea RTN a 380 kV “Ittiri -

Impianto per la produzione di energia elettrica da fonte eolica di potenza pari a 42 MW denominato “Marmilla”

Comuni di Villanovaforru, Sardara, Sanluri e Furtei (SU)

Variante in riduzione da 42 MW a 36 MW



Selargius”.

Le opere di cui ai precedenti punti 1) e 2) costituiscono il cosiddetto Impianto Eolico e sono oggetto della presente relazione.

Le opere di cui ai precedenti punti 3) e 4) l’Impianto di Utente per la connessione.

Le opere di cui al precedente punto 5) costituiscono il cosiddetto Impianto di Rete.

La società ha acquisito l’iniziativa, inclusa la proposta di connessione da parte di Terna, dalla società RENEWABLES CIRCULAR DEVELOPMENT S.R.L. in data 25/05/2022.

La Società RENEWABLES CIRCULAR DEVELOPMENT S.R.L. ha presentato a Terna S.p.A. (nella qualità di Gestore della rete) la richiesta di connessione alla RTN per una potenza in immissione di 42,0 MW; alla richiesta è stato assegnato Codice Pratica 202100406. In data 19/07/2021, il gestore ha trasmesso la *soluzione tecnica minima generale* per la connessione (STMG), formalmente accettata in data 17/11/2021.

Lo schema di connessione alla RTN, descritto nella STMG, prevede che l’impianto eolico debba essere collegato in antenna a 150 kV sulla sezione a 150 kV di una futura Stazione Elettrica (SE) di Trasformazione RTN 380/150 kV da inserire in entra – esce alla linea RTN 380 kV “Ittiri - Selargius”.

Al fine di razionalizzare l’utilizzo delle strutture di rete, il Gestore ha proposto alla Società di condividere lo stallo RTN nella nuova Stazione Elettrica (SE) di Trasformazione RTN 380/150 kV con altri produttori.

2 QUADRO NORMATIVO DI RIFERIMENTO

Lo studio geologico è stato condotto con riferimento alla normativa sottoelencata:

- ✓ D.M. 14.01.2008 - *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. 17.01.2018 - *Aggiornamento Norme Tecniche per le Costruzioni*;
- ✓ 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*;
- ✓ Ordinanza P.C.M. n. 3519 del 28.04.2006 - *Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone*;
- ✓ Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20.03.2003 e ss.mm.ii. - *Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per la costruzione in zona sismica*;
- ✓ Circolare n. 218/24/3 del 09.01.1996 - *Istruzioni applicative per la redazione della Relazione Geologica e della Relazione Geotecnica*;
- ✓ 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 e relativa Circ. Min. LL.PP. n. 30483 del 24.09.1988*;
- ✓ Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (P.A.I.) adottato dalla Giunta Regionale con D.G.R. n. 54/33 del 30.12.2004 e reso esecutivo con Decreto Assessoriale n. 3 del 21.02.2005 con pubblicazione nel BURAS n. 8 dell'11.03.2005;
- ✓ Piano Stralcio delle Fasce Fluviali (P.S.F.F.) approvato con Delibera n. 1 del 20.06.2013 del Comitato Istituzionale dell'Autorità di Bacino della Regione Sardegna;
- ✓ Norme di Attuazione del P.A.I. (aggiornamento al Decreto del Presidente della R.A.S. n. 35 del 21.03.2008).

3 DATI GENERALI

3.1 DATI DEL PROPONENTE

Di seguito i dati anagrafici del soggetto proponente:

SOCIETA' PROPONENTE	
Denominazione	ENGIE TREXENTA S.R.L.
Indirizzo sede legale	Via Chiese 72 – 20126 Milano (MI)
Codice Fiscale/Partita IVA	12367510968
Numero REA	MI - 2657279
Capitale Sociale	10.000,00
Socio Unico	ENGIE ENERGIES ITALIA S.R.L.
PEC	engietrexenta@legalmail.it

Tabella 3-1 – Informazioni principali della Società Proponente

3.2 INQUADRAMENTO TERRITORIALE

Il parco eolico, per come definito in precedenza, è costituito da 5 aerogeneratori a circoscrivere un areale circa 200 ettari, di forma vagamente pentagonale, allungato in direzione N.W – S.E. e ricadente nei territori comunali di Villanovaforru (aerogeneratore WTG07) e Sanluri, circa 4,0 km a N.W. da quest'ultimo centro abitato (Tavola 01).

Il cavidotto di collegamento tra l'area del parco eolico e le stazioni di trasformazione ricade quasi esclusivamente sul territorio comunale di Sanluri (dove insistono tutte le stazioni) ad accezione di un piccolo tratto di circa 600 metri che interessa una viabilità esistente sul territorio comunale di Furtei.

Dal punto di vista cartografico il Parco Eolico, ricade a cavallo delle tavolette I.G.M.I, in scala 1:25.000, denominate “Villamar” (Fog. 539, Sez. II), e “Sanluri” (Fog. 539, Sez. II), mentre il cavidotto va ad interessare esclusivamente quest'ultima.

Con riferimento alla cartografia C.T.R., in scala 1:10.000, gli aerogeneratori interessano le tavole 539150 “Lunamatrona” e 547030 “Sanluri”, mentre la porzione terminale del cavidotto e le stazioni di trasformazione anche la tavola 547040 “Furtei”.

Di seguito le coordinate topografiche dei centri torre (formato WGS 84 UTM).

ID AEROGENERATORE	COORDINATE WGS 84 UTM - ZONE 32		QUOTA S.L.M. (M)
	EST (m)	NORD (m)	
WTG01	489691	4382230	235
WTG02	490867	4382295	241
WTG03	489303	4383100	229
WTG05	490618	4383138	285
WTG07	389500	4384526	287

Tabella 3-2 – Coordinate topografiche aerogeneratori

4 GEOLOGIA DELL'AREA

Dal punto di vista geologico generale l'area di progetto risulta ubicata al margine orientale della *Piana del Campidano* (Fig. 4.1), geologicamente riferibile ad una ampia fossa tettonica di età Terziaria, formata tra 4 e 2 milioni di anni fa dalla distensione della crosta terrestre, associata a importanti eventi effusivi, con un generale sprofondamento avvenuto mediante un complesso sistema di faglie, a carattere in prevalenza trascorrente ed impostate, verosimilmente, su linee di debolezza erciniche, che localmente ha dato origine a rigetti dell'ordine anche di 2.000 m.

La depressione, inizialmente invasa dal mare, è stata successivamente sede di una intensa attività deposizionale che ha portato ad uno spessore complessivo dei depositi valutato in almeno 600 metri, con sedimenti prevalentemente di natura alluvionale-continentale e deltizi.

Nella letteratura di riferimento questa lunga fase deposizionale di età miocenica è suddivisa in 2 cicli che complessivamente vanno dall'Oligocene superiore al Burdigaliano medio e dal Burdigaliano superiore al Langhiano superiore, presumibilmente separate da un breve periodo regressivo. Nel I° ciclo la sedimentazione appare fortemente condizionata da una tettonica sin-sedimentaria con abbondante componente vulcanica, entrambi fattori quasi del tutto assenti nel II° ciclo.

Più nello specifico il substrato litologico dell'areale di progetto è riferibile a depositi del primo ciclo sedimentario identificati nella letteratura specifica come *Formazione della Marmilla* (RML) ovvero una formazione tipica di ambiente marino a bassa energia, costituita dalla alternanze marnoso-arenacee a composizione vulcanica ascrivibili all'Aquitano - Burdigaliano inferiore.

Al di sotto di tali coperture mioceniche, sotto forma di modesti e isolati rilievi si ritrovano limitati affioramenti granitici appartenenti all'*Unità intrusiva di Barrali* (RRL) e di metasiltiti appartenenti alla *Formazione delle Arenarie di San Vito* (SVI); in entrambi i casi testimonianze del basamento paleozoico che affiorano estesamente a sud del settore in studio.

Impianto per la produzione di energia elettrica da fonte eolica di potenza pari a 42 MW denominato "Marmilla"

Comuni di Villanovaforru, Sarda, Sanluri e Furtei (SU)

Variante in riduzione da 42 MW a 36 MW

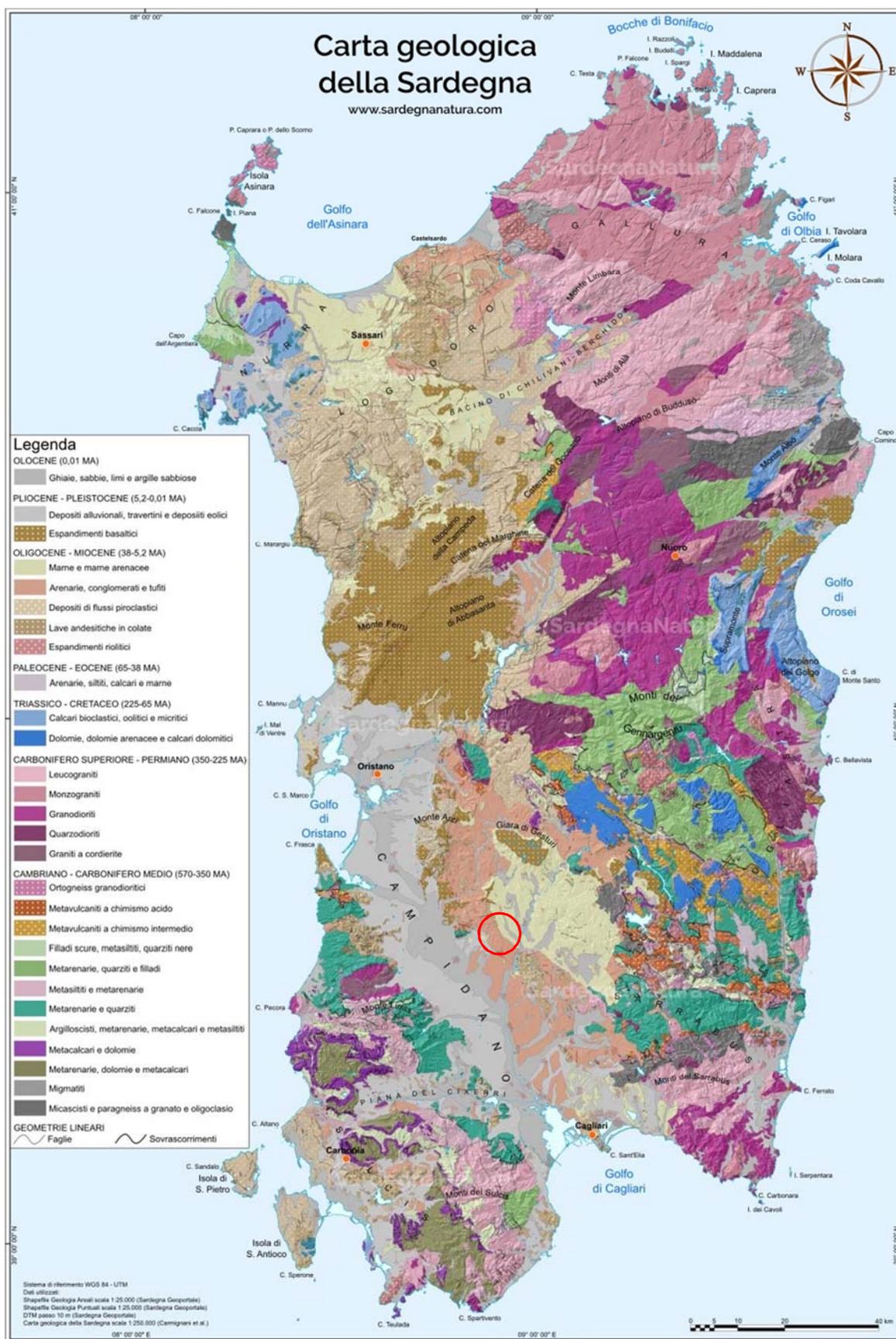


Figura 4-1 – Carta Geologica della Sardegna

4.1 CARATTERISTICHE LITOLOGICHE DELL'AREA DI PROGETTO

Con specifico riferimento agli areali in esame, sia l'intero parco eolico che il cavidotto di connessione risulta interessare i terreni sedimentari della *Formazione della Marmilla* (RML) sovente in affioramento o talora occultati da depositi di copertura olocenici, nel dettaglio (Tav. 04):

Formazione della Marmilla (sigla CARG: ***RML***)

Affiorano estesamente lungo tutta l'area di progetto costituendone, di fatto, il substrato litologico; la Formazione è costituita da alternanze marnoso-arenacee, siltiti arenacee ad arenarie e siltiti marnose e di colore giallognolo, con occasionali intercalazioni di tufi biancastri (RMLa) e di depositi torbiditici e pertanto riconducibili ad un ambiente marino distale con presenza di foraminiferi e di altri organismi planctonici.

In linea generale i livelli a prevalente composizione marnosa, in affioramento, risultano più erodibili e plastici mentre i livelli arenacei (talora con presenza di elementi grossolani), appaiono ben cementati e pertanto più tenaci ma spesso risultano fratturati ad indicare un comportamento rigido. Gli spessori della formazione nell'area sono rilevanti anche dell'ordine di 200 m, valore direttamente rilevato da pozzi profondi per ricerche idriche.

Gli strati si presentano con una giacitura per lo più sub-orizzontale, mediamente dell'ordine di 5-10°, e solo localmente più elevata ma in genere mai superiore ai 20°, come accennato in affioramento di colore giallastro o bianco al taglio fresco, molto alterati e fratturati nei termini arenacei e con una evidente fissilità per i termini siltitici.

