



REGIONE TOSCANA



COMUNE DI
ORBETELLO



PROVINCIA DI
GROSSETO

PROGETTO DEFINITIVO

Impianto di produzione di energia elettrica da fonte eolica "Orbetello" di potenza in immissione massima pari a 61,2 MW e relative opere connesse da realizzarsi nel comune di Orbetello (Gr)

Titolo elaborato

Relazione Geologica

Codice elaborato

F0544ER01A

Scala

-

Riproduzione o consegna a terzi solo dietro specifica autorizzazione.

Progettazione



F4 ingegneria srl

Via Di Giura - Centro direzionale, 85100 Potenza
Tel: +39 0971 1944797 - Fax: +39 0971 55452
www.f4ingegneria.it - f4ingegneria@pec.it

Il Direttore Tecnico
(ing. Giovanni Di Santo)



Gruppo di lavoro

Dott. For. Luigi ZUCCARO
Ing. Giuseppe MANZI
Ing. Alessandro Carmine DE PAOLA
Ing. Monica COIRO
Ing. Federica COLANGELO
Ing. Gerardo Giuseppe SCAVONE
Ing. jr. Flavio Gerardo TRIANI
Arch. Gaia TELESICA
Ing. Manuela NARDOZZA



Società certificata secondo le norme UNI-EN ISO 9001:2015 e UNI-EN ISO 14001:2015 per l'erogazione di servizi di ingegneria nei settori: civile, idraulica, acustica, energia, ambiente (settore IAF: 34).

Consulenze specialistiche

GEOLOGIA

PROJECT ENGINEERING GEOLOGY

Via del Gallitello, 90/a
85100 Potenza
Info@engeosrl.it

Committente

Apollo Wind s.r.l.

Via della Stazione, 7
39100 - Bolzano (Bz)

Data	Descrizione	Redatto	Verificato	Approvato
Aprile 2023	Prima emissione	NARDONE	ADP	GDS

File sorgente: **F0544ER01A - Relazione Geologica.docx**

INDICE

1. Premessa	2
2. Inquadramento Geografico.....	4
3. Inquadramento Geologico e tettonico dell'area.....	6
3.1 Geologia dell'area	8
4. Analisi dei vincoli Geologico-Ambientali.....	10
5. Inquadramento Geomorfologico e idrogeologico	14
6. Idrologia e idrogeologia dell'area	16
7. INDAGINI GEOGNOSTICHE E GEOFISICHE.....	17
Stendimenti sismici MASW	18
Stendimento sismico MASW 1(T04)	18
Stendimento sismico MASW 2(T09)	20
Stendimento sismico MASW 3(T08)	22
Stendimento sismico MASW 4(T01)	23
Stendimento sismico MASW 5(T03)	24
Prove penetrometriche dinamiche DPSH	26
Tomografia Geoelettrica ERT	28
8 SISMICITA' DELL'AREA.....	30
9. CARATTERIZZAZIONE SISMICA	32
10 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA.....	34
11. CAVIDOTTO	35

1. Premessa

Su incarico della F4 ingegneria., è stata condotto lo studio di geologico e geomorfologico a supporto del *Progetto Impianto di produzione di energia elettrica da fonte eolica "Orbetello" di potenza in immissione massima pari a 61,2 MW e relative opere connesse da realizzarsi nel comune di Orbetello (Gr)*”:

Il presente studio ha lo scopo di fornire, sulla base di specifiche indagini geognostiche, le informazioni necessarie ai fini della determinazione della natura e della disposizione dei terreni, della struttura e dei caratteri fisici del sottosuolo; definisce illustra e caratterizza gli aspetti idrogeologici, geomorfologici e geomeccanici, nonché il conseguente livello di pericolosità geologica attraverso la redazione di una base cartografica tematica utilizzabile dai tecnici progettisti per la formazione di corrette e razionali scelte progettuali con particolare riferimento alle opere di fondazione degli aerogeneratori.

Lo studio è stato eseguito seguendo le prescrizioni contenute nel:

- D.M. 17 gennaio 2018 Norme Tecniche per le Costruzioni;
- Circolare n° 7_2019 del C.S.LL.PP. – Istruzioni per l’applicazione delle Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al D.M. 17 gennaio 2018;
- E.C.7, E.C.8;
- Piano Stralcio per la Difesa dal Rischio Idrogeologico redatto dall’Autorità di Bacino della Toscana;
- R.D.L. 3267/23.

Per procedere ad una ricostruzione della stratigrafia dell’area è stata progettata ed eseguita una campagna di indagini geognostiche e geofisiche così articolata:

- Esecuzione di n° 5 MASW, (Multichannel Analysis of Surface Waves);
- Esecuzione di n° 3 Prove penetrometriche dinamiche DPSH;
- Esecuzione di n°1 Tomografia geoelettrica .

Le indagini espletate, hanno consentito l’acquisizione di dati utili alla compilazione di una cartografia geologica e geomorfologica.

L'elaborazione dei risultati ottenuti dal rilevamento di superficie, unitamente a quanto emerso nel corso della campagna geognostica, ha permesso di produrre degli elaborati grafici di sintesi comprendenti:

- Carta Geologica in scala 1: 10.000;
- Sezione Geologica in scala 1:5.000;
- Carta Geomorfologica in scala 1:10.000;
- Stralcio della carta della pericolosità da alluvioni in scala 1:10.000;
- Carta dell'Ubicazione delle indagini in scala 1:10.000;
- Rapporto tecnico sulle indagini

2. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

L'area di interesse del progetto ricade nel territorio comunale di Orbetello in provincia di Grosseto. Nello specifico il Parco Eolico sarà ubicato nella porzione meridionale del territorio comunale di Orbetello e si svilupperà tra le località San Donato vecchio e San Donato centro in un intervallo di quote compreso tra 4 e 32 m s.l.m.. Gli aerogeneratori saranno connessi alla sottostazione che verrà realizzata in Località Mandrioncino.

Nella tabella di seguito si riportano le coordinate relative agli aerogeneratori espresse con il sistema di riferimento UTM/WGS84 fuso 33

COORDINATE SISTEMA DI RIFERIMENTO (UTM/WGS84 - Fuso 33)		
Aerogeneratore	Est	Nord
T01	684310.00	4714639.00
T02	682625.00	4714076.00
T03	682550.00	4713457.00
T04	682876.00	4712909.00
T05	682685.00	4712289.00
T06	681751.00	4711197.00
T07	681259.00	4710587.00
T08	680663.00	4711227.00
T09	682603.00	4710434.00

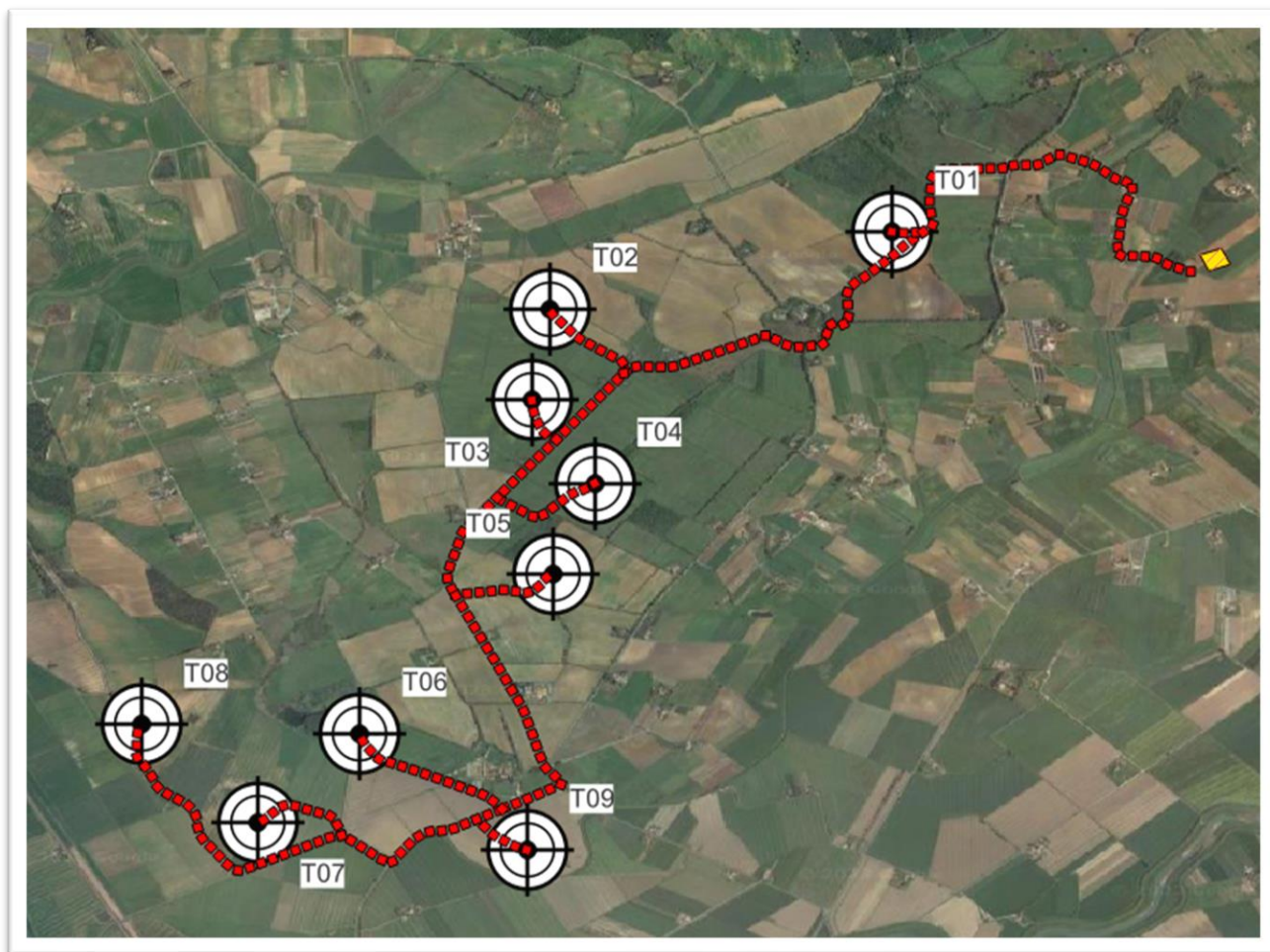


Fig. 2 Ubicazione dell' Area Parco e del relativo cavidotto in progetto (su ortofoto)

3. INQUADRAMENTO GEOLOGICO E TETTONICO DELL'AREA

Il territorio comunale di Orbetello è sito nella porzione terminale sud-occidentale della Toscana meridionale. Tale area è caratterizzata da una prevalenza di forme morfologiche tipiche della zona costiera meridionale regionale con ampie aree umide, palustri e lagunari che si collocano al passaggio tra le pianure alluvionali del torrente Osa e del fiume Albegna e la fascia costiera dunale. Le aree di piana costiera, sia di carattere alluvionale che di carattere palustre/lagunare sono delimitate da dorsali collinari, con direzione prevalentemente antiappenninica, che si ubicano nella porzione Nord-Ovest, Nord-Est e Sud-Est del territorio comunale. In tali aree affiora il substrato mesozoico e neogenico.