Depositi Quaternari

Depositi olocenici di copertura solitamente rilevabili nelle aree più depresse o comunque soggette a fenomeni eluvio-colluviali attivi, con estensioni areali comunque sempre assai modeste. Tali litotipi vanno ad interessare unicamente il cavidotto di connessione MT che, in ogni caso, si svilupperà quasi esclusivamente su una viabilità (primaria o secondaria) già esistente; con riferimento alle terminologie CARG si riscontrano:

b2 – Depositi eluvio-colluviali

Si rinvengono prevalentemente in corrispondenza delle incisioni vallive attuali o di antiche depressioni di varia origine; in linea generale si tratta di depositi a prevalente componente argillosa o limo-argillosa, con componente sabbiosa in sub-ordine, formatesi come prodotto di alterazione dei terreni marnosi-arenacei in situ e/o con accumulo di questi ultimi in ambiente continentale. La disgregazione dei termini arenacei, più competenti, localmente porta ad accumuli di elementi più grossolani (sabbie con sporadici clasti o blocchi). Lo spessore è stimabile nell'ordine massimo di qualche metro nelle aree più depresse.

bn – Alluvioni terrazzate

Depositi alluvionali a granulometria variabile, in genere minuta se derivanti prevalentemente dallo smantellamento dei rilievi paleozoici, con materiali più grossolani e clasti se riferibili a rocce mioceniche (arenarie, marne, calcari). Solitamente si presentano ben addensate e talora debolmente cementate. Lo spessore è in genere estremamente variabile ma può arrivare a

diverse decine di metri con locali eteropie verticali e laterali, anche significative dando luogo a geometrie lenticolari. Solitamente vengono ulteriormente distinte in:

- Ghiaie con sabbie subordinate (bna);
- Sabbie con subordinati limi ed argille (bnb);

5 LINEAMENTI MORFOLOGICI E GEOMORFOLOGICI

Dal punto di vista morfologico generale l'area di progetto si inquadra in un contesto basso collinare, con gli aerogeneratori ubicati in corrispondenza degli alti topografici marnoso-arenacei della Formazione della Marmilla che bordano il limite orientale della piana del Campidano e che nell'area formano una cresta collinare che si sviluppa per alcuni chilometri in direzione S.E. – N.W. per poi piegare decisamente, molto a nord dell'area di impianto, verso N.E. Gli aerogeneratori risultano ubicati essenzialmente in corrispondenza del versante occidentale di tale cresta a partire dai circa 230 metri s.l.m. della torre WTG.03 fino ai 280 metri della WTG.07 (Tavola 02).

Il cavidotto, a partire dall'aerogeneratore più meridionale WTG.02, si snoda verso sud-est per circa 6,5 km, fino ai 140 metri s.l.m. della Stazione di Utenza, ubicata nell'area di transizione tra la zona collinare e la piana alluvionale del *Flumini Mannu*, principale incisione idrografica dell'area. Come già detto il cavidotto si svilupperà prevalentemente in corrispondenza di una viabilità esistente, la quale corre in prevalenza lungo le aree di displuvio che separano i sottobacini idrografici del *Riu Sassuni* a nord-est, dai rami di testa del *Flumini Mannu* a sud.

I versanti di interesse presentano pendenze prevalentemente comprese tra i 10 ed i 20 gradi ma localmente anche più accentuate in corrispondenza di affioramenti lapidei di natura arenitica e in corrispondenza dei fianchi di alcune incisioni idrografiche che si impostano su terreni a prevalente componente argillo-marnosa (Tavola 03).

Sia la Stazione di Utenza che il tratto finale del cavidotto, come accennato in precedenza, risultano impostati sui depositi alluvionali della valle del *Flumini Mannu*, in un'area sostanzialmente sub-pianeggiante con pendenza inferiori ai 2°.

5.1 CARATTERISTICHE GEOMORFOLOGICHE DELLE AREE DI PROGETTO

L'assetto morfologico descritto appare chiaramente essere il risultato delle azioni combinate di diversi processi sia endogeni che esogeni che, tuttora, operano nell'area.

I processi endogeni sono riconducibili essenzialmente all'azione tettonica, la quale ha determinato non solo la giacitura degli strati rocciosi ma anche la formazione di superfici di dislocazione con il conseguente controllo della morfologia; l'influenza della litologia sulle caratteristiche morfologiche del paesaggio è poi determinante a causa della marcata differenza di comportamento rispetto all'erosione dei vari litotipi affioranti.

Le aree in cui affiorano i terreni a comportamento rigido (arenarie in prevalenza), infatti risultano fortemente influenzate dall'andamento delle strutture geologiche (stratificazioni, faglie), dando luogo a versanti anche scoscesi, con dislivelli di diverse decine di metri ed ampie fasce di detrito ai piedi dei versanti, laddove invece affiorano le unità terrigene, più plastiche,

prevale una morfologia di tipo collinare con pendenze tutto sommato modeste se non pianeggianti.

Allo stato attuale il principale agente morfologico attivo nel modellamento dei versanti risulta essere "l'acqua", sia relativamente all'azione di ruscellamento delle acque superficiali sia in relazione ai processi erosivi e di sedimentazione legati alle acque incanalate.

Alla luce della configurazione morfologica sopra descritta la predisposizione del territorio a fenomeni di dissesto appare piuttosto bassa ed in linea generale relegata e con caratteristiche tipiche, ai terreni di copertura in versanti ad elevata pendenza.

In accordo con quanto asserito, dalla stessa consultazione degli strati informativi del P.A.I., reperibili sul Geoportale Regionale, gran parte delle opere in progetto non risultano ricadere in aree segnalate a Pericolosità Geomorfologica per rischio frane (Tavola 05.a); unicamente la torre WTG.07 ricade in un'area a pericolosità *Hg1-moderata*, per il quale livello di pericolosità le Norme di Attuazione del P.A.I. non prevedono vincoli particolari se non le normali indagini geognostiche di approfondimento propedeutiche alla costruzione dei manufatti.

Relativamente al cavidotto MT anch'esso ricade nell'area a pericolosità *Hg1-moderata*, individuata per l'aerogeneratore WGT.07 e per un breve tratto, di circa 750 metri, in un'area a pericolosità *Hg2-media*. In entrambi i casi, tuttavia, il cavidotto si snoda sempre in corrispondenza di una viabilità esistente che non ha evidenziato fenomeni gravitativi in atto. Data la tipologia di intervento in progetto, ovvero il passaggio di un cavidotto in trincea a sezione obbligata, si ritiene che esso non possa in alcun modo interferire con i livelli di pericolosità individuati.

Con riferimento all'area del parco eolico il rilevamento di superficie condotto non ha evidenziato, allo stato attuale, particolari criticità di natura geomorfologica, con pendenze perfettamente congruenti con le tipologie di substrato individuate mentre le stesse strade di accesso interessate dal cavidotto, presenta solo locali ammaloramenti del corpo stradale, ma che in generale non appaiono riconducibili a fenomeni gravitativi profondi.

6 ANALISI IDROGRAFICA ED IDROGEOLOGICA

6.1 INQUADRAMENTO IDROGRAFICO GENERALE

Dal punto di vista idrografico regionale il sito di progetto ricade nell'area di confine tra le due macro-aree idrografiche identificate come *Sub-bacino idrografico del Tirso* e *Sub-bacino idrografico Flumendosa-Campidano-Cixerri* (Fig. 6.1), all'interno di quest'ultimo.

Più nel dettaglio, tutte le opere in progetto ricadono all'interno del bacino idrografico del già citato *Flumini Mannu* (Tavola 06), che con una superficie drenata di 593 km² (1710 km² compresi gli affluenti) e una lunghezza dell'asta principale di circa 42,1 km, risulta essere uno dei più importanti corsi d'acqua della Sardegna sud-occidentale e scorrendo verso sud sfocia nello *Stagno di Cagliari* dopo aver attraversato tutto il territorio della Marmilla e successivamente del Campidano.

Il Flumini Mannu, che assume tale denominazione a valle della Diga di Is Barroccus, svariati chilometri a nord delle aree di progetto, scorre circa 1,8 km ad est dell'area della sottostazione e circa 4,6 km dal Parco eolico.

Relativamente all'elettrodotta di connessione MT, malgrado il notevole sviluppo lineare,

interseca pochi corsi d'acqua tutti comunque riferibili a rami di testa del Flumini Mannu.

In funzione della conformazione idrografica descritta, come meglio specificato nel paragrafo successivo, quasi tutti i corsi d'acqua interferenti con il cavidotto, nei fatti, risultano essere incisioni idrografiche assai modeste, di basso ordine gerarchico (secondo la classificazione di Horton-Strahler), per lo più di ordine 1 o 2 e pertanto caratterizzati da un regime idrologico spiccatamente torrentizio, con lunghi periodi di secca alternati a brevissimi periodi di deflusso in corrispondenza di eventi piovosi significativamente lunghi o particolarmente intensi.

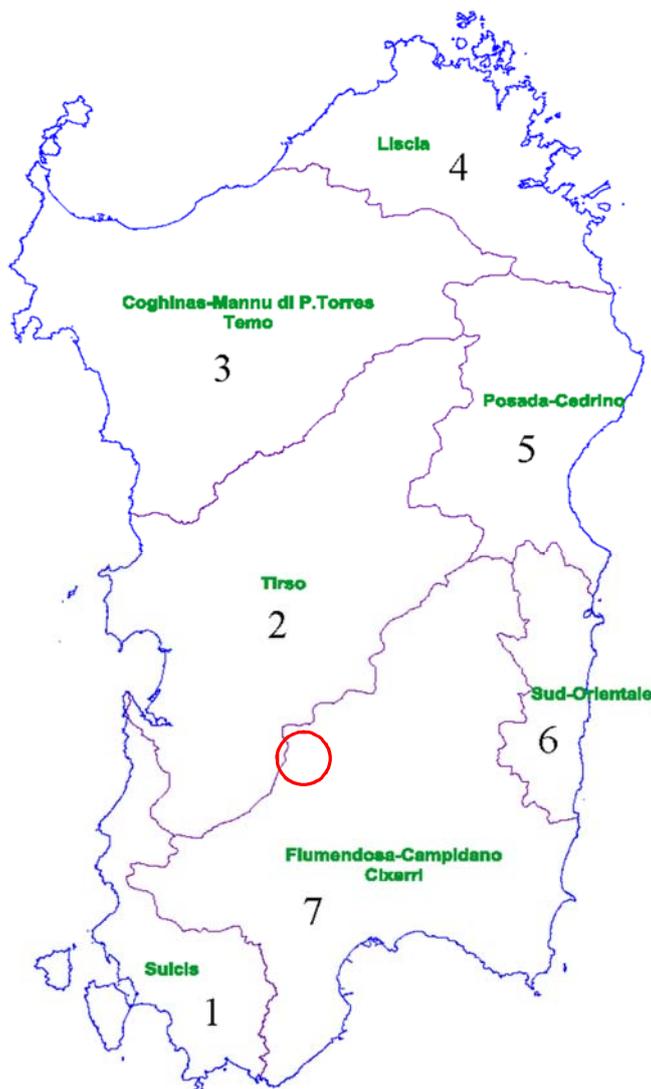


Figura 6-1 – Delimitazione dei sub-bacini Regionali Sardi

6.2 ANALISI IDROGRAFICA DELL'AREA DI PROGETTO

In questo paragrafo verranno evidenziate le interferenze esistenti tra i manufatti in progetto (essenzialmente il cavidotto MT, i piazzali degli aerogeneratori e le strade di nuova realizzazione) ed il reticolo idrografico, con particolare riferimento al reticolo rappresentato nella C.T.R. regionale e riportato nello strato informativo del P.A.I. reperibile sul Geoportale Regionale.

1) Aree di interferenza cavidotto MT

L'analisi idrografica di dettaglio, relativamente alla dorsale MT, ha evidenziato la presenza di n. 8 punti di interferenza, ciascuno identificato con una sigla univoca e riportato nella Tavola 07; la tavola riporta essenzialmente le interferenze di una qualche rilevanza idrologica, seppur minima, rappresentate o meno sulla C.T.R. che non rappresentino un mero tombino di raccolta delle acque di piattaforma stradale.

Di seguito viene riportata una descrizione sintetica delle interferenze, per i dettagli sulle modalità di risoluzione prevista si rimanda allo specifico elaborato di progetto. La classificazione idrografica dei corsi d'acqua è stata effettuata secondo lo schema di gerarchizzazione proposto da Horton (1945) e Strahler (1952, 1964) mentre l'ubicazione è riferita al sistema di coordinate geografiche WGS84

- **Int.01:** Lat: 39°35'02.88"N – Long: 8°55'44.68"E; incisione idrografica di ordine 2, rappresentata sulla CTR e identificata come *Riu Sassuni*, costituente un ramo in destra idraulica del Flumini Mannu; l'interferenza interessa una viabilità secondaria esistente, identificata come *Strada Vic.le Riu Ludu* lungo la quale si snoderà il cavidotto.

- **Int.02:** Lat: 39°35'08.87"N – Long: 8°55'34.69"E; l'interferenza riguarda lo stesso *Riu Sassuni*, circa 329 metri a monte della INT.01 e anche in questo caso interessa una viabilità secondaria esistente, identificata come *Strada Com.le Paurosa* lungo la quale si snoderà il cavidotto.

- **Int.03:** Lat: 39°34'30.78"N – Long: 8°54'37.53"E; incisione idrografica di ordine 1, rappresentata sulla CTR e identificata come *Riu Piras*, costituente un ramo in destra idraulica del Flumini Mannu; l'interferenza interessa una viabilità asfaltata, identificata come *Strada di Villamar* lungo la quale si snoderà il cavidotto.

- **Int.04:** Lat: 39°34'45.22"N – Long: 8°54'34.96"E; incisione idrografica di ordine 1, rappresentata sulla CTR ma senza una denominazione specifica, affluente in destra idraulica del suddetto Riu Piras; l'interferenza interessa una viabilità primaria, rappresentata dalla S.P. 5 (di Sanluri) lungo la quale si snoderà il cavidotto.

- **Int.06:** Lat: 39°36'25.26"N – Long: 8°52'50.94"E; incisione idrografica di ordine 1, rappresentata sulla CTR ma senza una denominazione specifica, anch'esso affluente in destra idraulica del *Riu Melas*; l'interferenza interessa una viabilità secondaria, asfaltata, identificata come *Strada Vic.le Sanluri-Lumatrone* lungo la quale si snoderà il cavidotto.

- **Int.07:** Lat: 39°36'4.38"N – Long: 8°52'32.43"E; incisione idrografica di ordine 1, rappresentata sulla CTR ma senza una denominazione specifica, affluente in destra idraulica del

Riu Melas; l'interferenza interessa una strada bianca secondaria, lungo la quale si snoderà il cavidotto.

- **Int.09:** Lat: 39°36'3.37"N – Long: 8°52'33.98"E; incisione idrografica di ordine 2, rappresentata sulla CTR e identificata come *Riu Melas*, costituente un ramo in destra idraulica del Flumini Mannu; l'interferenza interessa una viabilità bianca secondaria, lungo la quale si snoderà il cavidotto.