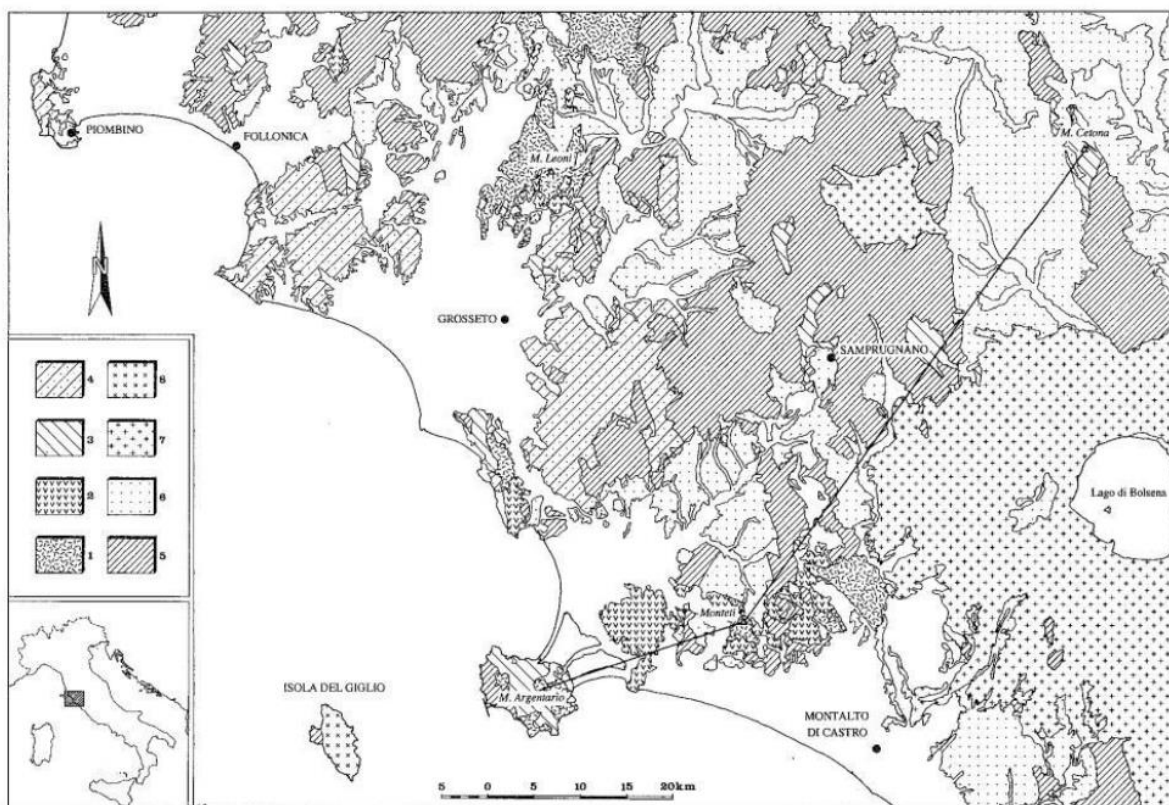
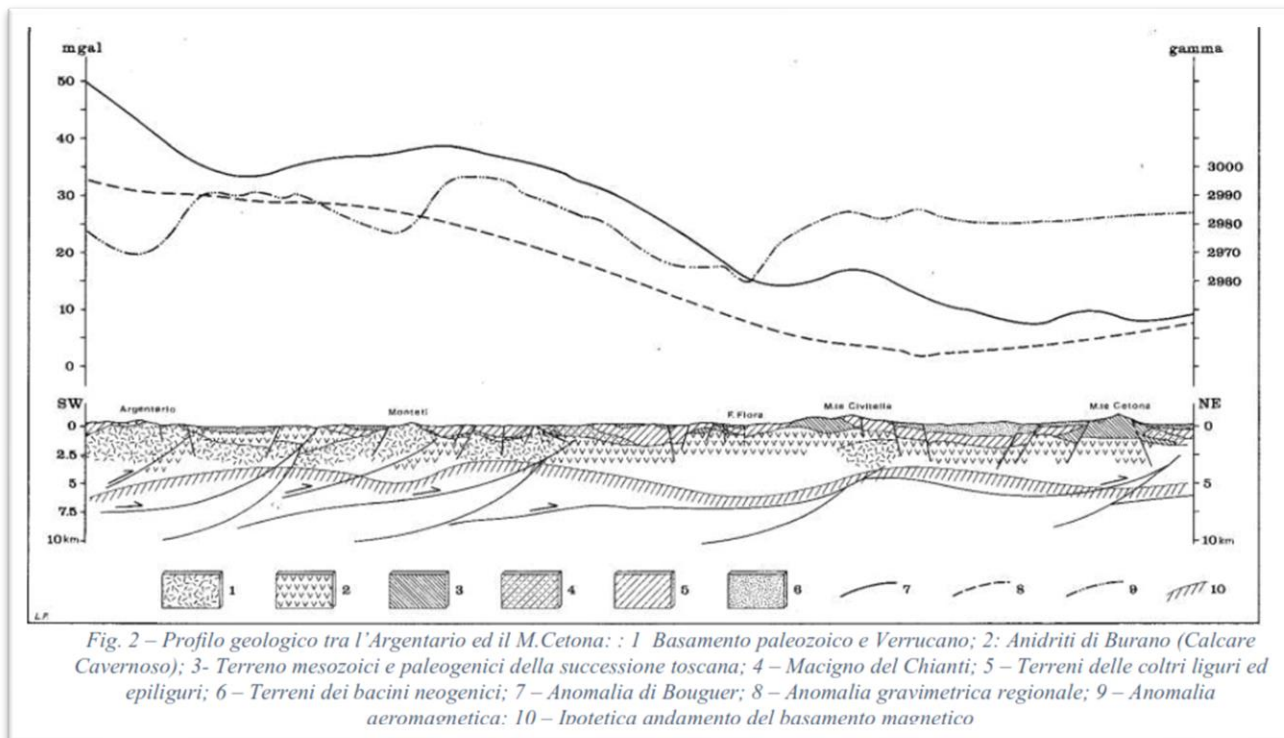


Fig. 1 – Carta geologica schematica tra l'Argentario e il Cetona: 1 Basamento paleozoico e Verrucano; 2- Anidriti di Burano (Calcare Cavernoso); 3- Terreno mesozoici e paleogenici della successione toscana; 4 – Macigno del Chianti; 5 – Terreni delle coltri liguri ed epiliguri; 6 – Terreni dei bacini neogenici; 7 – Plutoniti; 8 - Vulcaniti

Il contesto collinare di margine del comune di Orbetello ha avuto un'evoluzione tettonica associata all'orogenesi dell'Appennino Settentrionale. A partire dal Miocene il contesto collinare ha subito un forte processo di tettonica compressiva che ha portato ad imponenti sovrascorrimenti e scollamenti. Al termine del Miocene (Messiniano) si è passati da una tettonica compressiva ad una

tettonica distensiva con conseguente formazione dei bacini neogenici. La geometria dei bacini ha risentito fortemente dei sistemi di faglie ad alto angolo associate al processo orogenetico: faglie appenniniche longitudinali alla catena appenninica e faglie antiappenniniche trasversali alla direzionalità della catena appenninica. La fine del processo appenninico compressivo coincide anche con l'affermarsi di una trasgressione marina che ha portato al ciclo sedimentario neo-autoctono che costituisce l'ossatura sedimentaria del territorio comunale di Orbetello. La suddetta trasgressione marina è stata anticipata dalla formazione, a varie distanze dalla costa, di una serie di depressioni chiuse con formazione di bacini lacustri e palustri successivamente in parte sommersi dalla trasgressione marina. La successive successioni di regressione marina e trasgressione marina che hanno interessato tutto il Pliocene e parte del Pleistocene, legate sia a variazioni eustatiche del livello del mare, sia a movimenti tettonici di abbassamento della catena appenninica associata alla dinamica orogenetica distensiva, hanno portato alla formazione della morfologia attuale costituita, come detto sopra, da una ampia piana costiera lagunare/alluvionale/palustre che comprende quasi per intero il territorio comunale, delimitata a Nord-Ovest, Nord-Est e Sud-Ovest da dorsali mesozoiche/neogeniche ad andamento prevalentemente antiappenninico.



3.1 GEOLOGIA DELL'AREA

Il rilevamento geologico di campagna eseguito ha permesso di cartografare e distinguere le seguenti Unità Litologiche affioranti nel territorio studiato, descritte in ordine cronologico dalla più antica alla più recente:

- a) Depositi costieri
- b) Depositi palustri
- c) Depositi alluvionali

Depositi costieri

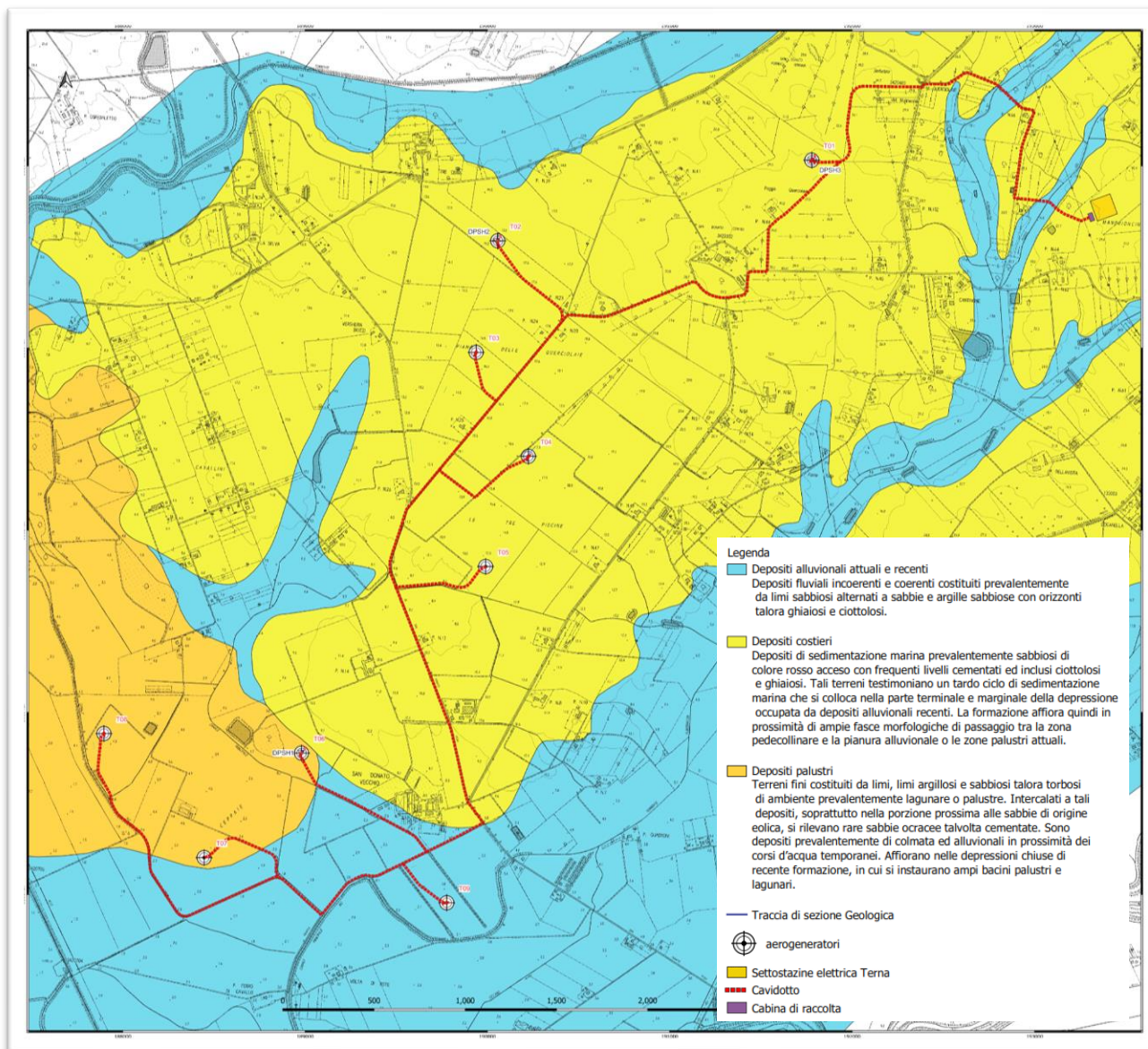
Depositi di sedimentazione marina prevalentemente sabbiosi di colore rosso acceso con frequenti livelli cementati ed inclusi ciottolosi e ghiaiosi. Tali terreni testimoniano un tardo ciclo di sedimentazione marina che si colloca nella parte terminale e marginale della depressione occupata da depositi alluvionali recenti. La formazione affiora quindi in prossimità di ampie fasce morfologiche di passaggio tra la zona pedecollinare e la pianura alluvionale o le zone palustri attuali.

Depositi palustri

Terreni fini costituiti da limi, limi argillosi e sabbiosi talora torbosi di ambiente prevalentemente lagunare o palustre. Intercalati a tali depositi, soprattutto nella porzione prossima alle sabbie di origine eolica, si rilevano rare sabbie ocracee talvolta cementate. Sono depositi prevalentemente di colmata ed alluvionali in prossimità dei corsi d'acqua temporanei. Affiorano nelle depressioni chiuse di recente formazione, in cui si instaurano ampi bacini palustri e lagunari. Nella zona retrostante la Laguna di Orbetello, costituiscono una rilevante unità di passaggio tra i terreni di laguna attuale ed i depositi continentali che dipartono dalla zona pedecollinare.

Depositi alluvionali attuali e recenti

Depositi fluviali incoerenti e coerenti costituiti prevalentemente da limi sabbiosi alternati a sabbie e argille sabbiose con orizzonti talora ghiaiosi e ciottolosi.

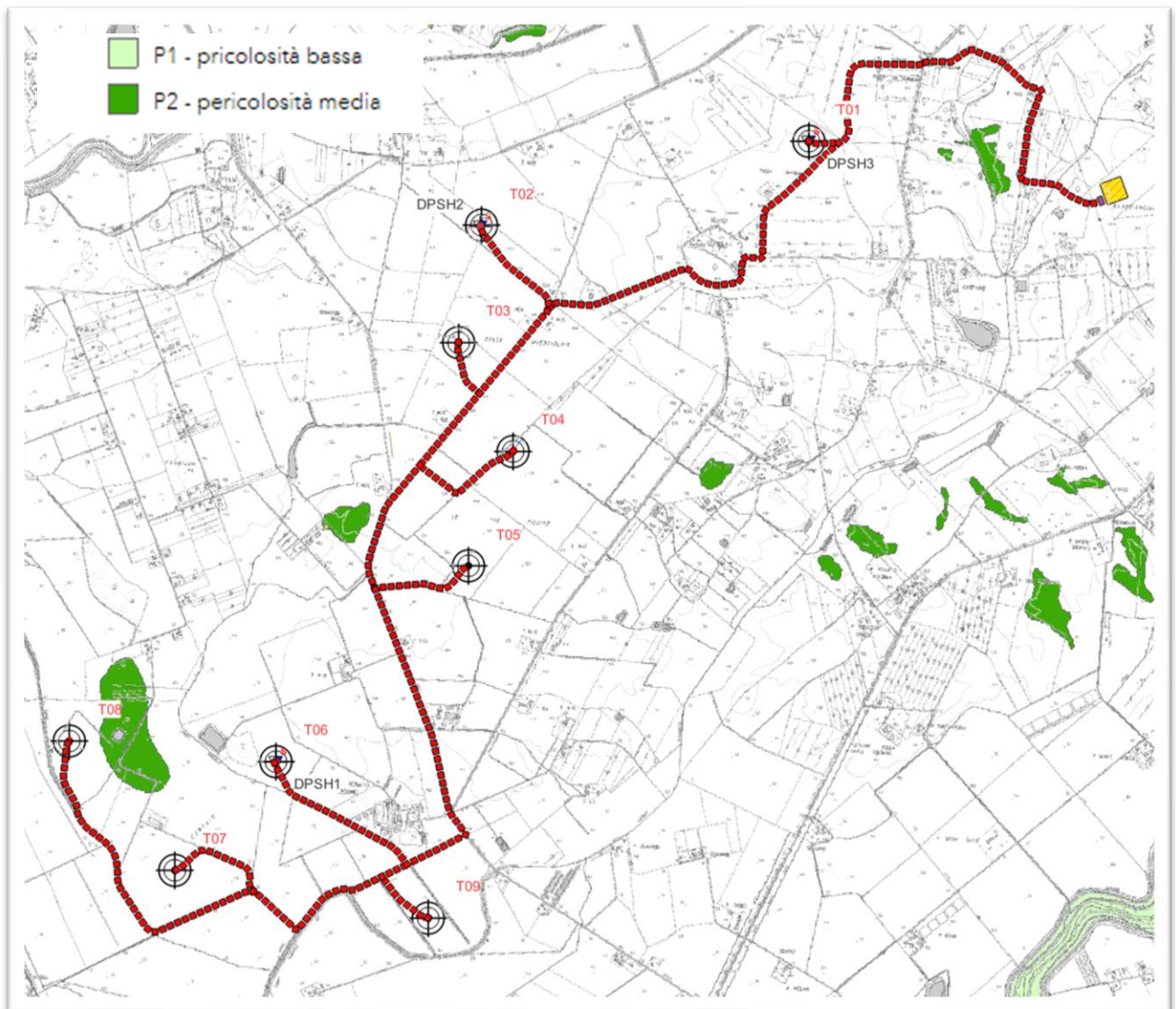


Stralcio della Carta Geologica.

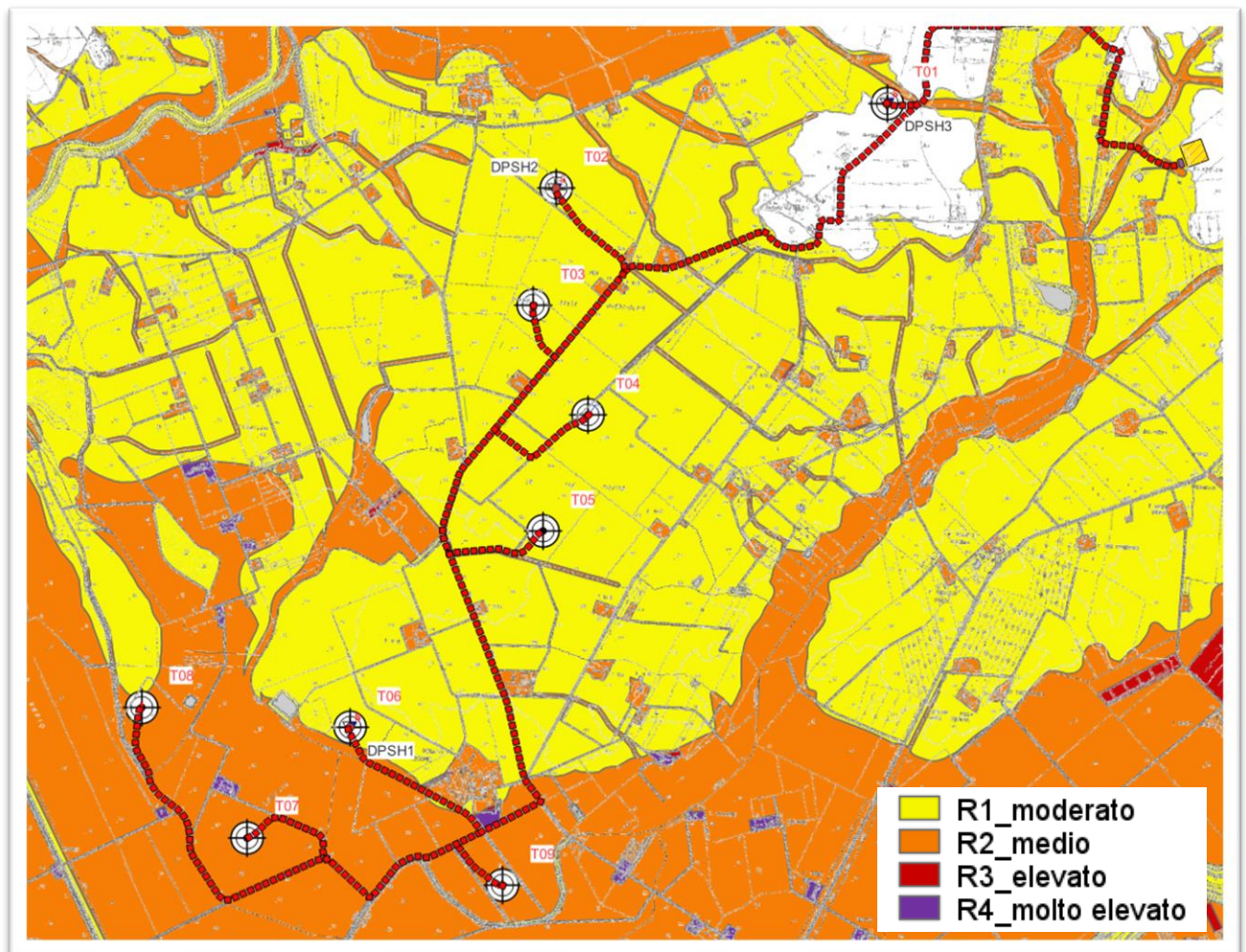
4. ANALISI DEI VINCOLI GEOLOGICO-AMBIENTALI

-Vincoli P.A.I. (Autorità di Bacino Distrettuale Settentrionale Bacino della toscana)

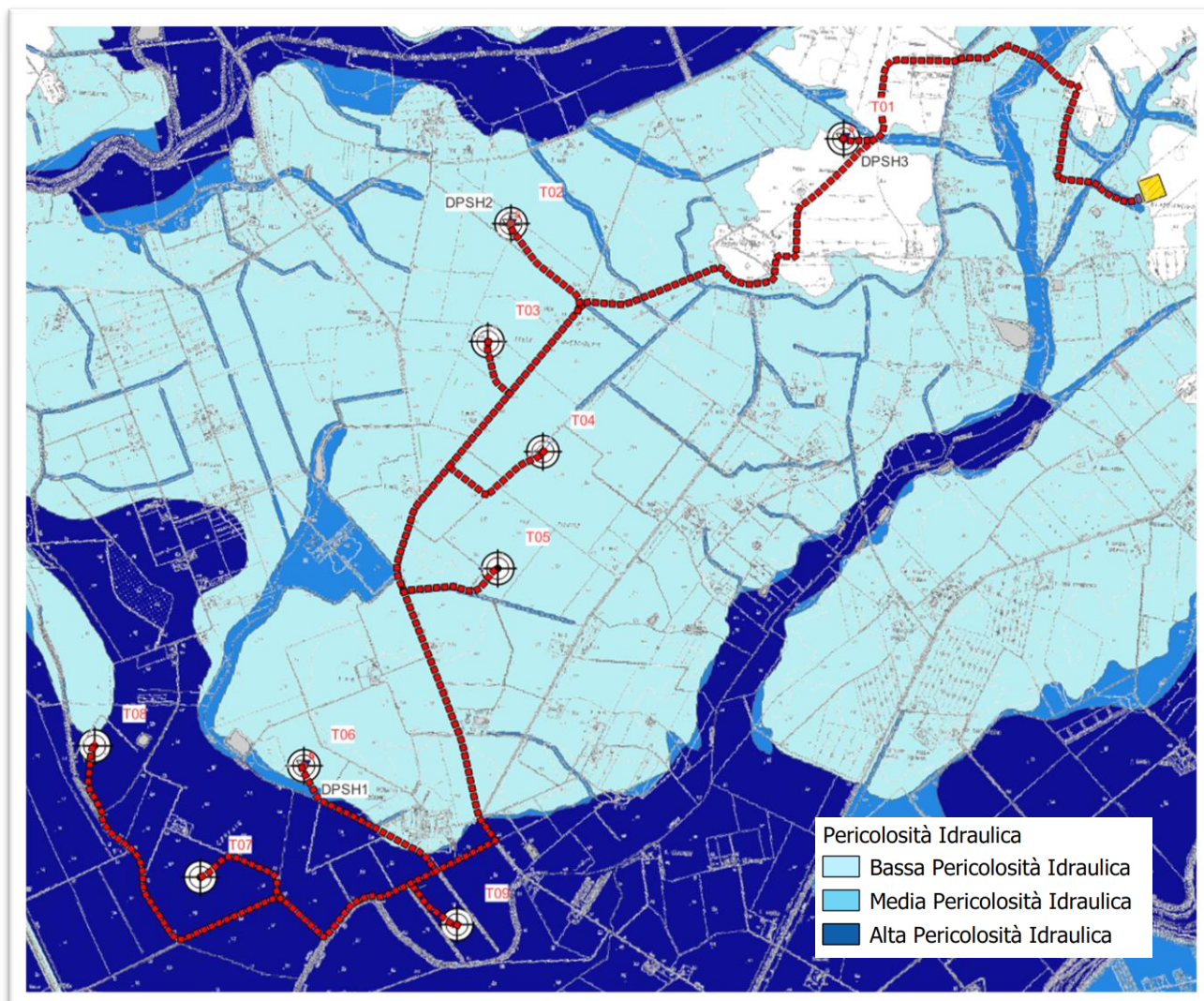
Dall'esame della cartografia del Piano Stralcio per la Difesa dal Rischio Idrogeologico (PAI) redatto dall'Autorità di Bacino distrettuale dell'Appennino Settentrionale bacini della Toscana, le opere previste in progetto quali aerogeneratori, strade e cavidotto e sottostazione non ricade in areali di Pericolosità e Rischio Geomorfologico. In merito al rischio alluvioni gli erogeneratori T07, T08 e T09 ricadono in aree a pericolosità idraulica elevata e rischio medio, gli aerogeneratori T02, T03, T04 T05 e T06 in aree a pericolosità idraulica media e rischio moderato, mentre l'aerogeneratore T01 non rientra in areali classificati a rischio e a pericolosità idraulica.



Stralcio della Carta dei dissesti geomorfologici del P.A.I. dell'AdB distrettuale dell'Appennino settentrionale.



Stralcio della Carta del rischio idraulico del P.A.I. dell'AdB distrettuale dell'Appennino Settentrionale .



Stralcio della Carta della pericolosità idraulica del P.A.I. dell'AdB distrettuale dell'Appennino Settentrionale

Dalla consultazione dell'Art. 5 delle NTA del PAI *Aree a pericolosità idraulica molto elevata* (P.I.M.E.) (i.v.) si evince che in queste aree è consentita *la realizzazione di nuove opere e infrastrutture pubbliche o di interesse pubbliche non diversamente localizzabili, purché siano realizzate in condizioni di sicurezza idraulica per tempi di ritorno di 200 anni, non precludano la possibilità di attenuare o eliminare le cause che determinano le condizioni di rischio e non concorrano ad aumentare il rischio in altre aree. Quanto sopra deve risultare da idonei studi idrologici ed idraulici che dovranno attenersi ai criteri definiti dal Bacino, il quale si esprime sulla coerenza degli stessi con gli obiettivi e gli indirizzi del presente Piano e dei propri atti di pianificazione, ed ove positivamente valutati costituiscono implementazione del quadro conoscitivo del presente Piano;*

L'Art. 5 delle NTA del PAI che norma le **Aree a pericolosità idraulica elevata** consente in queste aree la realizzazione di nuovi interventi pubblici o privati, previsti dai vigenti strumenti di governo del territorio alla data di entrata in vigore del presente Piano, fatto salvo quanto previsto al successivo comma 8, è subordinata alla preventiva o contestuale esecuzione di interventi di messa in sicurezza per eventi con tempo di ritorno di 200 anni. Gli interventi, definiti sulla base di idonei studi idrologici e idraulici, tenendo anche conto del reticolo di acque superficiali di riferimento del presente P.A.I., non devono aumentare il livello di rischio in altre aree con riferimento anche agli effetti dell'eventuale incremento dei picchi di piena a valle.

5. INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO E IDROGEOLOGICO

I caratteri geomorfologici di tale area sono chiaramente legati sia ai caratteri della successione litostratigrafica ivi affiorante che all'azione modellatrice dei corsi d'acqua che solcano il territorio.

Il parco eolico verrà realizzato nel territorio comunale di Osu un area pianeggiante caratterizzata da una pendenza media di circa 1°.

Nell'area affiorano i depositi conglomeratici seguiti dai depositi sabbiosi, questa eterogeneità dei terreni influenza anche il reticolo idrografico, infatti, data bassa pendenza il reticolo idrografico risulta essere poco sviluppato, le aste sono rettilinee ed essendo l'area interessata da colture intensive, parte dei vecchi canali sono stati bonificati e le acque coinvolgiate all'interno di canali artificiali.

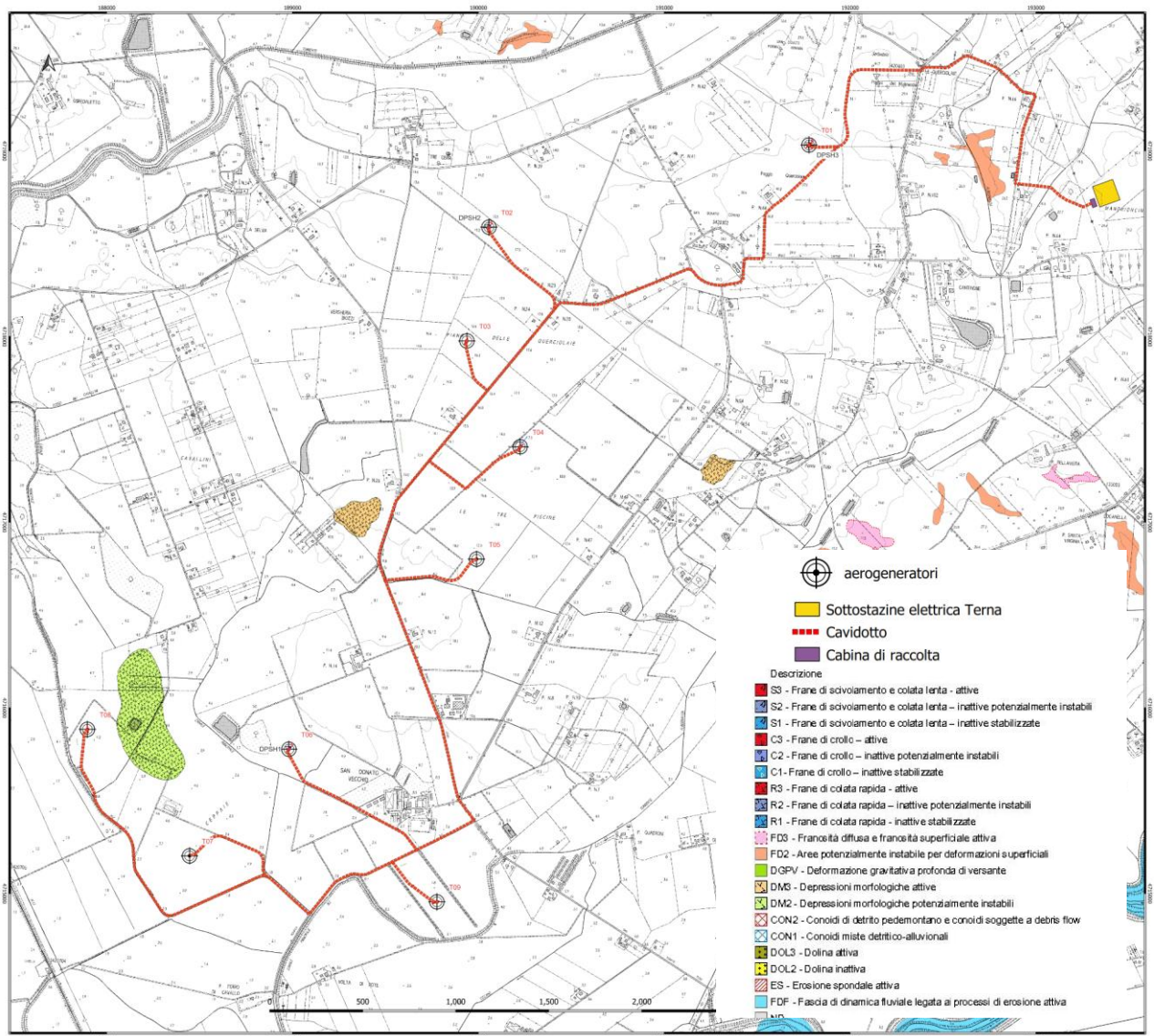
Dal punto di vista idrogeologico i terreni affioranti mostrano un comportamento differente, infatti, i depositi conglomeratici e sabbiosi presentano una alta permeabilità primaria e quindi si comportano come acquifero ovvero come rocce capaci di immagazzinare acqua al loro interno, mentre la presenza di livelli di spessore decimetrico di natura limosa presenti all'interno dei terreni sopraindicati limita il passaggio delle acque verso il basso dando origine ad acquiferi discontinui e stagionali.