- **Int.10:** Lat: 39°35'51.67"N – Long: 8°52'41.89"E; incisione idrografica di ordine 1, rappresentata sulla CTR ma senza una denominazione specifica, affluente in destra idraulica del *Riu S. Caterina* a sua volta affluente del Flumini Mannu; l'interferenza interessa un tratturo interpodereale lungo il quale si snoderà il cavidotto.

II) Aree di interferenza Strade di nuova realizzazione

Relativamente alle strade di nuova realizzazione essenzialmente le stradelle di accesso alle piazzole degli aerogeneratori, l'analisi idrografica non ha evidenziato interferenze con impluvi rappresentati su CTR o comunque di significativa rilevanza idraulica; in ogni caso le acque di piattaforma stradale saranno oggetto di uno studio idrologico-idraulico specifico per la loro buona regimazione e smaltimento secondo le normali direttive per la buona costruzione stradale con eventuali tombini di attraversamento opportunamente dimensionati come da normativa vigente.

III) Aree di interferenza Piazzole Aerogeneratori

L'analisi idrografica non ha evidenziato interferenze tra le piazzole di pertinenza (sia in fase di costruzione che di esercizio) degli aerogeneratori ed il reticolo idrografico rappresentato sulle CTR o comunque con impluvi che sebbene non riportati nella cartografia ufficiale presentino comunque una qualche rilevanza idraulica.

6.3 VALUTAZIONI IDROGEOLOGICHE E PERMEABILITÀ

La caratterizzazione idrogeologica dei terreni indagati scaturisce da una serie di osservazioni qualitative riguardanti gli aspetti macroscopici che questi presentano ad un primo esame, quali: porosità, fratturazione, grado di cementazione, discontinuità strutturali, ecc.

La rete idrografica appare nel complesso mediamente sviluppata, con pochi impluvi, moderatamente incisi, tipica di un substrato litologico comunque permeabile e non facilmente erodibile, con un pattern di tipo sub-dentritico caratterizzato da rami con direzioni preferenziali ad indicare un significativo controllo tettonico del reticolo.

Al fine di definire meglio le caratteristiche di permeabilità dei litotipi affioranti nelle aree di progetto, esse sono state, a grandi linee, raggruppate in due classi in funzione del grado di permeabilità per come di seguito definite: (Tav. 08).

Classe I – Terreni a permeabilità Alta o Medio-alta

In seno a tale classe si possono distinguere 2 sottoclassi.

- a) Terreni permeabili per fessurazione;
- b) Terreni permeabili per porosità;

Alla prima sottoclasse appartengono i terreni affioranti, principalmente, nelle aree morfologicamente più elevate riconducibili a litotipi arenitici, caratterizzati da una elevata permeabilità secondaria per fratturazione; nell'area tali rocce si presentano intensamente tettonizzate, caratteristica che unitamente ai processi di dissoluzione chimica operanti su di esse, portano appunto ad una elevata permeabilità, sebbene talora ridotta, anche in maniera significativa, dalle locali intercalazioni argillo-marnose.

Alla seconda sottoclasse sono riconducibili invece, prevalentemente, i depositi alluvionali e di fondovalle, caratterizzati da una matrice sabbioso-conglomeratica, con clasti eterometrici di diversa natura, disposizione che conferisce ai litotipi elevati valori di permeabilità di tipo primario per porosità.

Classe II – Terreni a permeabilità medio e medio - bassa

Appartengono a questa seconda classe i vasti affioramenti della Formazione della Marmilla, che interessano estesamente sia l'intero Parco Eolico che buona parte della linea di connessione; sebbene la permeabilità di questa formazione possa di fatto risultare molto variabile, in funzione del contenuto e della frequenza delle intercalazioni argillo-marnose, in generale questo tipo di terreni si può associare appunto ad una classe a permeabilità medio – bassa.

Analisi vincolistica

Dal punto di vista vincolistico-idraulico, tutte le aree oggetto di intervento non risultano ricadere all'interno di fasce interessate da pericolosità o rischio idraulico o comunque in siti di attenzione per problematica di tale natura (Tav. 05b e 05c) né risultano interessate da aree a Vincolo Idrogeologico ai sensi del R.D. n.3267 del 30/12/1923 e ss.mm.ii. (Tav.09).

Si evidenzia che le uniche movimentazioni in terra, di un qualche rilievo, riguarderanno le piazzole degli aerogeneratori e le nuove strade di accesso. Relativamente alle piazzole la particolare ubicazione in corrispondenza delle aree di displuvio oltre a garantire la non

Impianto per la produzione di energia elettrica da fonte eolica di potenza pari a 42
MW denominato “*Marmilla*”

Comuni di Villanovaforru, Sardara, Sanluri e Furtei (SU)

Variante in riduzione da 42 MW a 36 MW



interferenza con elementi idrografici significativi permette di minimizzare al massimo le attività di spianamento non essendo gli areali interessati da pendenze elevate (Tav. 03).

Per quanto riguarda le strade di accesso agli aerogeneratori esse, per motivi logistici, si svilupperanno in gran parte su una viabilità o tratturi esistenti, limitando al massimo i fenomeni di sbancamento e comunque saranno interessate dalle normali opere di buona costruzione per la regimentazione delle acque di piattaforma stradale e dei relativi tombini di attraversamento.

Il cavidotto di connessione, infine, come già accennato si svilupperà quasi esclusivamente su una viabilità esistente e tutte le interferenze saranno preferibilmente risolte con attraversamenti in sub-alveo (TOC).

Dai rilievi di superficie condotti e dallo studio dei terreni affioranti, che comprendono sia l'area in esame che quella dell'immediato intorno, non sono state rilevate strutture idrogeologiche significative né la presenza di falda idrica S.S. epi-superficiali.

7 PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE E LOCALE

Il concetto di pericolosità sismica di un territorio nella normativa italiana è stata oggetto negli anni di numerose variazioni con l'approvazione, nel tempo, di diversi decreti ed ordinanze che, in pochi anni, hanno cambiato notevolmente i criteri di classificazione e quindi la definizione stessa di pericolosità sismica.

La classificazione sismica del territorio italiano fino al 2003 si basava su una serie di decreti del Ministero dei Lavori Pubblici, approvati tra il 1980 ed il 1984; secondo tali norme molte aree del territorio nazionale non erano classificate in quanto ritenute aree non-sismiche. A partire dall'O.P.C.M. n. 3274/03 "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e normative tecniche per la costruzione in zona sismica" la zonizzazione sismica è stata estesa a tutto il territorio nazionale.

L'ordinanza 3274/03, operando su base comunale, classificava l'intero territorio di un comune secondo 4 differenti gradi di pericolosità sismica in funzione dell'accelerazione massima attesa al suolo a_g (accelerazione orizzontale su un suolo di categoria A) con il 10% di probabilità di superamento in 50 anni, come da figura 7.1:

Zona	Valore di a_g
1	0,35 g
2	0,25 g
3	0,15 g
4	0,05 g

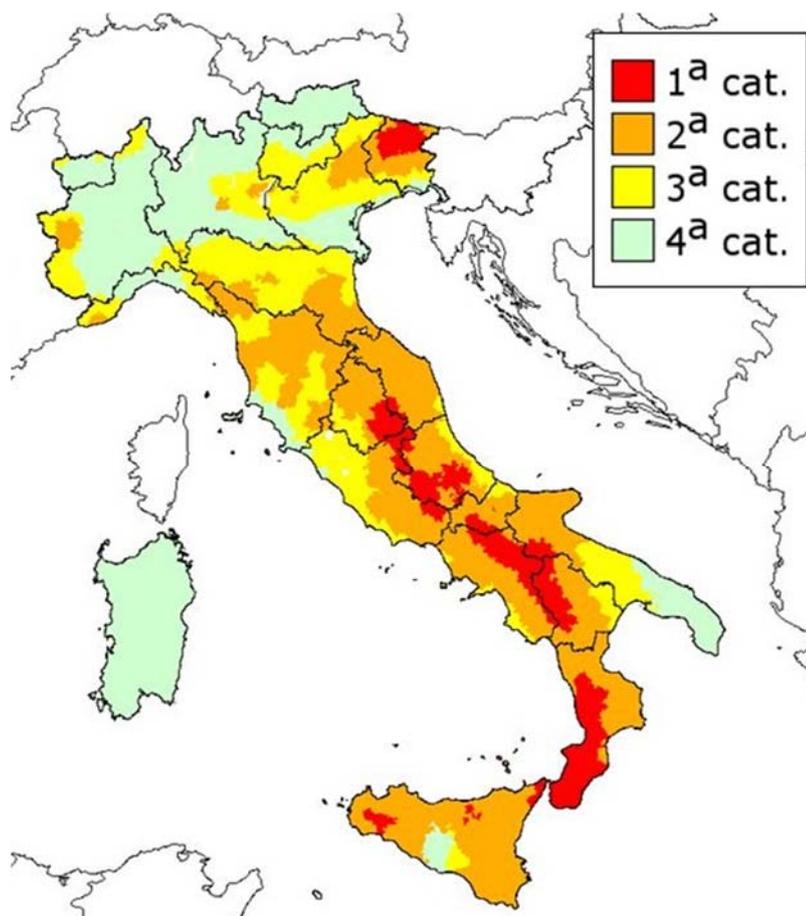


Fig. 7.1: Classificazione sismica comuni Italiani O.P.C.M. 3274/03

Tale impostazione, comunque innovativa, seppur con alcune modifiche e ridefinizioni dei criteri in alcune ordinanze successive (D.M. 159/2005 e O.P.C.M. 3519/06) è rimasta sostanzialmente immutata fino al D.M. 14/01/2008 "Nuove Norme Tecniche per le costruzioni".

Il D.M. 14/01/2008, solitamente indicato anche come NTC-2008, presentava alcune caratteristiche decisamente innovative per quanto riguarda il concetto di pericolosità sismica di un territorio, in particolare la definizione di 3 parametri sismici al posto del solo a_g , e la loro valutazione numerica in funzione delle coordinate geografiche del sito e della classe d'uso dei manufatti in progetto; non più quindi a scala comunale.

La nuova impostazione portava di fatto ad una chiara distinzione tra due diversi concetti: la *Pericolosità Sismica di Base* e la *Pericolosità Sismica Locale*.

Le vigenti norme in materia di costruzione, le NTC 2018, entrate in vigore il 17/01/2018 sostanzialmente lasciano immutata tale impostazione.

- Pericolosità sismica di base

La pericolosità sismica di base rappresenta, sostanzialmente, la probabilità che un evento sismico si verifichi in una determinata area per un determinato periodo di tempo con una data intensità, ovvero la previsione probabilistica dello scuotimento del suolo in un sito in relazione ad un terremoto standard di riferimento; in pratica fornisce i valori significativi delle accelerazioni massime attese al suolo (PGA - peak ground acceleration) riferite ad una situazione ideale con suolo rigido ed omogeneo ($V_s > 800$ m/s; categoria A nelle NTC 18).

Come accennato già con l'ordinanza O.P.C.M. n° 3274 del 20 marzo 2003 l'intero territorio italiano era stato riclassificato con l'individuazione di 4 categorie sismiche in funzione dei valori significativi delle accelerazioni massime attese al suolo riferite a suolo rigido ed omogeneo ($V_s > 800$ m/s) con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni e con periodo di ritorno di 495 anni; su tale classificazione è stata data alle Regioni la possibilità di apportare successive modifiche.

La Regione Sardegna, tuttavia, con delibera 15/31 del 30/03/2004, ha confermato l'impostazione iniziale inserendo tutti i comuni della regione in zona 4, ovvero "*Zona con pericolosità sismica molto bassa dove i terremoti sono rari*", con un'accelerazione orizzontale massima convenzionale $a_g = 0,05g$ e con una probabilità di superamento del 10% in 50 anni che risulta $a_g \leq 0,05g$.

Con riferimento alla normativa vigente, invece, poiché l'azione sismica viene definita facendo riferimento ad un reticolo i cui punti sono riportati in termini di latitudine e longitudine di fatto essa può presentare una discreta variabilità anche all'interno di uno stesso territorio molto ristretto; più nello specifico l'azione sismica viene definita in funzione dei parametri (a_g , F_0 , T_c^*) che, secondo differenti tempi di ritorno (T_R), definiscono le forme spettrali e quindi la "*pericolosità sismica di base*" che assieme al fattore suolo (S), legato agli effetti di amplificazione locale (stratigrafica e topografica), andrà in definitiva a caratterizzare la "risposta sismica locale".

" [...] La pericolosità sismica (di base) 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, nonché di ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente $Se(T)$, con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza PvR nel periodo di riferimento VR . In alternativa è ammesso l'uso di accelerogrammi, purché correttamente commisurati alla pericolosità sismica del sito. Ai fini della presente normativa, le forme spettrali sono definite, per ciascuna delle probabilità di superamento nel periodo di riferimento PvR , 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^* periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale

In allegato alla presente norma, per tutti i siti considerati, sono forniti i valori di a_g , F_o , Tc^* necessari per la determinazione delle azioni sismiche."

Con il vigente D.M. 17/01/2018 al fine di ricavare i parametri di riferimento per l'azione sismica di base occorre quindi innanzitutto individuare le coordinate geografiche del sito, e poi calcolare, per interpolazione, i valori di a_g , F_o e Tc^* a partire dalla griglia fornita in allegato alle NTC-2008 (mantenuta invariata nelle NTC-2018).

Tuttavia relativamente al presente progetto tale operazione non è stata effettuata poiché come esplicitato nell'allegato A delle NTC, per la Sardegna, così come "per tutte le isole ad esclusione della Sicilia, Ischia, Procida e Capri, gli spettri di risposta sono definiti in base a valori di a_g , F_o e Tc^* uniformi su tutto il territorio di ciascuna isola"; tali valori sono di seguito riportati per i vari tempi di ritorno T_R associati a ciascun Stato Limite, ipotizzando come tipologia un'opera ordinaria con $V_N = 50$ anni e classe d'uso I (Presenza occasionale di persone, edifici agricoli)

Parametri Sismici Regione Sardegna				
STATO LIMITE	T_R (anni)	A_g (g)	F_o (-)	Tc^* (s)
<i>SLO</i>	30	0,019	2,610	0,273
<i>SLD</i>	35	0,020	2,628	0,280
<i>SLV</i>	332	0,045	2,855	0,332
<i>SLC</i>	682	0,055	2,930	0,356

Il reticolo di punti che permette di valutare la pericolosità sismica di base è ovviamente frutto sia dello studio delle sorgenti e delle strutture sismogenetiche sul territorio italiano, sia dell'analisi storica dei terremoti.

La figura 7.2 mostra la mappa delle sorgenti e strutture sismogeniche per l'intero territorio italiano, presenti nel database DISS 3.3.0, sviluppato all'interno del progetto nazionale S2 e frutto della collaborazione tra il Dipartimento Nazionale di Protezione Civile (DNPC) e l'Istituto Nazionale Geofisica e Vulcanologia (INGV); il database è liberamente consultabile in formato web-Gis all'indirizzo web: <https://diss.ingv.it/diss330/dissmap.html>.

Sempre sul sito dell'INGV è possibile consultare il database sui terremoti storici presenti sul territorio italiano (aggiornato alla versione DBMI15 – consultabile all'indirizzo <https://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15>).

Dall'interrogazione del database è stato possibile valutare la serie dei principali terremoti che hanno interessato in passato il territorio di Sanluri con Intensità maggiore di 2; i risultati sono riportati nelle figure 7.3 e 7.4.

Impianto per la produzione di energia elettrica da fonte eolica di potenza pari a 42 MW denominato "Marmilla"
Comuni di Villanovaforru, Sardara, Sanluri e Furtei (SU)
Variante in riduzione da 42 MW a 36 MW

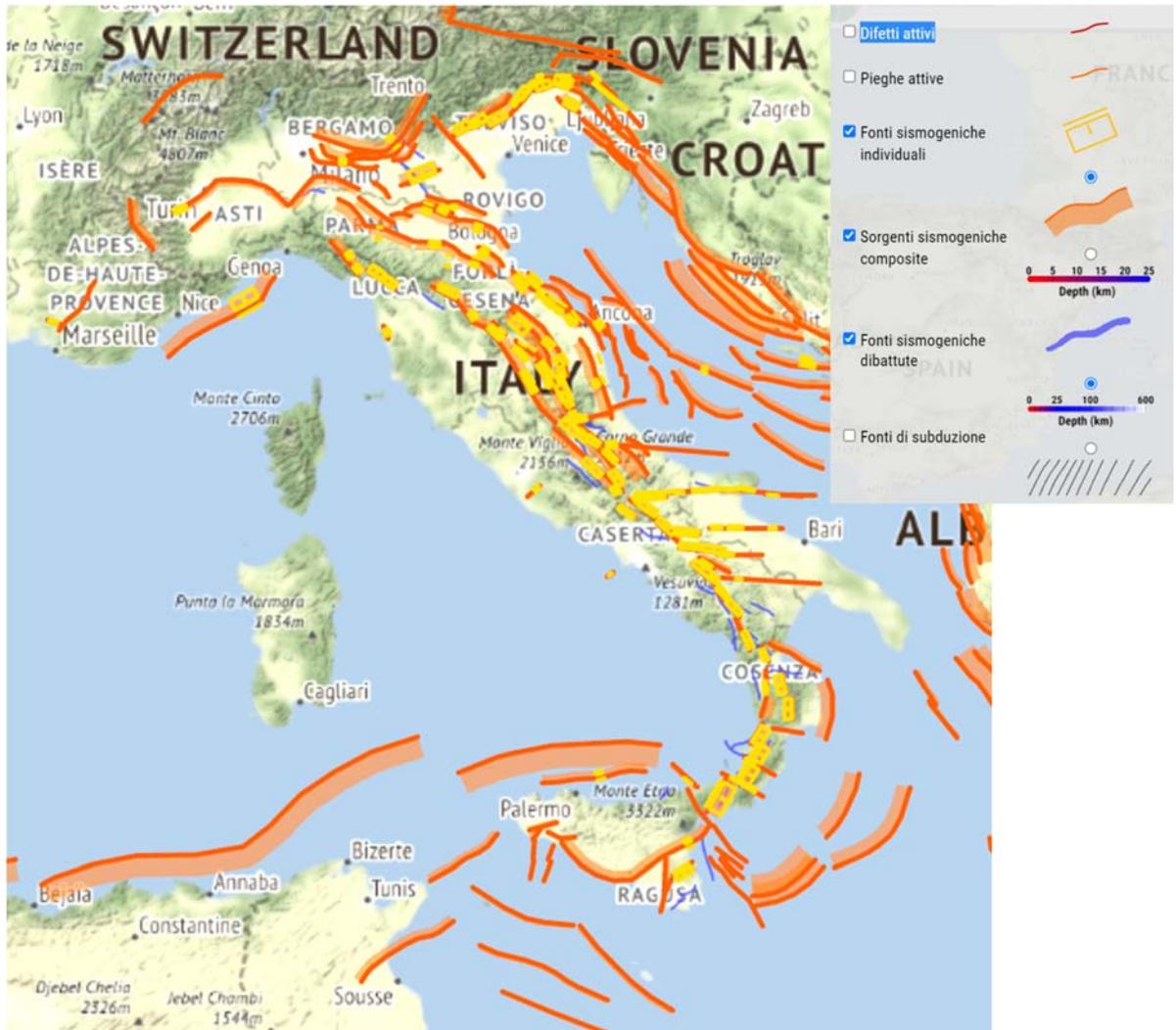


Fig. 7.2: Mappa sorgenti sismogeniche Italia

Sanluri

PlaceID IT_68886
 Coordinate (lat, lon) 39.562, 8.898
 Comune (ISTAT 2015) Sanluri
 Provincia Medio Campidano
 Regione Sardegna
 Numero di eventi riportati 1

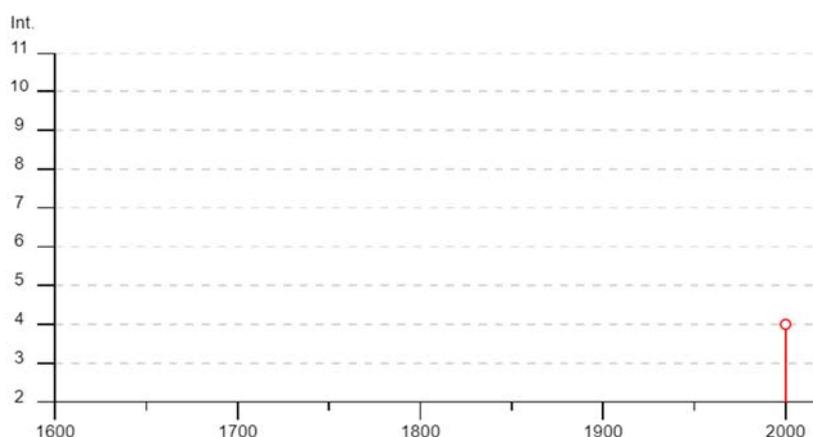


Fig. 7.3: Principali eventi sismici sul territorio comunale intensità/anno. Fonte INGV

Effetti	In occasione del terremoto del									
Int.	Anno	Me	Gi	Ho	Mi	Se	Area epicentrale	NMDP	Io	Mw
4	2000	04	26	13	37	4	Tirreno centrale	265		4.77

Località vicine (entro 10km)

Località	EQs	Distanza (km)
Villanovaforru	1	8
Sardara	1	9
Samassi	1	9

Fig. 7.4: Principali eventi sismici sul territorio comunale in epoca storica. Fonte INGV

Lo studio evidenzia come l'area presenti una pericolosità sismica di base assolutamente bassa.

In effetti l'unico evento segnalato o misurato in epoca storica è riferibile ad un terremoto nel Tirreno Centrale del 26 aprile 2000 con un'intensità segnalata sul territorio comunale (Io - scala MCS) pari a 4.

Per l'accelerazione orizzontale di picco a_g attesa (in riferimento ad un suolo di categoria A con periodo di ritorno di 475) all'indirizzo web: <http://esse1-gis.mi.ingv.it> è disponibile una funzione che, consentendo la disaggregazione dei dati, permette di ottenere i valori della Magnitudo attesa (M) e della distanza (R) del Terremoto di riferimento atteso (in senso

probabilistico), tuttavia per il territorio di Sanluri (e aree limitrofe) dall'interrogazione web-gis non emergono valori proprio a causa della mancanza di dati su cui basare le analisi statistiche

In figura 7.5 è riportata la schermata di interrogazione del sito nella quale si evidenziano valori di a_g inferiori a 0,025g e quindi in linea con i valori di previsti dall'O.P.C.M. 3274/03.

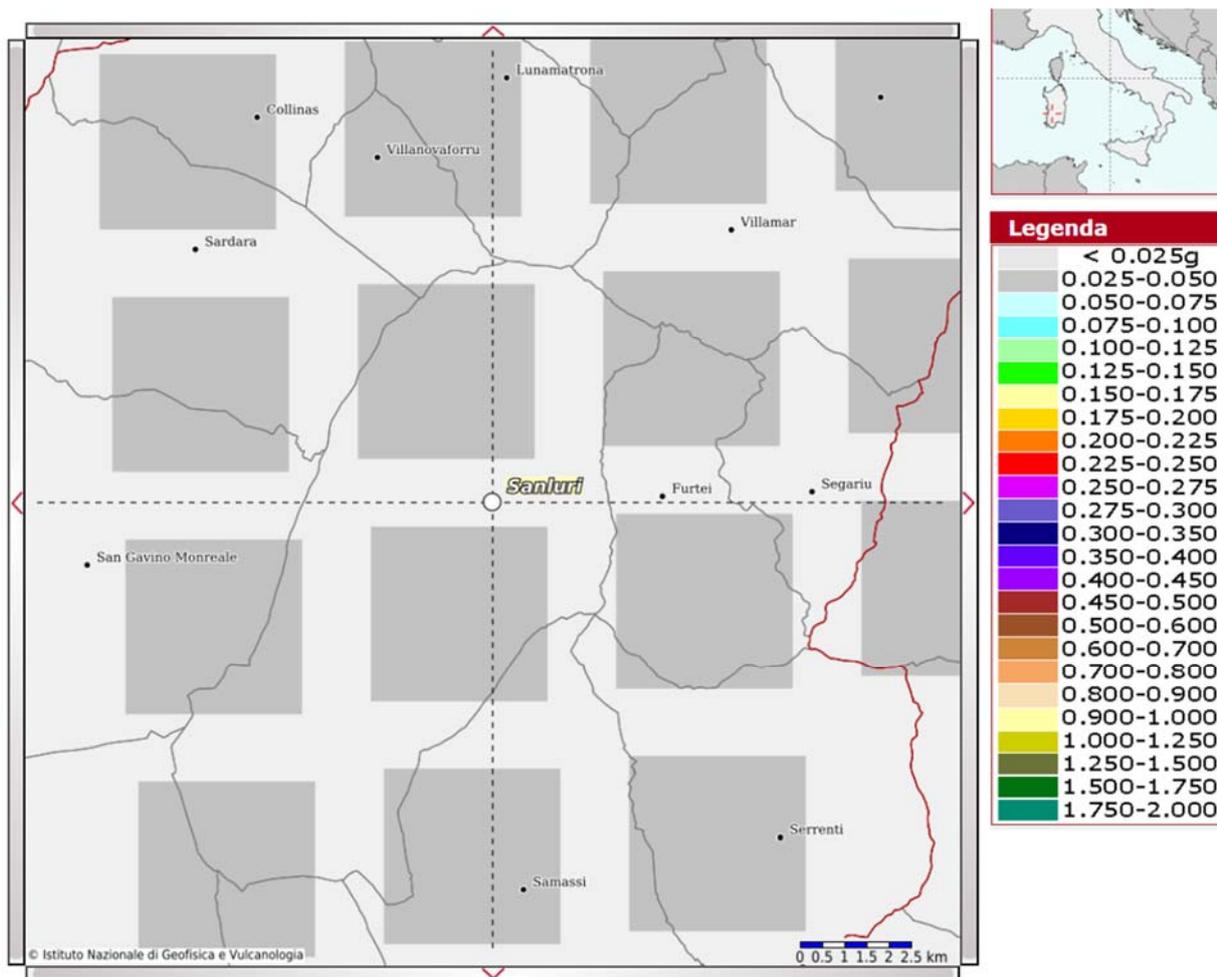


Fig. 7.5: Griglia per la valutazione dei valori di a_g sul territorio. Fonte INGV

- Pericolosità Sismica Locale

Rappresenta una stima a scala di dettaglio delle variazioni della pericolosità sismica di base per effetto delle caratteristiche geologiche, geomorfologiche, litologiche, idrogeologiche e geotecniche del sito in cui si prevede l'evento sismico (condizioni locali).

In effetti è ormai chiaro che la struttura geologica sovrastante il bedrock assume un ruolo determinante nella modifica del treno di onde sismiche, con fenomeni di amplificazione o di smorzamento; sicché, ad esempio, quando si passa dal bedrock rigido ad un terreno più superficiale con minore rigidità (variazione di impedenza) le onde sismiche subiscono un rallentamento e, per la legge della conservazione dell'energia, la loro ampiezza aumenta. Ne consegue un'amplificazione del moto sismico con danni all'edificato superiori rispetto ad aree circostanti poggianti su un terreno di copertura più rigido. Altresì, citando la casistica espressa nelle varie circolari regionali per la redazione dei Piani Urbanistici Comunali, situazioni che

portano ad una amplificazione dell'azione sismica sono legate per esempio a zone di ciglio (con $H > 10$ mt), zone di cresta rocciosa o di dorsale, aree di fondovalle con presenza di alluvioni incoerenti, zone pedemontane di falda di detrito, zone di contatto tra litotipi con caratteristiche fisico-meccaniche diverse o zone con terreni di fondazione particolarmente scadenti; oltre a questa casistica vengono ugualmente prese in considerazione quelle situazioni che possono portare all'accentuazione di fenomeni di instabilità già in atto in occasione di eventi sismici quali zone caratterizzate da movimenti franosi quiescenti o zone con elevata acclività associate a copertura detritica o ancora ammassi rocciosi con acclività $> 50\%$ ed una giacitura sfavorevole degli strati.