**IMPIANTO DI PRODUZIONE DI ENERGIA ELETTRICA DA FONTE EOLICA
 "ORBETELLO" DI POTENZA IN IMMISSIONE MASSIMA PARI A 61,2 MW E RELATIVE
 OPERE CONNESSE DA REALIZZARSI NEL COMUNE DI ORBETELLO (GR) RELAZIONE
 GEOLOGICA**

DATA:

NOVEMBRE 2022

Pag. 15 di 35



6. IDROLOGIA E IDROGEOLOGIA DELL'AREA

Sulla base dei caratteri idrogeologici dei terreni è stato possibile redigere una carta che distingue i terreni affioranti nell'area in due principali complessi:

- **Complesso Sabbioso-Conglomeratico:** composto principalmente sabbie rosse grossolane con all'interno ciottoli poligenici eterometrici, questo complesso è contraddistinto da una permeabilità primaria alta strettamente legata alla granulometria ed alla elevata presenza di vuoti all'interno dei depositi ed un coefficiente $K = 10^{-2}$.
- **Complesso Limoso:** composto da limosi a volte torbosi, dal punto di vista idrogeologico questi depositi presentano una permeabilità primaria variabile da media a bassa con un coefficiente K compreso tra 10^{-5} e 10^{-7} .

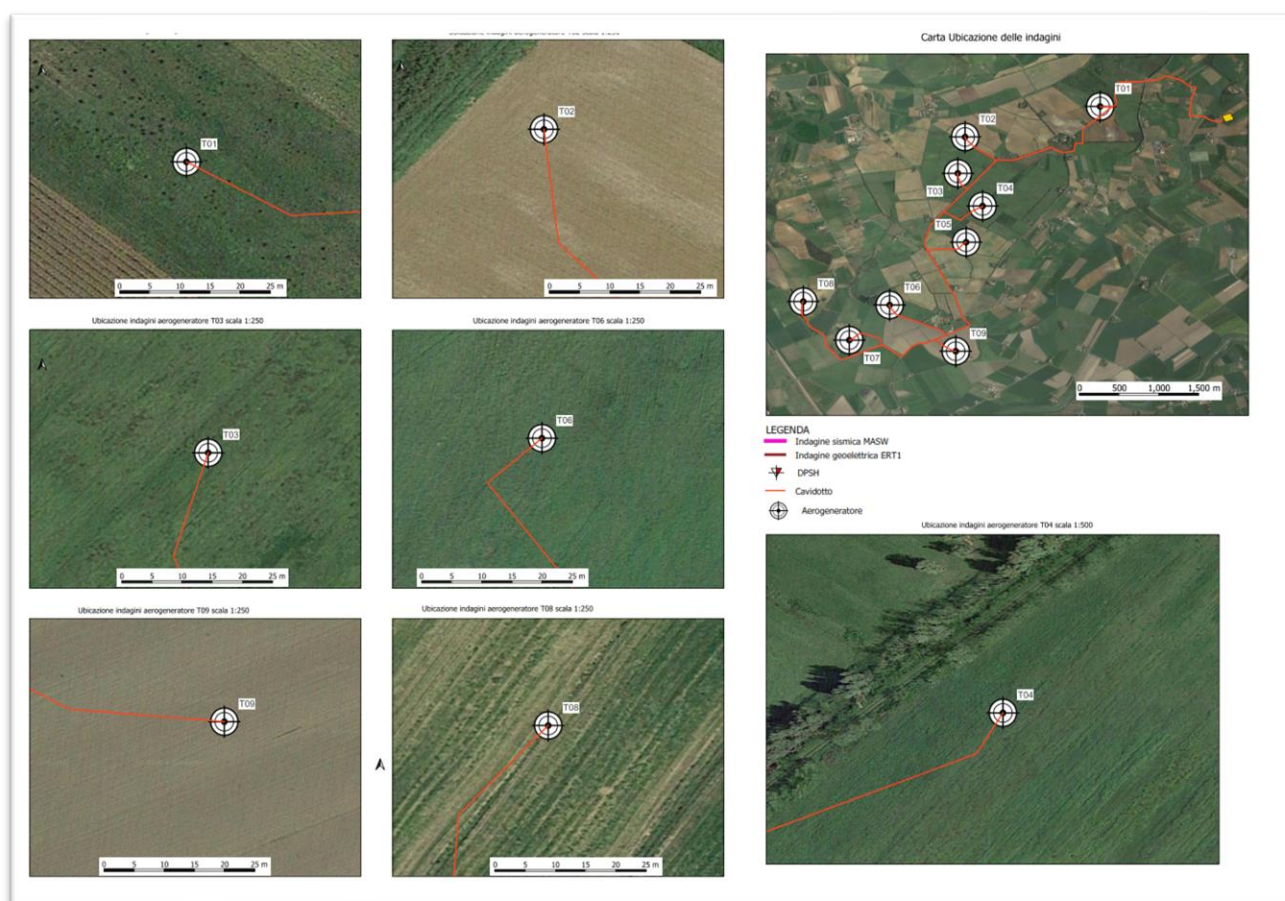
Nell'area sono presenti pozzi, infatti, sono presenti diversi pozzi per l'utilizzo delle acque che mostrano la presenza della falda compresa tra -7.50 e -10.00 m dal p.c..

7. INDAGINI GEOGNOSTICHE E GEOFISICHE

Al fine di ricostruire il modello geologico tecnico e l'assetto litostratigrafico dell'area di sedime degli aerogeneratori sono state eseguite le seguenti indagini:

- Esecuzione di n° 5 MASW;
- Esecuzione di n° 1 Indagine di Tomografia elettrica ERT;
- Esecuzione di n° 3 prove penetrometriche dinamiche continue DPSH.

Per maggiore chiarezza, le indagini sono state suddivise per torri in modo da ricostruire e caratterizzare in modo puntuale i terreni di fondazione al di sotto dei futuri aerogeneratori.



Carta dell'Ubicazione delle indagini

STENDIMENTI SISMICI MASW

Al fine di caratterizzare dal punto di vista sismico i terreni interessati dalle opere in progetto sono stati eseguiti 5 stendimenti sismici tipo MASW così come indicato nella seguente tabella riassuntiva in cui si riporta anche la velocità VS30 relativa allo stendimento.

Stendimento sismico	Aerogeneratore	VS30 m/s
MASW01	T04	367
MASW 02	T09	413
MASW03	T08	391
MASW04	T01	376
MASW05	T03	373

La MASW classica/standard consiste nella registrazione della propagazione di una classe di onde di superficie (specificatamente delle onde di Rayleigh). Più in dettaglio, le onde di Rayleigh vengono generate da una sorgente ad impatto verticale (in genere mediante massa battente del peso di 10 Kg su piastra in alluminio) o da un cannoncino sismico e vengono poi registrate tramite geofoni a componente verticale a frequenza propria di 4.5 Hz.

Più specificatamente si analizza la dispersione delle onde di superficie sapendo che frequenze diverse - e quindi lunghezze d'onda diverse - viaggiano a velocità diversa. Il principio di base quindi è piuttosto semplice: le varie componenti (frequenze) del segnale (cioè della perturbazione sismica che si propaga) viaggiano ad una velocità che dipende dalle caratteristiche del mezzo.

In particolare, le lunghezze d'onda più ampie (cioè le frequenze più basse) sono influenzate dalla parte più profonda (in altri termini "sentono" gli strati più profondi), mentre le piccole lunghezze d'onda (le frequenze più alte) dipendono dalle caratteristiche della parte più superficiale.

Poiché tipicamente la velocità delle onde sismiche aumenta con la profondità, ciò si rifletterà nel fatto che le frequenze più basse (delle onde di superficie) viaggeranno ad una velocità maggiore rispetto le frequenze più alte.

STENDIMENTO SISMICO MASW 1(T04)

Lo stendimento sismico denominato MASW01 è stato eseguito in corrispondenza dell'aerogeneratore T04, di seguito si riporta il modello sismico del terreno ricavato in corrispondenza dell'area di fondazione:



Fase di acquisizione e elaborazione della Masw 1

La stratigrafia del sottosuolo può essere assimilata ad un modello costituito da tre sismostrati in cui:

- Il primo sismostrato presenta uno spessore di circa 2.0m, con velocità media delle onde di taglio di 154 m/s e corrisponde depositi poco consistenti/addensati con scarse caratteristiche geotecniche;
- Il secondo sismostrato presenta uno spessore di circa 7.9m, con velocità media delle onde di taglio di 262 m/s e corrisponde a depositi consistenti/addensati con buone caratteristiche geotecniche;
- Il terzo sismostrato, che si rinviene a profondità maggiori di 9.9m dal p.c. e fino alla profondità di investigazione, superiore ai 30 m di profondità, presenta velocità V_s media di 522m/s.

Rispetto alle norme tecniche per le costruzioni (DM 17 gennaio 2018) il sito in esame ha una V_{s30} di 367 m/s poiché non è stata riscontrata la presenza del substrato sismico ovvero di terreni con una velocità > di 800 m/s, rientra nella categoria B.