In fase esecutiva la pericolosità sismica locale viene valutata o mediante analisi specifiche, come indicate al paragrafo 7.11.3 delle NTC 2018 o, più comunemente, facendo riferimento alla procedura semplificata descritta al paragrafo 3.2.2. Quest'ultima si basa sulla misura in situ delle velocità delle onde sismiche di taglio (onde S) e sulla successiva individuazione della categoria sismica del sottosuolo in funzione del parametro $V_{s,eq}$ (velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio nei primi 30 metri o comunque al di sopra del bedrock). Il valore del parametro $V_{s,eq}$ viene valutato mediante la relazione:

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

dove h_i e V_{s_i} indicano rispettivamente lo spessore e la velocità delle onde di taglio dell' i -esimo strato, N il numero di strati ed H la profondità del substrato rigido, definito come quella formazione costituita da roccia o da terreno molto rigido caratterizzata da V_s non inferiore a 800 m/s. Le NTC 2018 individuano le seguenti possibili categorie di sottosuolo:

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.
B	Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s .
C	Depositati di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s .
D	Depositati di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 m/s 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 metri

In fase esecutiva, pertanto, si dovrà prevedere di definire la categoria di suolo con misure specifiche delle velocità delle onde di taglio V_s entro i primi 30 metri, raccomandando per i siti degli aerogeneratori, di preferenza, data la tipologia di opera, la misura diretta in foro di sondaggio (tipo Down Hole).

8 CENNI SULLE CARATTERISTICHE LITOTECNICHE DEI TERRENI DI SEDIME

A scopo puramente indicativo, nel presente paragrafo si riportano alcuni potenziali valori dei principali parametri geotecnici dei terreni di sedime, derivanti essenzialmente dai dati bibliografici disponibili e sulla base di dati provenienti da letteratura tecnica nonché da indagini pregresse svolte in contesti geologici analoghi.

L'analisi condotta, con riferimento all'areale del parco eolico, indica nell'insieme un assetto litostratigrafico dei luoghi piuttosto semplice, individuando un unico *modello geologico* costituito da uno *Stato di copertura*, riferibile essenzialmente alle litologie di substrato alterate e il substrato stesso costituito dal *Basamento marnoso-arenaceo*. Come descritto la struttura laminare e stratificata dei litotipi in questione rende le suddette indicazioni come valori indicativi di larga massima, volte unicamente ad una prima valutazione circa la possibilità di tali terreni a sostenere i carichi di progetto.

Di seguito si riporta una colonna stratigrafica-tipo rappresentativa dei luoghi di intervento, a partire dall'alto:

Livello A - Suolo

Spessore: 0,20 - 0,60 m

Orizzonte superficiale, di colore brunastro, a prevalente componente argillo-limosa, interessato dalle pratiche di rimaneggiamento agricole e ricco in componente organica; data la tipologia di opere in progetto tale livello andrà totalmente rimosso e pertanto non riveste alcun interesse geotecnico.

Livello B - Coltre di copertura

Spessore: 1,50 - 2,50 m

Livello di copertura riferibile alla porzione superficiale alterata e variamente scompaginata del substrato; si tratta di un orizzonte a comportamento essenzialmente coesivo costituito da frammenti e clasti lapidei, con dimensioni estremamente variabili, immerse in una matrice eluviale argilloso-carbonatica, consistente per effetto della temporanea essiccazione.

A tale litotipo è possibile attribuire le seguenti caratteristiche geotecniche medie indicative:

- γ (kN/m³) = 18 -19; peso di volume
- C_U (KPa) = 40-50 ; coesione non drenata
- ϕ = 20°-22°; angolo di attrito interno

L'elevato contenuto argilloso unitamente alla forte eterogeneità rende detto orizzonte scarsamente affidabile dal punto di vista geotecnico.

Livello C - *Basamento marnoso-arenaceo*

Spessore: diverse decine di metri

Come accennato in precedenza l'orizzonte è riferibile alle marne siltose ed arenacee stratificate della Formazione della Marmilla, di colore grigio-giallognolo, ossidate, e molto alterate nelle porzioni più superficiali. Con riferimento prettamente geotecnico (comportamento meccanico), si possono distinguere:

- Sub-livello C1 – Orizzonte alterato al quale è possibile attribuire le seguenti caratteristiche geotecniche medie indicative:

- γ (kN/m³) = 18 -19; peso di volume

- C_U (KPa) = 40-50 ; coesione non drenata

- ϕ = 20°-22°; angolo di attrito interno

- Sub-livello C2 – Substrato marnoso litoide tenero e fratturato, al quale è possibile attribuire le seguenti caratteristiche geotecniche medie indicative:

- γ (kN/m³) = 21 -22; peso di volume

- C_U (KPa) = 200-300 ; coesione non drenata

- ϕ = 25°-35°; angolo di attrito interno

Per una valutazione preliminare di massima sulla tipologia e dimensionamento delle fondazioni potranno essere usati i parametri nominali sopra indicati, tuttavia gli aspetti geotecnici e sismici dovranno essere adeguatamente implementati in sede di progettazione esecutiva, attraverso mirate campagne di indagini geognostiche in situ supportate da opportune prove di laboratorio.

9 CONCLUSIONI

Nell'ambito del progetto definitivo per la realizzazione di una centrale di produzione di energia da fonte eolica, e relative opere ed infrastrutture connesse, che la società ENGIE TREXENTA S.R.L. intende realizzare nei Comuni di Villanovaforru, Sardara, Sanluri e Furtei (SU), nel mese di aprile 2023 era stato eseguito uno studio di natura Geologica e Geomorfologica di supporto al progetto, finalizzato all'acquisizione di tutti quegli elementi geognostici atti a verificare la compatibilità delle nuove opere di progetto, con le caratteristiche stratigrafiche, litologiche, idrologiche e fisico-meccaniche dei terreni di fondazione nonché all'accertamento delle condizioni di stabilità della zona con l'individuazione di eventuali processi morfodinamici in atto o potenziali.

Il presente elaborato rappresenta una revisione del progetto presentato in richiesta di autorizzazione, resasi necessaria a valle dell'identificazione di interferenze con il progetto di un impianto eolico da 55,8 MW presentato dalla società *Asja Serra* e localizzato nella medesima area, come evidenziato nella comunicazione E-SERRA/FG/SC/sa/227/23 presentata al Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica (MASE) in data 15/06/2023.

Le modifiche principali di layout rispetto alla versione precedente del progetto, essenzialmente consistono nell'eliminazione degli aerogeneratori identificati come WTG04 e WTG06 ed in una rimodulazione del cavidotto di connessione, in minus, con conseguenti modifiche alla relazione precedente modeste e non sostanziali.

I risultati dello studio sono di seguito sinteticamente riepilogati:

- Analisi Geologica

Dal punto di vista geologico generale l'area di progetto risulta ubicata al margine orientale della *Piana del Campidano*, geologicamente riferibile ad una ampia fossa tettonica di età Terziaria, formatasi tra 4 e 2 milioni di anni fa dalla distensione della crosta terrestre ed associata a importanti eventi effusivi, con una generale sprofondamento avvenuto mediante un complesso sistema di faglie, a carattere trascorrente. La depressione, inizialmente invasa dal mare, è stata successivamente sede di una intensa attività deposizionale che ha portato ad uno spessore complessivo dei depositi valutato in almeno 600 metri, con sedimenti prevalentemente di natura alluvionale-continentale e deltizi.

Più nello specifico il substrato litologico dell'areale di progetto è riferibile a depositi sedimentari identificati nella letteratura specifica come *Formazione della Marmilla* (RML) ovvero una formazione tipica di ambiente marino a bassa energia, costituita da alternanze marnoso-arenacee a composizione vulcanica riferibili all'Aquitano - Burdigaliano inferiore.

Al di sotto di tali coperture mioceniche, sotto forma di modesti e isolati rilievi si ritrovano limitati affioramenti granitici e di metasiltiti appartenenti al basamento paleozoico il quale affiora estesamente a sud del settore in studio.

Con specifico riferimento agli areali di progetto, sia l'intero parco eolico che il cavidotto di connessione risultano interessare i terreni sedimentari della *Formazione della Marmilla* (RML) sovente in affioramento o talora occultati da depositi di copertura olocenici; nel dettaglio:

- **Depositi Quaternari** di varia natura:

Depositi eluvio-colluviali (sigla CARG: b2)

Alluvioni terrazzate, costituite da Ghiaie con sabbie subordinate (sigla CARG: bna)

Alluvioni terrazzate, costituite da Sabbie con subordinati limi ed argille (sigla CARG: bnb)

Formazione della Marmilla

Alternanze marnoso-arenacee, siltiti arenacee ad arenarie (sigla CARG: RML)

- Lineamenti morfologici e geomorfologici

Dal punto di vista morfologico generale l'area di progetto si inquadra in un contesto basso collinare, con gli aerogeneratori ubicati in corrispondenza degli alti topografici marnoso-arenacei della Formazione della Marmilla che bordano il limite orientale della piana del Campidano. Gli aerogeneratori risultano ubicati in corrispondenza del versante occidentale di una cresta collinare dai circa 230 metri s.l.m. della torre WTG.03 fino ai 280 metri della WTG.07.

Il cavidotto, a partire dall'area del Parco Eolico, si snoda verso sud-est per circa 6,5 km, scendendo fino ai circa 140 metri s.l.m. della Stazione di Utenza, ubicata nell'area di transizione tra la zona collinare e la piana alluvionale del *Flumini Mannu*, principale incisione idrografica dell'area. Il cavidotto si svilupperà prevalentemente in corrispondenza di una viabilità esistente, lungo le aree di displuvio che separano il sottobacino idrografici del *Riu Sassuni* a nord-est, dai rami di testa del *Flumini Mannu* a sud.

Il versante di interesse presenta pendenze prevalentemente comprese tra i 10 ed i 20 gradi, localmente anche più accentuate in corrispondenza di affioramenti lapidei di natura arenitica e in corrispondenza dei fianchi di alcune incisioni idrografiche che si impostano su terreni a prevalente componente argillo-marnosa.

Sia la Stazione di Utenza che il tratto finale del cavidotto, come accennato in precedenza, risultano impostati sui depositi alluvionali della valle del *Flumini Mannu*, in un'area sostanzialmente sub-pianeggiante con pendenza inferiori ai 2°.

Allo stato attuale il principale agente morfologico attivo nel modellamento dei versanti risulta essere "l'acqua", sia relativamente all'azione di ruscellamento delle acque superficiali sia in relazione ai processi erosivi e di sedimentazione legati alle acque incanalate.

Alla luce della configurazione morfologica sopra descritta la predisposizione del territorio a fenomeni di dissesto appare bassa ed in linea generale relegata e con caratteristiche tipiche, ai terreni di copertura in versanti ad elevata pendenza.

Dalla consultazione degli strati informativi del P.A.I., reperibili sul Geoportale Regionale, gran parte delle aree interessate dalle opere in progetto non risultano ricadere in fasce segnalate a Pericolosità Geomorfologica per rischio frane. Unicamente si segnala per la torre WTG.07 un'area a pericolosità *Hg1-moderata*, per il quale livello di pericolosità le Norme di Attuazione del P.A.I. non prevedono vincoli particolari se non le normali indagini geognostiche di approfondimento propedeutiche alla costruzione dei manufatti.

Relativamente al cavidotto MT anch'esso ricade parzialmente nell'area a pericolosità *Hg1-moderata*, individuata per l'aerogeneratore WGT.07 e per un breve tratto, di circa 750 metri, in un'area a pericolosità *Hg2-media*. In entrambi i casi, tuttavia, il cavidotto si snoda sempre in

corrispondenza di una viabilità esistente che non ha evidenziato fenomeni gravitativi in atto. Data la tipologia di intervento in progetto, ovvero il passaggio di un cavidotto in trincea a sezione obbligata, si ritiene che esso non possa in alcun modo interferire con i livelli di pericolosità individuati.

Con riferimento all'area del parco eolico il rilevamento di superficie condotto non ha evidenziato, allo stato attuale, particolari criticità di natura geomorfologica, con pendenze perfettamente congruenti con le tipologie di substrato individuate mentre le stesse strade di accesso e interessate dal cavidotto, presenta solo locali ammaloramenti del corpo stradale, ma che in generale non appaiono riconducibili a fenomeni gravitativi profondi.

- Idrografia

Dal punto di vista idrografico generale sia il Parco Eolico che le opere di connessione ricadono interamente all'interno del bacino idrografico del *Flumini Mannu* che con una superficie drenata di 593 km² e una lunghezza dell'asta principale di circa 42,1 km, risulta essere uno dei più importanti corsi d'acqua della Sardegna sud-occidentale. Il Flumini Mannu, che assume tale denominazione a valle della Diga di Is Barrocos, svariati chilometri a nord delle aree di progetto, scorre circa 1,8 km ad est dell'area della sottostazione e circa 4,6 km dal Parco eolico.

Relativamente all'elettrodotta di connessione MT, malgrado il notevole sviluppo lineare, esso interseca pochi corsi d'acqua tutti comunque riferibili a rami di testa del Flumini Mannu.

Tutti i corsi d'acqua interferenti con il cavidotto, risultano essere incisioni idrografiche assai modeste, di basso ordine gerarchico, 1 o 2 ordine secondo la classificazione di Horton-Strahler, e pertanto caratterizzati da un regime idrologico spiccatamente torrentizio, con lunghi periodi di secca alternati a brevissimi periodi di deflusso in corrispondenza di eventi piovosi significativamente lunghi o particolarmente intensi.

Tutte le aree oggetto di intervento non risultano ricadere all'interno di fasce interessate da pericolosità o rischio idraulico o comunque in siti di attenzione per problematica di tale natura individuate nel P.A.I., né risultano interessate da aree a Vincolo Idrogeologico ai sensi del R.D. n.3267 del 30/12/1923 e ss.mm.ii.

Il cavidotto di connessione, si svilupperà quasi esclusivamente su una viabilità esistente e tutte le interferenze saranno preferibilmente risolte con attraversamenti in sub-alveo (TOC).

- Valutazioni idrogeologiche e permeabilità

Con riferimento sia all'area di progetto che all'area vasta, la rete idrografica appare nel complesso mediamente sviluppata, con pochi impluvi, moderatamente incisi, tipica di un substrato litologico comunque permeabile e non facilmente erodibile, con un pattern di tipo sub-dentritico caratterizzato da rami con direzioni preferenziali ad indicare un significativo controllo tettonico del reticolo.

Al fine di definire meglio le caratteristiche di permeabilità dei litotipi affioranti nelle aree di progetto, esse sono state, a grandi linee, raggruppate in due classi in funzione del grado di permeabilità:

- Classe I – Terreni a permeabilità Alta o Medio-alta

Riconducibili a litotipi arenitici, caratterizzati da una elevata permeabilità secondaria per fratturazione ed a depositi alluvionali e di fondovalle, caratterizzati da una matrice sabbioso-

Impianto per la produzione di energia elettrica da fonte eolica di potenza pari a 42 MW denominato "Marmilla"

Comuni di Villanovaforru, Sardara, Sanluri e Furtei (SU)

Variante in riduzione da 42 MW a 36 MW



conglomeratica, con clasti eterometrici di diversa natura, disposizione che conferisce ai litotipi elevati valori di permeabilità di tipo primario per porosità.

Classe II – Terreni a permeabilità medio e medio - bassa

Terreni della Formazione della Marmilla, che interessano estesamente sia l'intero Parco Eolico che buona parte della linea di connessione.

Dai rilievi di superficie condotti e dallo studio dei terreni affioranti, non sono state rilevate strutture idrogeologiche significative né la presenza di falde idriche S.S. affioranti o di bassa profondità

- Caratterizzazione sismica preliminare

Con riferimento alla normativa vigente, sono stati definiti i parametri a_g , F_0 , T_c^* che, secondo differenti tempi di ritorno (T_R), definiscono le forme spettrali e quindi la *Pericolosità sismica di base*".

Lo studio, che ha tenuto conto anche di un'analisi storica degli eventi sismici registrati sul territorio, ha evidenziato una pericolosità sismica di base bassa in senso assoluto.

Relativamente alla componente di *Pericolosità Sismica Locale* in fase esecutiva si dovrà provvedere alla definizione della categoria di suolo con misure specifiche delle velocità delle onde di taglio V_S entro i primi 30 metri, raccomandando per i siti degli aerogeneratori, la misura diretta in foro di sondaggio.

- Caratterizzazione litotecnica preliminare

A scopo puramente indicativo sono stati riportati i potenziali valori dei principali parametri geotecnici dei terreni di sedime, derivanti essenzialmente dai dati bibliografici disponibili su prove geotecniche in situ e di laboratorio eseguite su litologie similari relative alla stessa formazione geologica.

La struttura laminare e stratificata dei litotipi in questione rende le suddette indicazioni come, appunto, valori indicativi di larga massima, volte unicamente ad una prima valutazione circa la possibilità di tali terreni a sostenere i carichi di progetto.

Gli aspetti geotecnici, così come quelli sismici, dovranno essere adeguatamente implementati in sede di progettazione esecutiva attraverso mirate campagne di indagini geognostiche in situ supportate da opportune prove di laboratorio geotecnico.

Palermo, ottobre 2023

Dott. Geol. Michele Ognibene
Ordine Regionale geologi di Sicilia
n. 3003

Dott. Geol. Rosario Fria
Ordine Regionale geologi di Sicilia
n. 1663

ELABORATI GRAFICI

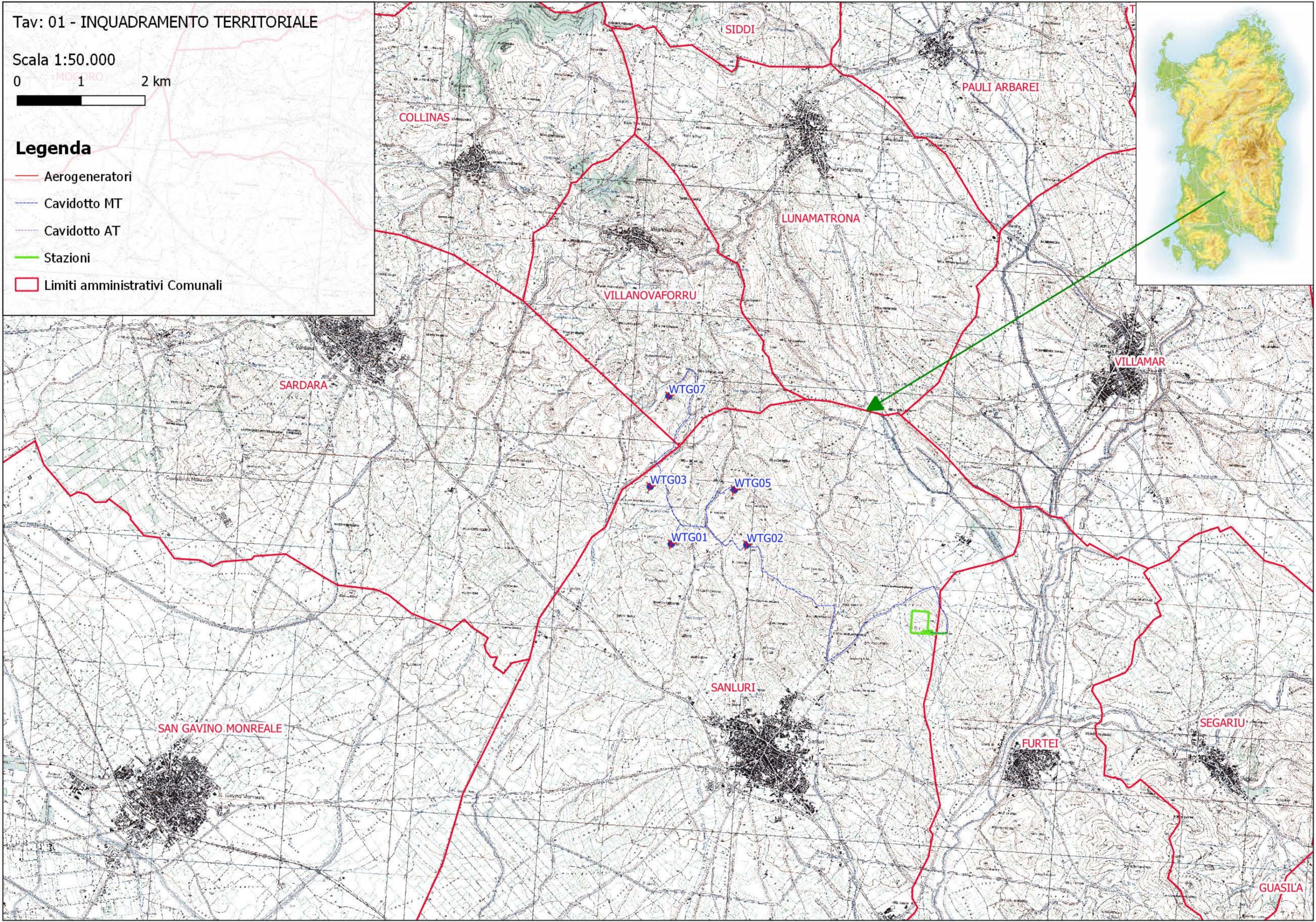
Tav: 01 - INQUADRAMENTO TERRITORIALE

Scala 1:50.000



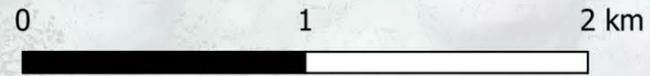
Legenda

- Aerogeneratori
- Cavidotto MT
- Cavidotto AT
- Stazioni
- Limiti amministrativi Comunali



Tav: 02 - CARTA QUOTE s.l.m.

Scala 1:25.000

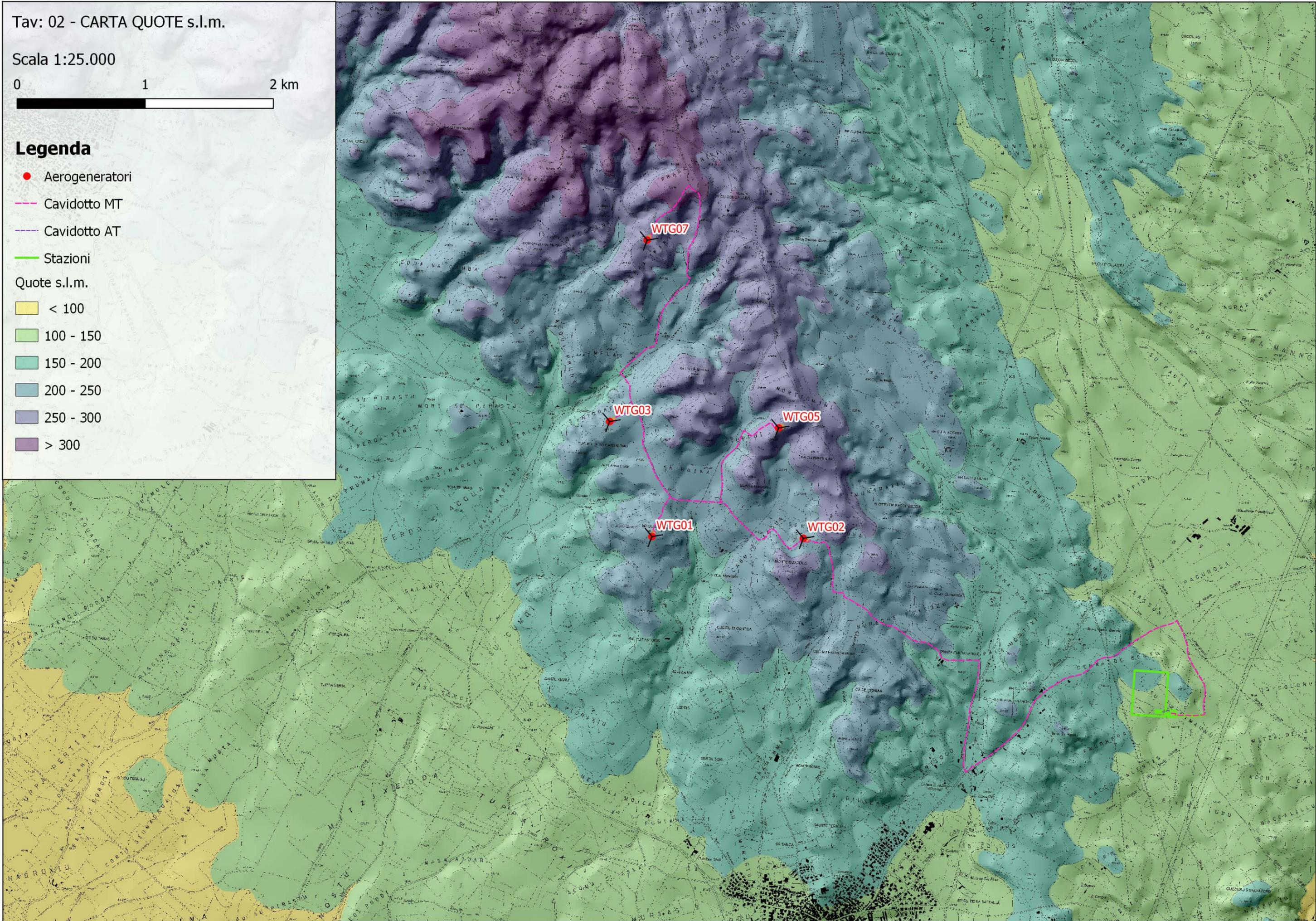


Legenda

- Aerogeneratori
- Cavidotto MT
- - - Cavidotto AT
- Stazioni

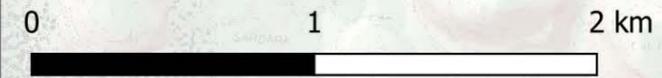
Quote s.l.m.

- < 100
- 100 - 150
- 150 - 200
- 200 - 250
- 250 - 300
- > 300



Tav: 03 - CARTA DELLE PENDENZE

Scala 1:25.000



Legenda

● Aerogeneratori

— Cavidotto MT

— Cavidotto AT

— Stazioni

Pendenza (°)