STENDIMENTO SISMICO MASW 2(T09)

Lo stendimento sismico denominato MASW02 è stato eseguito in corrispondenza dell'aerogeneratore T09, di seguito si riporta il modello sismico del terreno ricavato in corrispondenza dell'area di fondazione:



Fase di acquisizione e elaborazione della Masw 2

La stratigrafia del sottosuolo può essere assimilata ad un modello costituito da tre sismostrati in cui:

- Il primo sismostrato presenta uno spessore di circa 1.8m, con velocità media delle onde di taglio di 156 m/s e corrisponde depositi poco consistenti/addensati con scarse caratteristiche geotecniche;
- Il secondo sismostrato presenta uno spessore di circa 8.7m, con velocità media delle onde di taglio di 255 m/s e corrisponde a depositi consistenti/addensati con buone caratteristiche geotecniche;
- Il terzo sismostrato, che si rinviene a profondità maggiori di 10.5m dal p.c. e fino alla profondità di investigazione, superiore ai 30 m di profondità, presenta velocità V_s media di 723m/s.

Rispetto alle norme tecniche per le costruzioni (DM 17 gennaio 2018) il sito in esame ha una Vs30 di 413 m/s poiché non è stata riscontrata la presenza del substrato sismico ovvero di terreni con una velocità > di 800 m/s, rientra nella categoria B.

STENDIMENTO SISMICO MASW 3(T08)

Lo stendimento sismico denominato MASW03 è stato eseguito in corrispondenza dell'aerogeneratore T08, di seguito si riporta il modello sismico del terreno ricavato in corrispondenza dell'area di fondazione:



Fase di acquisizione e elaborazione della Masw 3

La stratigrafia del sottosuolo può essere assimilata ad un modello costituito da tre sismostrati in cui:

- Il primo sismostrato presenta uno spessore di circa 1.9m, con velocità media delle onde di taglio di 162 m/s e corrisponde depositi poco consistenti/addensati con scarse caratteristiche geotecniche;
- Il secondo sismostrato presenta uno spessore di circa 7.0m, con velocità media delle onde di taglio di 262 m/s e corrisponde a depositi consistenti/addensati con buone caratteristiche geotecniche;

- Il terzo sismostrato, che si rinviene a profondità maggiori di 8.9m dal p.c. e fino alla profondità di investigazione, superiore ai 30 m di profondità, presenta velocità V_s media di 553m/s.

Rispetto alle norme tecniche per le costruzioni (DM 17 gennaio 2018) il sito in esame ha una V_{s30} di 391 m/s poiché non è stata riscontrata la presenza del substrato sismico ovvero di terreni con una velocità $>$ di 800 m/s, rientra nella categoria B.

STENDIMENTO SISMICO MASW 4(T01)

Lo stendimento sismico denominato MASW04 è stato eseguito in corrispondenza dell'aerogeneratore T01, di seguito si riporta il modello sismico del terreno ricavato in corrispondenza dell'area di fondazione:



Fase di acquisizione e elaborazione della Masw 4

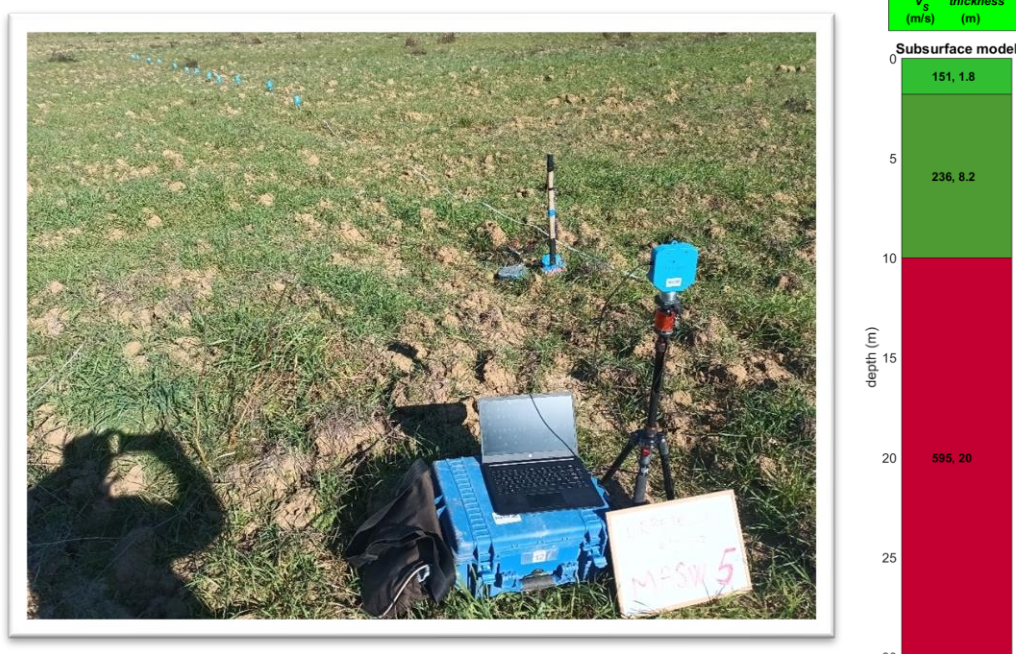
La stratigrafia del sottosuolo può essere assimilata ad un modello costituito da tre sismostrati in cui:

- Il primo sismostrato presenta uno spessore di circa 1.9m, con velocità media delle onde di taglio di 157 m/s e corrisponde depositi poco consistenti/addensati con scarse caratteristiche geotecniche;
- Il secondo sismostrato presenta uno spessore di circa 7.3m, con velocità media delle onde di taglio di 281 m/s e corrisponde a depositi consistenti/addensati con buone caratteristiche geotecniche;
- Il terzo sismostrato, che si rinviene a profondità maggiori di 9.2m dal p.c. e fino alla profondità di investigazione, superiore ai 30 m di profondità, presenta velocità V_s media di 504m/s.

Rispetto alle norme tecniche per le costruzioni (DM 17 gennaio 2018) il sito in esame ha una V_{s30} di 376 m/s poiché non è stata riscontrata la presenza del substrato sismico ovvero di terreni con una velocità $>$ di 800 m/s, rientra nella categoria B.

STENDIMENTO SISMICO MASW 5(T03)

Lo stendimento sismico denominato MASW05 è stato eseguito in corrispondenza dell'aerogeneratore T03, di seguito si riporta il modello sismico del terreno ricavato in corrispondenza dell'area di fondazione:



Fase di acquisizione e elaborazione della Masw 5

La stratigrafia del sottosuolo può essere assimilata ad un modello costituito da tre sismostrati in cui:

- Il primo sismostrato presenta uno spessore di circa 1.8m, con velocità media delle onde di taglio di 151 m/s e corrisponde depositi poco consistenti/addensati con scarse caratteristiche geotecniche;
- Il secondo sismostrato presenta uno spessore di circa 8.2m, con velocità media delle onde di taglio di 236 m/s e corrisponde a depositi consistenti/addensati con buone caratteristiche geotecniche;
- Il terzo sismostrato, che si rinviene a profondità maggiori di 10m dal p.c. e fino alla profondità di investigazione, superiore ai 30 m di profondità, presenta velocità V_s media di 595m/s.

Rispetto alle norme tecniche per le costruzioni (DM 17 gennaio 2018) il sito in esame ha una V_{s30} di **373** m/s poiché non è stata riscontrata la presenza del substrato sismico ovvero di terreni con una velocità $>$ di 800 m/s, rientra nella **categoria B**.

PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE DPSH

Le Prove Penetrometriche Dinamiche sono molto diffuse ed utilizzate nel territorio da geologi e geotecnici, data la loro semplicità esecutiva e rapidità di esecuzione.

La loro elaborazione, interpretazione e visualizzazione grafica consente di “catalogare e parametrizzare” il suolo attraversato con un’immagine in continuo, che permette anche di avere un raffronto sulle consistenze dei vari livelli attraversati e una correlazione diretta con sondaggi geognostici per la caratterizzazione stratigrafica.

La sonda penetrometrica permette inoltre di riconoscere abbastanza precisamente lo spessore delle coltri sul substrato, la quota di eventuali falde e superfici di rottura sui pendii, e la consistenza in generale del terreno.

L’utilizzo dei dati, ricavati da correlazioni indirette e facendo riferimento a vari autori, dovrà comunque essere trattato con le opportune cautele e, possibilmente, dopo esperienze geologiche acquisite in zona.

Elementi caratteristici del penetrometro dinamico sono i seguenti:

- peso massa battente M
- altezza libera caduta H
- punta conica: diametro base cono D, area base A (angolo di apertura α)
- avanzamento (penetrazione) δ

Le elaborazioni sono state effettuate mediante un programma di calcolo automatico Dynamic Probing della GeoStru Software.

Nei pressi dell’area di sedime degli aerogeneratori sono state eseguite 3 prove penetrometriche dinamiche per testare la consistenza dei terreni. Le prove hanno investigato il terreno per una profondità variabile tra -9.00 (DPSH3) e -4.40 m (DPSH2) prima di raggiungere il rifiuto ovvero di registrare un numero di colpi pari a 50 per un avanzamento inferiore a 20cm. Di seguito si riporta l’elaborazione delle prove.

Prova	Aerogeneratore	Profondità	Litologia
DPSH1	T06	-8.40 m	Limi argillosi
DPSH2	T02	-4.40 m	Sabbie
DPSH3	T01	-9.00 m	Sabbie

**IMPIANTO DI PRODUZIONE DI ENERGIA ELETTRICA DA FONTE EOLICA
"ORBETELLO" DI POTENZA IN IMMISSIONE MASSIMA PARI A 61,2 MW E RELATIVE
OPERE CONNESSE DA REALIZZARSI NEL COMUNE DI ORBETELLO (GR) RELAZIONE
GEOLOGICA**

DATA:
NOVEMBRE 2022
Pag. 27 di 35

Engineering Geology s.r.l.
Via del Gallitello 90/A
Tel. 0971.26378 - Fax 0971.1940737
85100 Potenza

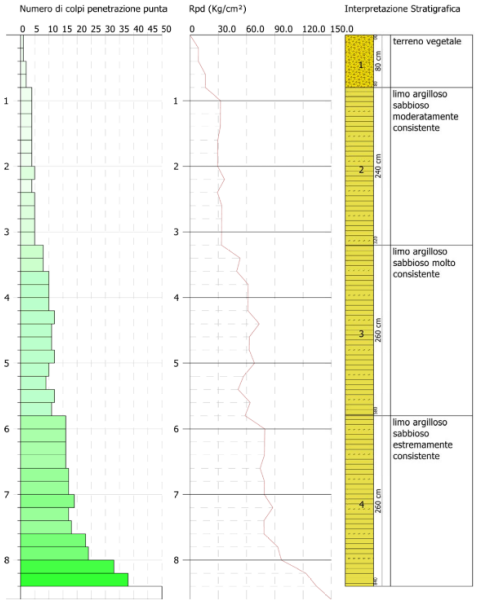


PROVA PENETROMETRICA DINAMICA DPSH1
Strumento utilizzato... DPSH TG 63-200 PAGANI

Committente: F4 Ingegneria
Descrizione: Parco Eolico
Località: Orbetello (GR)

08-02-2023

Scala 1:43



Engineering Geology s.r.l.
Via del Gallitello 90/A
Tel. 0971.26378 - Fax 0971.1940737
85100 Potenza

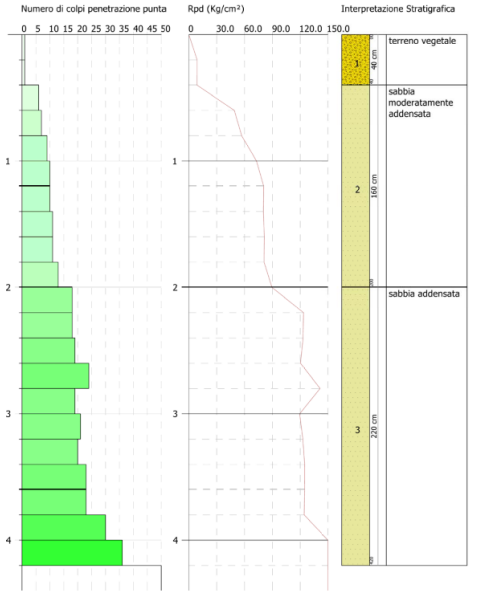


PROVA PENETROMETRICA DINAMICA DPSH2
Strumento utilizzato... DPSH TG 63-200 PAGANI

Committente: F4 Ingegneria
Descrizione: Parco Eolico
Località: Orbetello (GR)

08-03-2023

Scala 1:22



Grafici delle prove DPSH1 e DPSH2

Engineering Geology s.r.l.
Via del Gallitello 90/A
Tel. 0971.26378 - Fax 0971.1940737
85100 Potenza

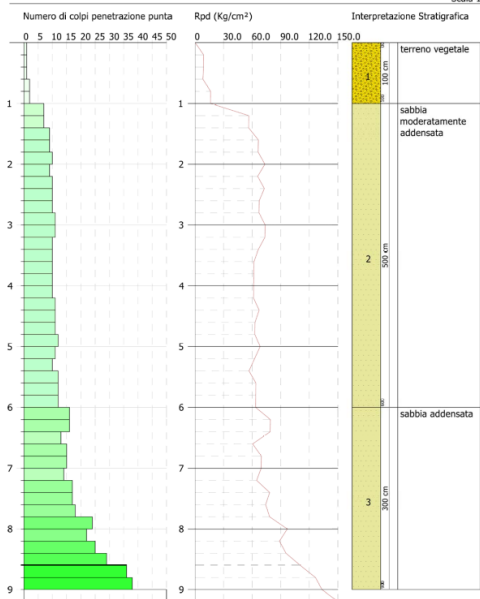


PROVA PENETROMETRICA DINAMICA DPSH3
Strumento utilizzato... DPSH TG 63-200 PAGANI

Committente: F4 Ingegneria
Descrizione: Parco Eolico
Località: Orbetello (GR)

08-02-2023

Scala 1:47



Grafici delle prove DPSH3

A seguito dell'elaborazione delle prove si è notato che al di sotto del terreno vegetale avente uno spessore medio di 0.80 cm è presente un livello di sabbie moderatamente addensata in corrispondenza delle prove DPSH2 e DPSH3 avente uno spessore compreso tra 1.60 m e 5.00 m, al di sotto del quale i depositi sabbiosi si presentano addensati fino al termine della prova.

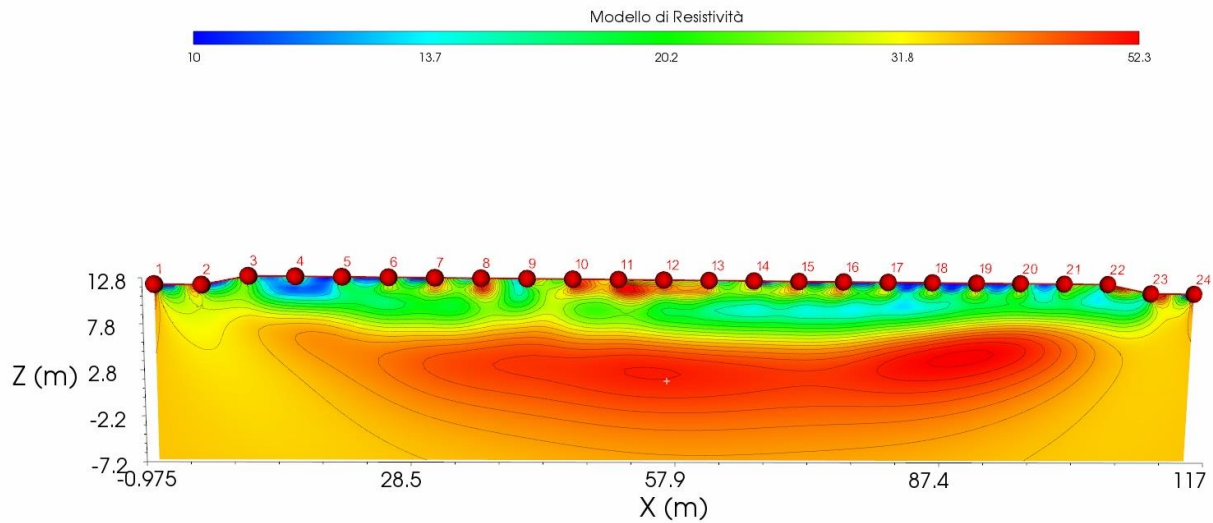
In corrispondenza della DPSH1, si nota un aumento del grado di addensamento con l'aumentare la profondità, infatti, al di sotto del terreno vegetale avente uno spessore di 0.80 cm si rinviene prima un livello moderatamente consistente avente uno spessore di 2.40 m, poi per 2.60 m un livello molto consistente ed infine fino al termine della prova un livello estremamente consistente.

TOMOGRAFIA GEOELETTRICA ERT

Lo scopo di tali indagini è stato quello di ricostruire, in base a valori di resistività apparente misurati in campagna, un modello di resistività del sottosuolo che possa ben rappresentare le caratteristiche litostratigrafiche della zona d'indagine fornendo indicazioni sulla struttura, porosità, contenuto in argilla e presenza di fluidi restituendo un'analisi ad alta risoluzione del sottosuolo nei punti in cui sono stati acquisiti i dati.

In campagna sono state acquisite esclusivamente misure di resistività, utili a mettere in evidenza sia le variazioni laterali entro un orizzonte di terreno, sia le variazioni con la profondità. Va specificato che non sempre le variazioni elettriche corrispondono a variazioni litostratigrafiche; la resistività è un parametro estremamente variabile in dipendenza di diversi fattori come la porosità, la presenza di fluidi, composizione mineralogica, grado di fratturazione, di saturazione e presenza di sostanze organiche, per cui le variazioni, anche nell'ambito di uno stesso litotipo, possono essere considerevoli. Il processo di inversione inoltre introduce delle incertezze che si ripercuotono nel modello di resistività. La tomografia acquisita deve essere interpretata inserendola nel contesto geologico, morfologico e geografico dell'area.

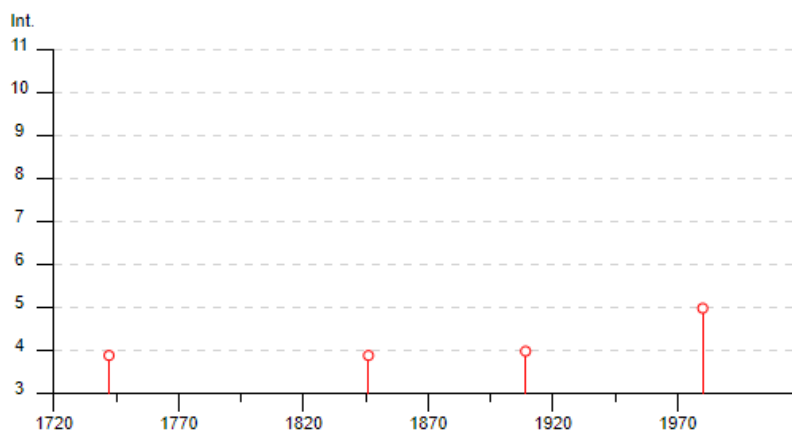
La tomografia geoelettrica denominata Tomo 1 è stata eseguita nei pressi dell'area di fondazione dell'aerogeneratore T04 ha uno sviluppo orizzontale di 117 metri, sono stati utilizzati 24 elettrodi con distanza interelettrodica di 5.0 metri e l'acquisizione è stata effettuata mediante la configurazione elettrodica tipo Wenner Schlumberger.



L' elettrosezione presenta valori di resistività compresi tra 10 – 52.3 Ω *m, a tale range di valori è stato assegnato una scala colorimetrica che presenta colori che vanno dal blu (valori più bassi di resistività) al rosso - viola (valori più alti di resistività). Si osservano bassi valori di resistività nel primo elettrostrato, tali valori, si trovano in un range di resistività compreso tra 10 e 20.2 Ω *m e sono ascrivibili a depositi poco resistivi di natura argilloso sabbiosa, eventualmente umidi, mentre, nell'elettrostrato sottostante, si osservano valori di resistività più alti, con intervalli di resistività che vanno da 20.2 a 52.3 Ω *m, ascrivibili a depositi maggiormente resistivi di natura sabbiosa limosa.

8 SISMICITA' DELL'AREA

L'area in oggetto è caratterizzata da un'attività sismica di energia da bassa a moderata. Dalla consultazione del Database Macrosismico Italiano DBMI15 è stata rilasciata a gennaio 2022 creato dal INGV, nell'area sono stati registrati 18 terremoti con una magnitudo con una intensità epicentrale variabile da 5 a 11 e un momento magnitudo compreso tra 4.44 e 7.08. Di seguito si riportano gli eventi catalogati e il grafico della distribuzione temporale della magnitudo.