0 - 5

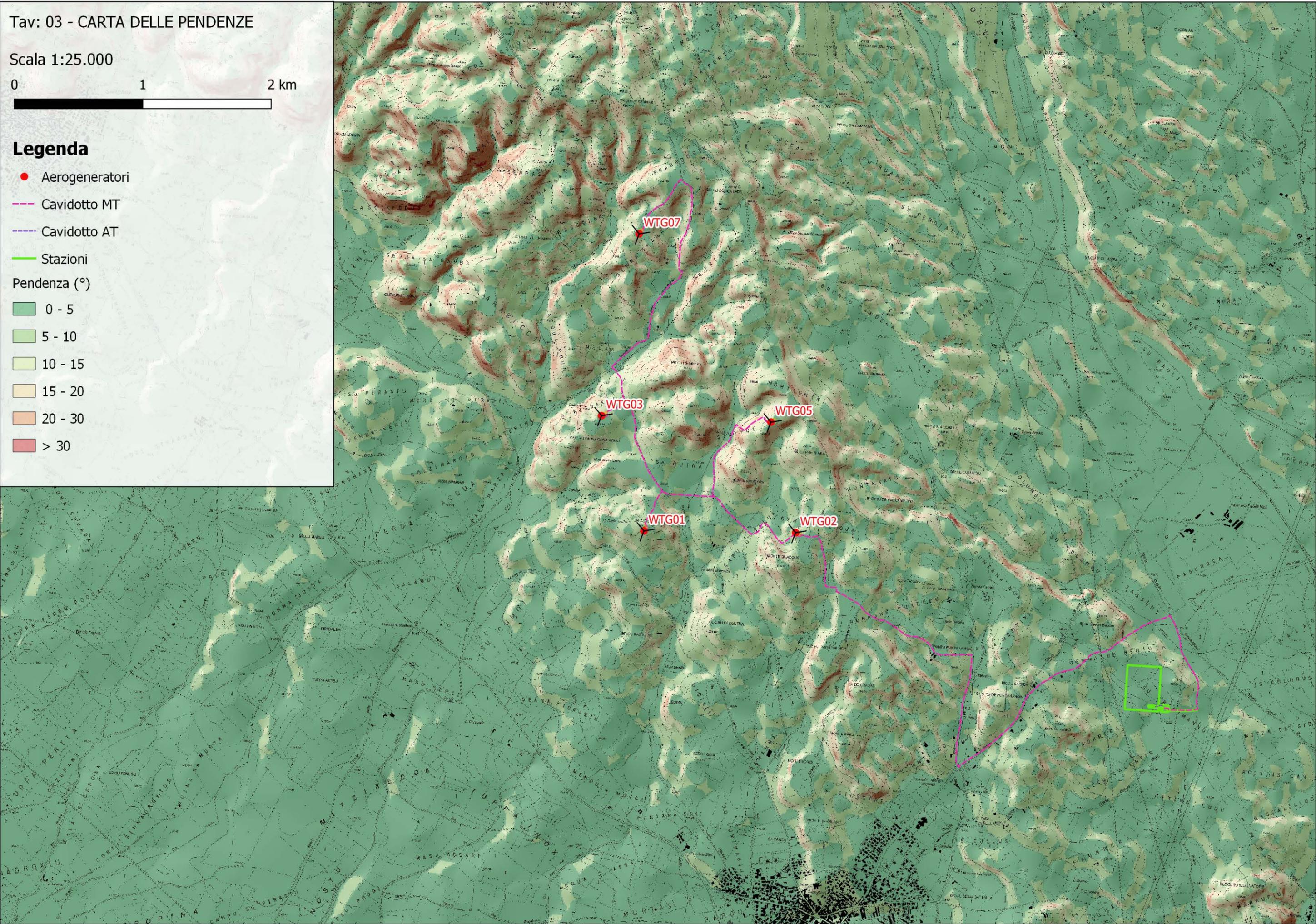
5 - 10

10 - 15

15 - 20

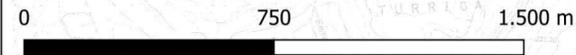
20 - 30

> 30



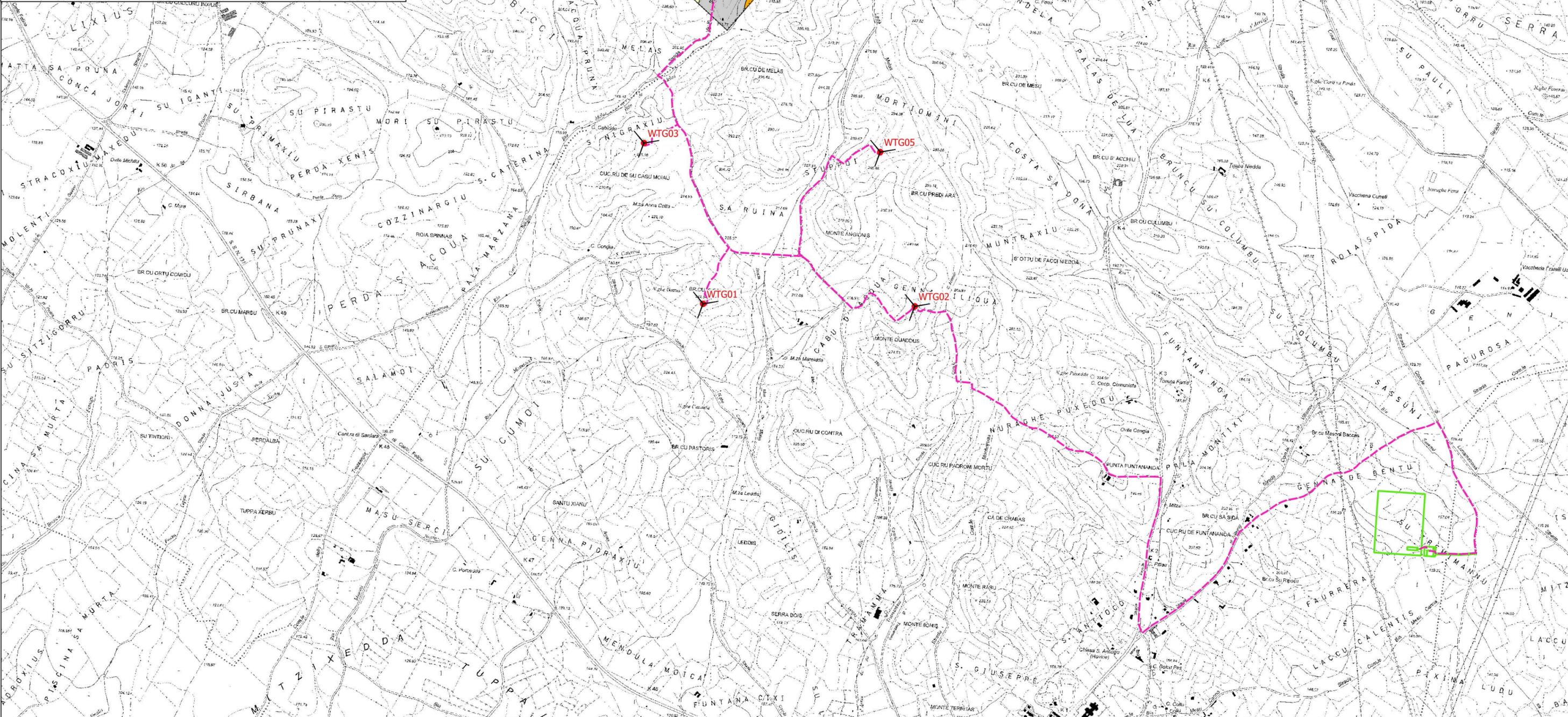
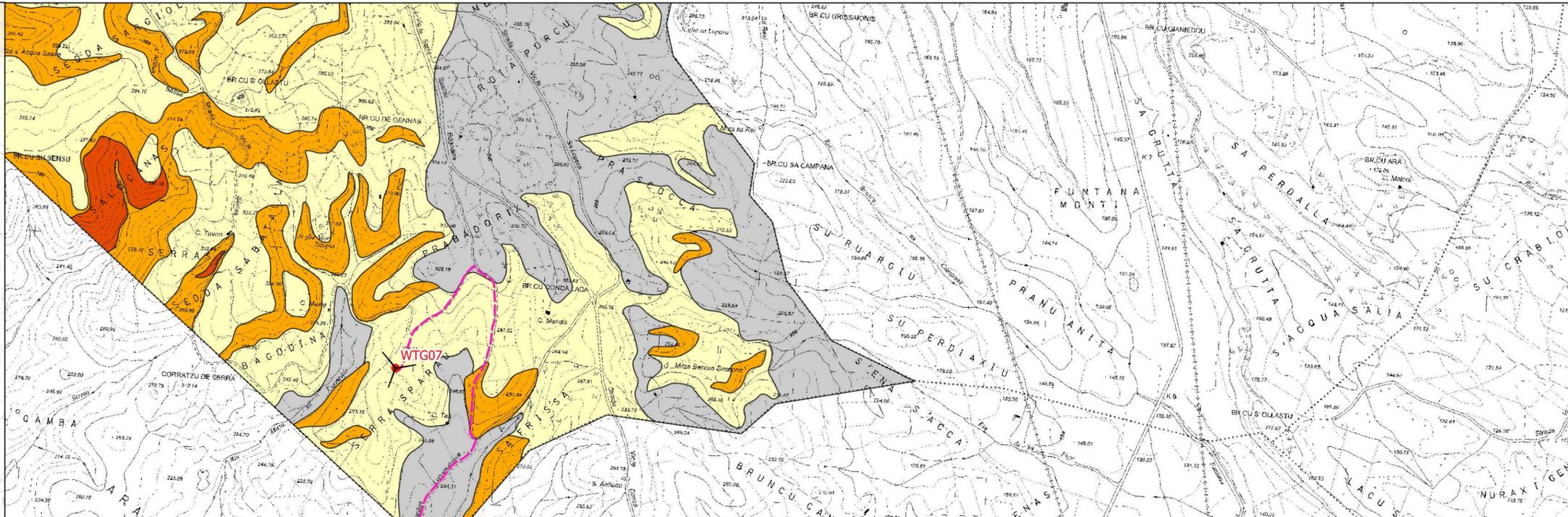
Tav: 05.a - CARTA PERICOLOSITA' GEOMORFOLOGICA
(Estratto P.A.I. Pericolo Frane art. 8)

Scala 1:15.000



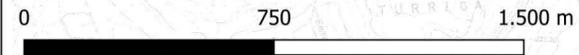
Legenda

- Aerogeneratori
- Cavidotto
- Stazioni
- Art8C2_Hg_V09
- Hg0 - Nulla
- Hg1 - Moderata
- Hg2 - Media
- Hg3 - Elevata
- Hg4 - Molto Elevata



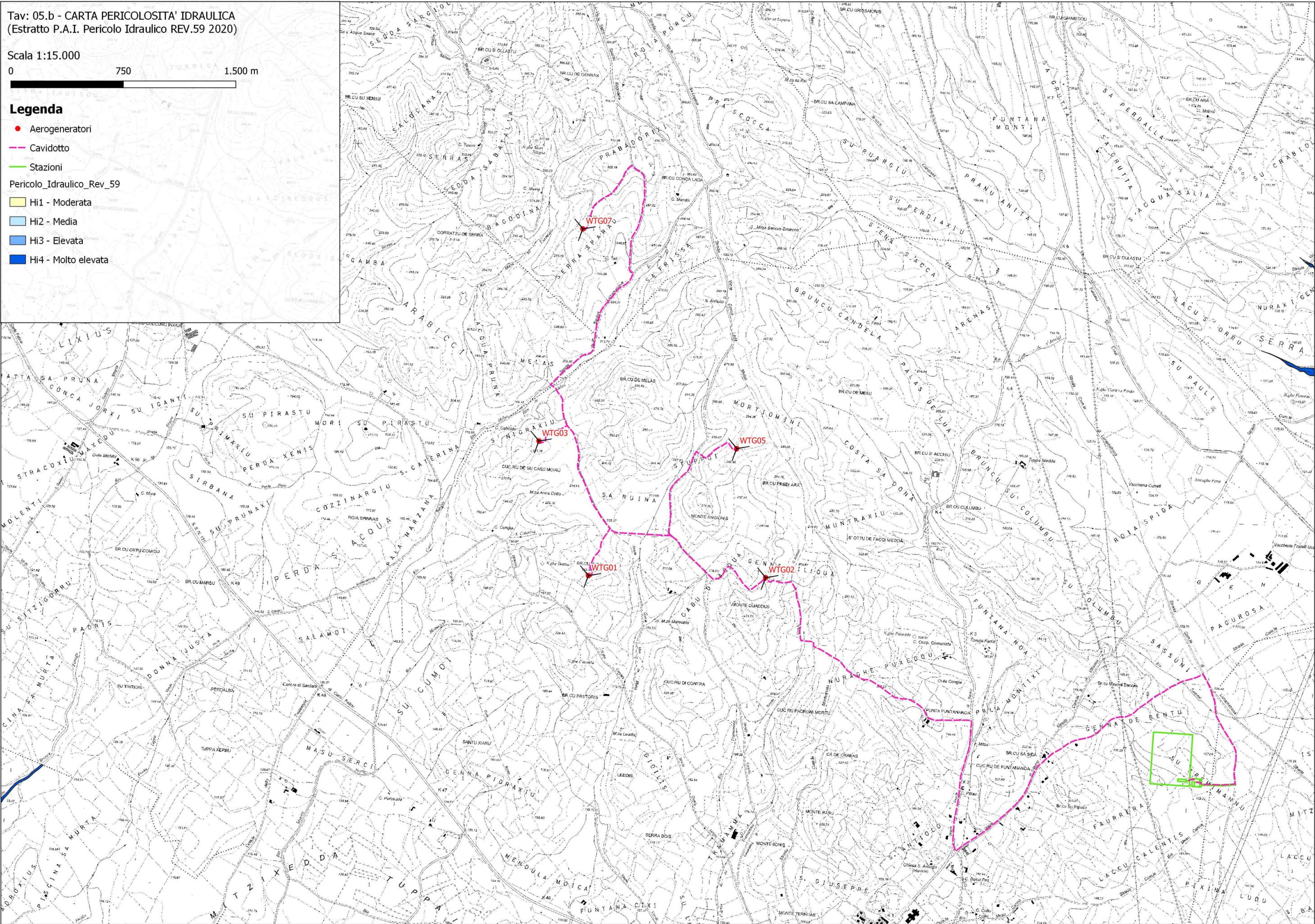
Tav: 05.b - CARTA PERICOLOSITA' IDRAULICA
(Estratto P.A.I. Pericolo Idraulico REV.59 2020)

Scala 1:15.000

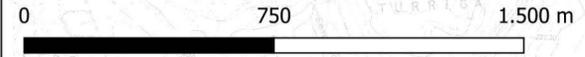


Legenda

- Aerogeneratori
- Cavidotto
- Stazioni
- Pericolo_Idraulico_Rev_59
- Hi1 - Moderata
- Hi2 - Media
- Hi3 - Elevata
- Hi4 - Molto elevata

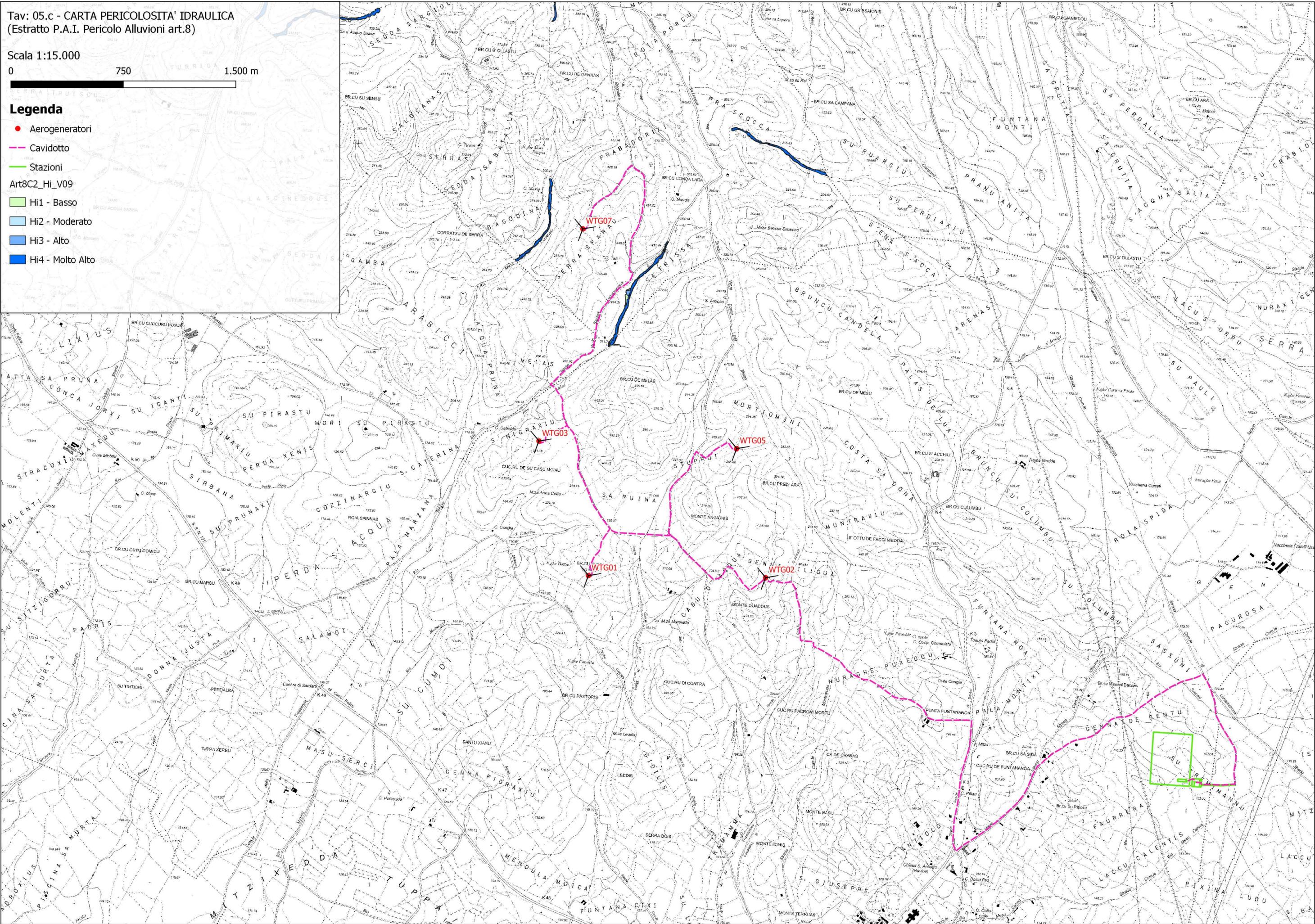


Scala 1:15.000



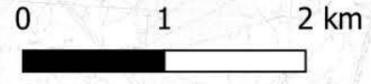
Legenda

- Aerogeneratori
- Cavidotto
- Stazioni
- Art8C2_Hi_V09
- Hi1 - Basso
- Hi2 - Moderato
- Hi3 - Alto
- Hi4 - Molto Alto



Tav: 06 - INQUADRAMENTO IDROGRAFICO

Scala 1:50.000



Legenda

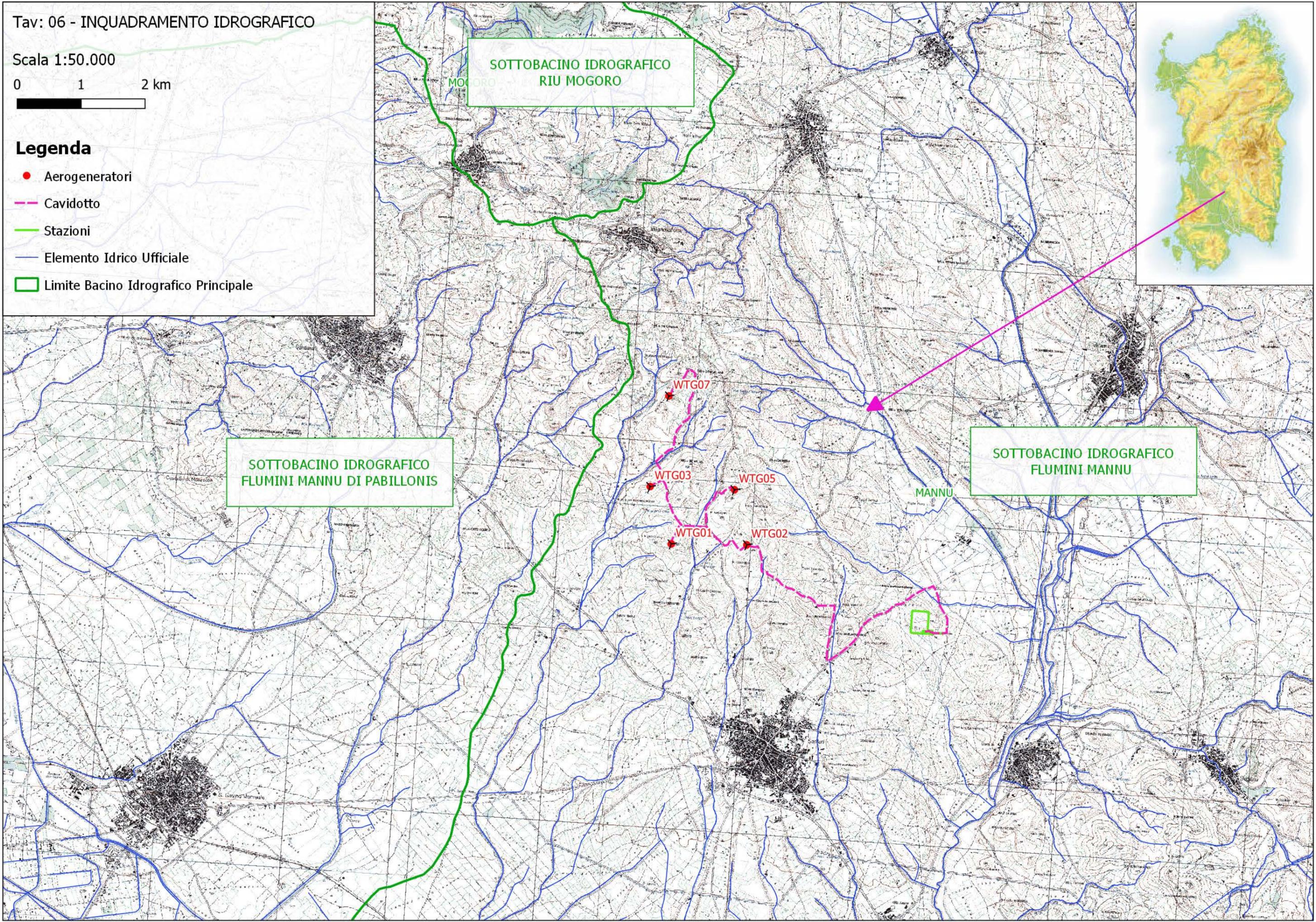
- Aerogeneratori
- Cavidotto
- Stazioni
- Elemento Idrico Ufficiale
- Limite Bacino Idrografico Principale



SOTTOBACINO IDROGRAFICO
RIU MOGORO

SOTTOBACINO IDROGRAFICO
FLUMINI MANNU DI PABILLONIS

SOTTOBACINO IDROGRAFICO
FLUMINI MANNU



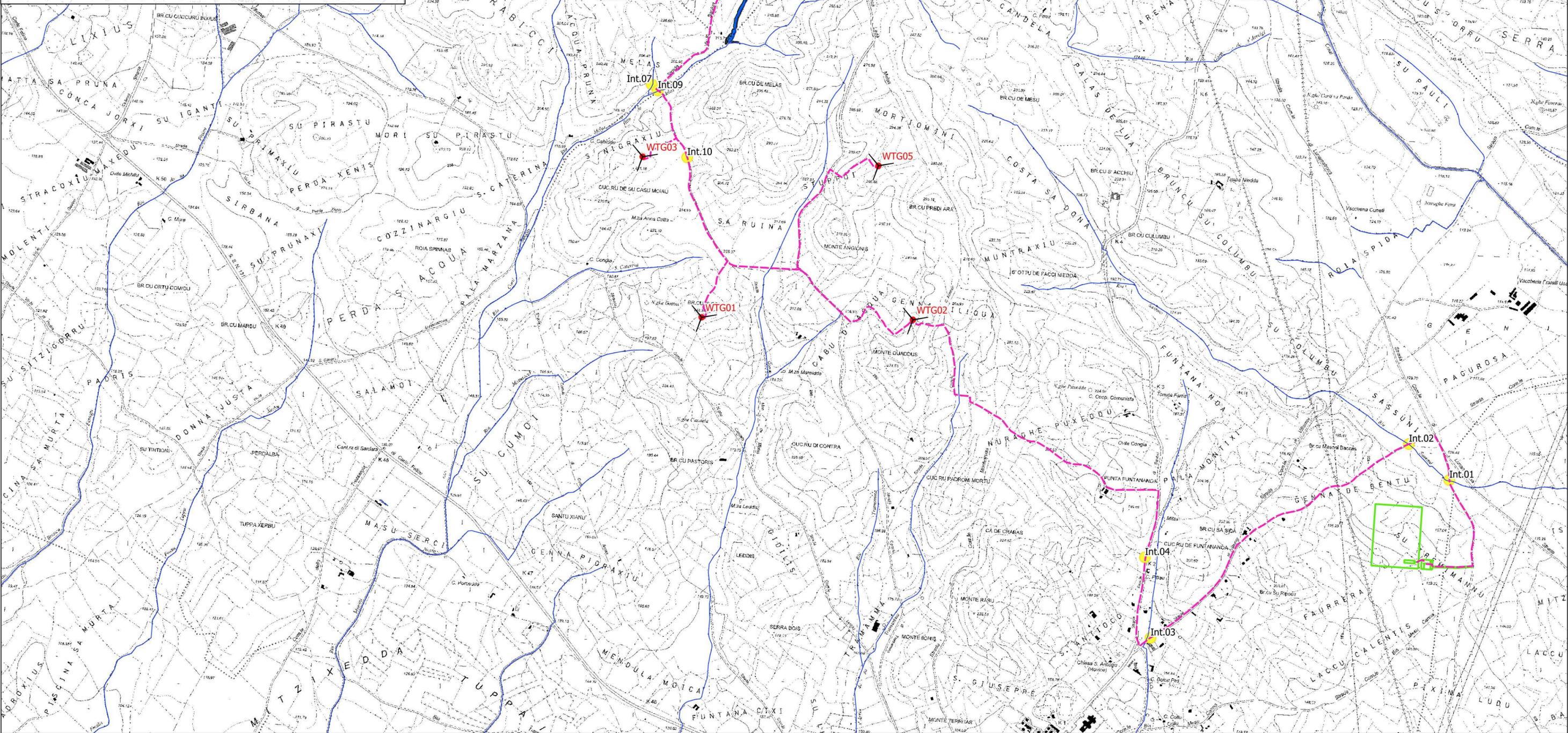
Tav: 7 - CARTA INTERFERENZE RETICOLO IDROGRAFICO

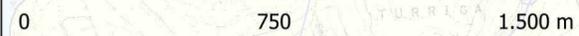
Scala 1:15.000



Legenda

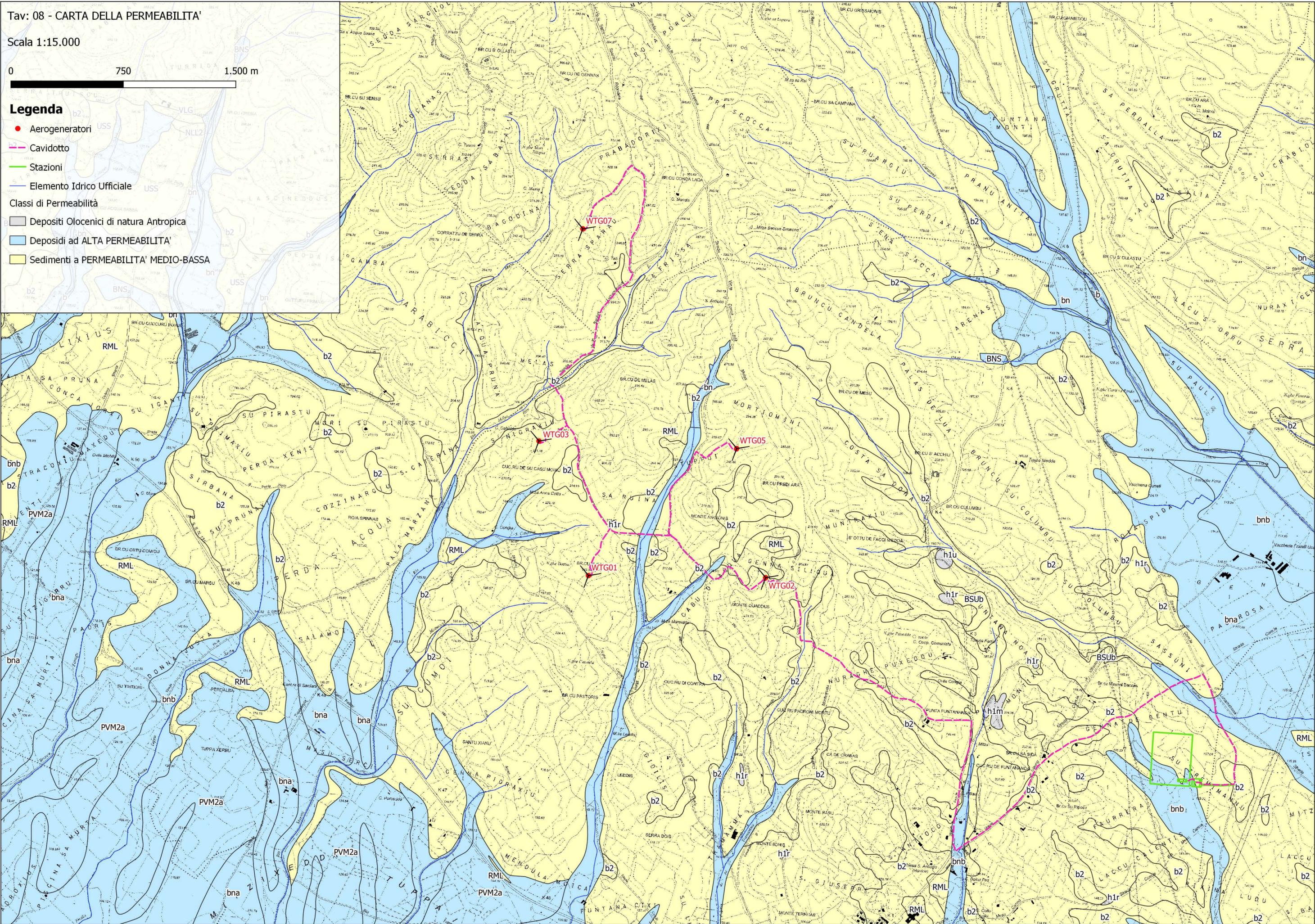
- Interferenze Reticolo Idrografico Rid.
- Aerogeneratori
- Cavidotto
- Stazioni
- Elemento Idrico Ufficiale
- Art8C2_Hi_V09
- Hi1 - Basso
- Hi2 - Moderato
- Hi3 - Alto
- Hi4 - Molto Alto





Legenda

- Aerogeneratori
- Cavidotto
- Stazioni
- Elemento Idrico Ufficiale
- Classi di Permeabilità
- Depositi Olocenici di natura Antropica
- Depositi ad ALTA PERMEABILITA'
- Sedimenti a PERMEABILITA' MEDIO-BASSA



Legenda

- Aerogeneratori
- Cavidotto
- Stazioni