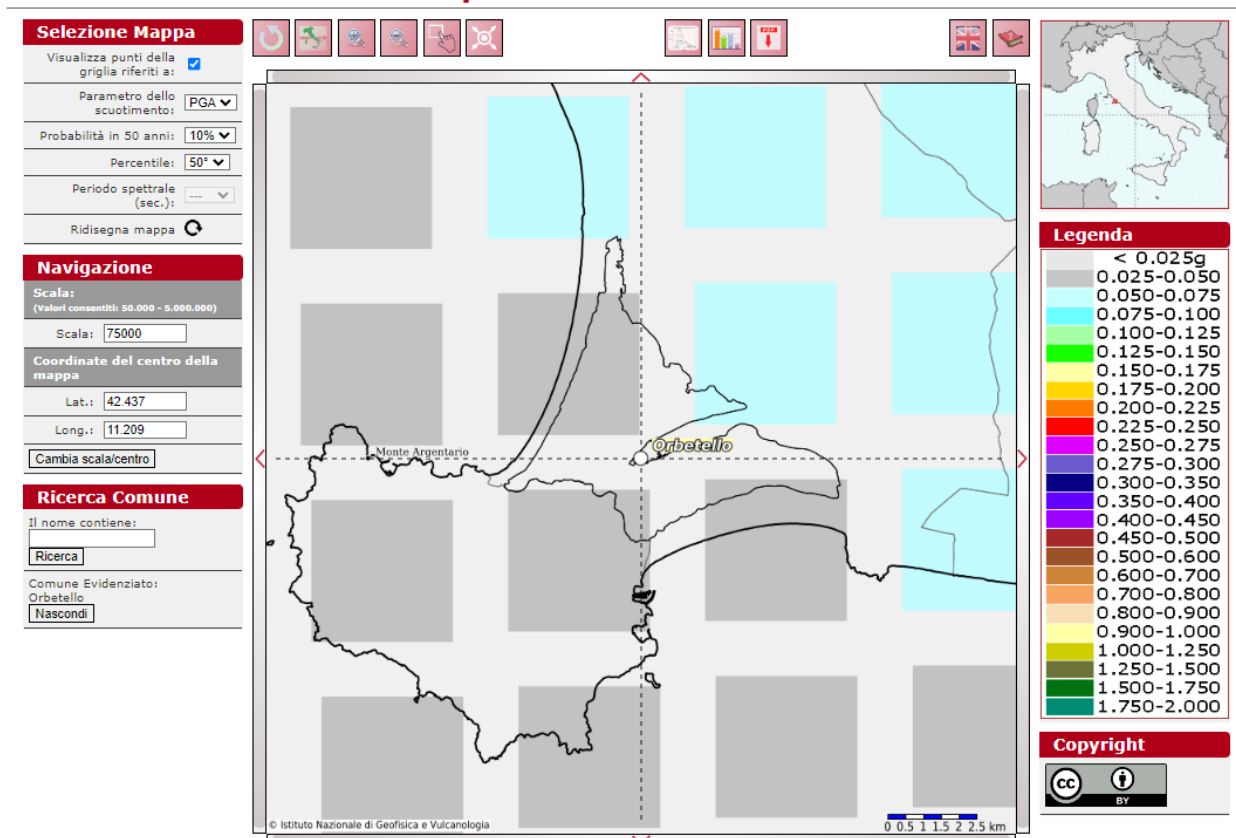
Effetti	In occasione del terremoto del									
Int.	Anno	Me	Gi	Ho	Mi	Se	Area epicentrale	NMDP	Io	Mw
F	1742	01	27	11	20		Livornese	16	6	4.87
F	1846	08	14	12			Colline Pisane	121	9	6.04
NF	1897	05	15	13	42	3	Tirreno meridionale	85	5	4.52
NF	1904	11	17	05	02		Pistoiese	204	7	5.10
NF	1905	02	12	08	28		Monte Amiata	61	6	4.55
NF	1909	01	13	00	45		Emilia Romagna orientale	867	6-7	5.36
4	1909	08	25	00	22		Crete Senesi	259	7-8	5.34
NF	1911	09	13	22	29	0	Chianti	115	7	5.08
NF	1915	01	13	06	52	4	Marsica	1041	11	7.08
NF	1919	06	29	15	06	1	Mugello	565	10	6.38
2	1919	09	10	16	57		Val di Paglia	67	7-8	5.36
NF	1919	10	22	06	10		Anzio	142	6-7	5.22
NF	1920	09	07	05	55	4	Garfagnana	750	10	6.53
NF	1940	10	16	13	17		Val di Paglia	106	7-8	5.29
2	1971	02	06	18	09		Tuscania	89	7-8	4.83
5	1980	09	08	19	41	1	Costa Grossetana	55	5-6	4.44
NF	1984	04	29	05	02	5	Umbria settentrionale	709	7	5.62
NF	1987	01	22	05	10	5	Costa pisano-livornese	157	5-6	4.15

Elenco dei terremoti che hanno interessato l'area in oggetto

In relazione alla relativa vicinanza di importanti strutture sismo genetiche attivate si frequentemente, soprattutto nella catena appenninica, le stime di pericolosità effettuate hanno fornito valori di accelerazioni di picco del suolo (PGA), con probabilità del 10% di essere superate in 50 anni, comprese tra 0.025 e 0.075 g.



Modello di pericolosità sismica MPS04-S1



9. CARATTERIZZAZIONE SISMICA

Il Decreto Ministeriale 17 gennaio 2018, recante “Norme Tecniche per le Costruzioni” (nel seguito indicate con NTC) raccoglie in forma unitaria le norme che disciplinano la progettazione, l’esecuzione ed il collaudo delle costruzioni al fine di garantire, per stabiliti livelli sicurezza, la pubblica incolumità. Le azioni sismiche di progetto, in base alle quali valutare il rispetto dei diversi stati limite considerati, si definiscono a partire dalla “pericolosità sismica di base” del sito di costruzione. Essa costituisce l’elemento di conoscenza primario per la determinazione delle azioni sismiche.

Per la definizione dell’azione sismica di un sito vengono utilizzate al meglio le possibilità offerte dalla definizione della pericolosità sismica italiana, recentemente prodotta e messa in rete dall’Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV).

L’azione sismica è ora valutata in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido a superficie orizzontale, riferendosi non ad una zona sismica territorialmente coincidente con più entità amministrative, ad un’unica forma spettrale e ad un periodo di ritorno prefissato ed uguale per tutte le costruzioni, come avveniva in precedenza, bensì sito per sito e costruzione per costruzione.

La pericolosità sismica di un sito è descritta dalla probabilità che, in un fissato lasso di tempo, in detto sito si verifichi un evento sismico di entità almeno pari ad un valore prefissato. Nelle NTC, tale lasso di tempo, espresso in anni, è denominato “periodo di riferimento” VR e la probabilità è denominata “probabilità di eccedenza o di superamento nel periodo di riferimento” R V P.

Ai fini della determinazione delle azioni sismiche di progetto nei modi previsti dalle NTC, la pericolosità sismica del territorio nazionale è definita convenzionalmente facendo riferimento ad un sito rigido (di categoria A) con superficie topografica orizzontale (di categoria T1), in condizioni di campo libero, cioè in assenza di manufatti.

La caratterizzazione sismica del sottosuolo eseguita con le indagini sismiche di tipo MASW che hanno permesso di definire il terreno di fondazione degli aerogeneratori e il comportamento in condizioni dinamiche.

A seguito dell’elaborazione delle indagini sismiche i terreni investigati hanno mostrato che i terreni investigati ricadono all’interno della Categoria sismica B con una leggera differenza delle Vs30 registrate, infatti, la MASW1 ha registrato una velocità pari a 367 m/s, mentre la Vs30 registrata dalla MASW 2 è pari a 413.

Ai fini delle NTC le forme spettrali sono definite, per ciascuna delle probabilità di superamento nel periodo di riferimento, a partire dai valori dei seguenti parametri su sito di riferimento rigido orizzontale:

- **Ag** accelerazione orizzontale massima al sito;
- **F₀** 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.

Di seguito sono forniti i valori di a_g , F_0 e T_{c^*} nonché lo spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti verticali e orizzontali, necessari per la determinazione delle azioni sismiche:

Litologia prevalente: **Sabbie e limi** Classe d'uso: **2**

Vita Nominale: **50 anni** Categoria topografica: **T1**

Periodo di riferimento: **100 anni** Categoria di Sottosuolo: **B**

	Probab. Sup. (%)	TR (anni)	a_g (g)	F_0	T_{c^*} (s)
SLO	81	60	0,031	2,687	0,212
SLD	63	101	0,036	2,705	0,245
SLV	10	949	0,062	2,861	0,307
SLC	5	1950	0,071	2,950	0,319

$$a_{gmax} = S_s * S_t * a_g \quad S_s = 1,200 \quad S_t = 1,000 \quad a_g = 0,062$$

$$a_{gmax} = \mathbf{0.074}$$

con **$K_h = 0.028$** (coeff. azione sismica orizzontale) **$K_v = 0.014$** (coeff. azione sismica verticale)

10 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

Sulla base delle indagini precedentemente elencate è stato possibile caratterizzare dal punto di vista geotecnico i terreni affioranti nell'area attribuendo i valori delle proprietà fisico-meccaniche che meglio ne descrivono il comportamento globale.

Si ricorda che non sono stati assegnati parametri geotecnici alla copertura vegetale in quanto non utilizzabile ai fini fondali.

Il sottosuolo può pertanto considerarsi costituito dalle seguenti unità geotecniche:

U.G.1 Sabbie e sabbie limose

Sabbie e sabbie limose di colore variabile dal marrone scuro al giallo con all'interno clasti arrotondati di colore nero. Il deposito si presenta nel complesso da moderatamente addensato ad addensato. Questi terreni si rinvencono in corrispondenza degli aerogeneratori T01, T02, T03, T04 e T05, mentre per la torre eolica T09, questi depositi si rinvencono al di sotto di un livello alluvione di spessore variabile da 3 a 5m.

Nella seguente tabella sono riportati i parametri geotecnici caratteristici che caratterizzano l'unità:

Parametri caratteristici

γ_n	φ'	c'
KN/m ³	°	KPa
20	29	0

U.G.2 Limi

Costituiti da limi, limi argillosi e sabbiosi talora torbosi. I depositi si presentano da poco consistenti nei primi metri a consistenti. Questi terreni si rinvencono in corrispondenza degli aerogeneratori T06, T07 e T08.

Nella seguente tabella sono riportati i parametri geotecnici caratteristici che caratterizzano l'unità:

Parametri caratteristici

γ_n	φ'	cu
KN/m ³	°	KPa
21	22.5	90

11. CAVIDOTTO

Il tracciato del cavidotto che collegherà il parco eolico alla sottostazione elettrica sita in località Mandrocino nel comune di orbetello si svilupperà per la maggior parte sulla viabilità esistente e per la restante parte ovvero, le strade di accesso agli aerogeneratori che saranno realizzate ex novo. La lunghezza del cavidotto è di circa 10 Km.

Da quanto emerso dal rilevamento geologico e geomorfologico il cavidotto si svilupperà su aree sub pianeggianti con pendenza di circa 1° ove non sono presenti movimenti franosi in atto o che si posano attivare a seguito della posa in opera dello stesso.

Dalla sovrapposizione degli areali a pericolosità geomorfologica redatti dall'Autorità di Bacino si è notato il cavidotto non attraverserà aree a rischio geomorfologico

Data la natura dei terreni, la posa in opera del cavidotto potrà essere eseguita con uno scavo utilizzando mezzi convenzionali.

IL GEOLOGO

Dott. Geol. Raffaele NARDONE