



Engineering & Construction



Via Napoli, 363/I - 70132 Bari - Italy
www.bfpgroup.net - info@bfpgroup.net
tel. (+39) 0805046361-fax (+39) 0805619384
UNI EN ISO 9001:2015 - UNI EN ISO

GRE CODE

GRE.EEC.R.25.IT.W.15001.00.082.00

PAGE

1 di/of 57

TITLE: RELAZIONE SISMICA E GEOTECNICA

AVAILABLE LANGUAGE: IT

RELAZIONE SISMICA E GEOTECNICA

CANDELA

File: GRE.EEC.R.25.IT.W.15001.00.082.00.docx

| REV. | DATE | DESCRIPTION | PREPARED | VERIFIED | APPROVED |
|------|------------|-----------------|--------------------|-----------------|--------------------|
| 00 | 18/12/2020 | Prima EMISSIONE | BFP Santopietro | BFP Biscotti | BFP Santopietro |

GRE VALIDATION

| | | |
|---------------|-------------|--------------|
| MIRRA | CIRILLO | TAMMA |
| COLLABORATORS | VERIFIED BY | VALIDATED BY |

PROJECT / PLANT

.....

GRE CODE

| GROUP | FUNCION | TYPE | ISSUER | COUNTRY | TEC | PLANT | SYSTEM | PROGRESSIVE | REVISION | | | | | | | | | | |
|-------|---------|------|--------|---------|-----|-------|--------|-------------|----------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| GRE | EEC | R | 2 | 5 | I | T | W | 1 | 5 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 8 | 2 | 0 | 0 |

CLASSIFICATION

UTILIZATION SCOPE

This document is property of Enel Green Power S.p.A. It is strictly forbidden to reproduce this document, in whole or in part, and to provide to others any related information without the previous written consent by Enel Green Power S.p.A.

INDICE

| | |
|--|----|
| 1. <u>PREMESSA</u> | 4 |
| 2. <u>INQUADRAMENTO GEOGRAFICO</u> | 6 |
| 3. <u>NORMATIVA DI RIFERIMENTO</u> | 8 |
| 4. <u>INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO DELL'AREA IN ESAME</u> | 8 |
| 4.1 Geologia del sito di progetto..... | 8 |
| 4.2 Inquadramento geomorfologico | 13 |
| 5. <u>INDAGINI EFFETTUATE IN SITO</u> | 17 |
| 5.1 Sondaggio geognostico..... | 18 |
| 5.2 Documentazione fotografica sondaggio a carotaggio continuo S1 | 21 |
| 5.3 Prelievo campioni geotecnici..... | 24 |
| 5.4 Prove Speditive | 24 |
| 5.5 Prove SPT..... | 24 |
| 5.6 Resistività termica | 25 |
| 5.7 Tomografia elettrica 2D (ERT) | 26 |
| 5.8 Resistività elettrica (SEV)..... | 27 |
| 5.9 Indagine sismica di tipo MASW | 28 |
| 5.10 Tomografia sismica a rifrazione (SRT)..... | 29 |
| 6. <u>RELAZIONI EMPIRICHE PER PARAMETRIZZAZIONE GEOTECNICA DEI TERRENI</u> | 31 |
| 7. <u>MODELLO GEOLOGICO TECNICO</u> | 32 |
| 8. <u>INQUADRAMENTO SISMICO</u> | 33 |
| 8.1 Sismicità storica | 34 |
| 8.2 Strutture Tettoniche attive..... | 37 |
| 8.3 Pericolosità sismica di base | 41 |
| 8.4 Caratterizzazione sismica..... | 43 |
| 9. <u>TRATTAZIONE TEORICA DEI CALCOLI GEOTECNICI</u> | 48 |
| 9.1 <u>NORMATIVA DI RIFERIMENTO</u> | 48 |
| 9.2 <u>CAPACITÀ PORTANTE DI FONDAZIONI SUPERFICIALI</u> | 48 |
| 9.3 <u>CAPACITÀ PORTANTE DI FONDAZIONI SU PALI</u> | 51 |
| 9.3.1 Q_{punta} : RESISTENZA ALLA PUNTA | 52 |
| 9.3.2 Q_{later} : RESISTENZA LATERALE | 53 |
| 9.4 <u>CAPACITÀ PORTANTE DELLE PLATEE</u> | 55 |
| 9.5 <u>CALCOLO DEI CEDIMENTI</u> | 56 |
| 10. <u>CONCLUSIONI</u> | 57 |

Indice delle figure

| | |
|---|----|
| <i>Figura 1: – Localizzazione dell’area di progetto.</i> | 4 |
| <i>Figura 2: – Stralcio aree perimetrare PAI Puglia (http://webgis.adb.puglia.it/gis/map_default.phtml)</i> | 7 |
| <i>Figura 3: – Sistema Catena-Fossa-Avampaese Apulo (Mastronuzzi e Sansò, 2002)</i> | 10 |
| <i>Figura 4: – Stralcio della Carta Geologica scala 1:100.000 Foglio n° 175 “Cerignola” con ubicazione dell’area di studio.</i> | 11 |
| <i>Figura 5: – Stralcio della litologia dell’area di studio (Carta Idrogeomorfologica: www.sit.puglia.it)</i> | 14 |
| <i>Figura 6: – Stralcio delle forme di modellamento di corso d’acqua nell’area di studio (Carta Idrogeomorfologica: www.sit.puglia.it)</i> | 16 |
| <i>Figura 7: – Stralcio delle forme di versante nell’area di studio (Carta Idrogeomorfologica: www.sit.puglia.it)</i> | 17 |
| <i>Figura 8: –Posizione indagini eseguite e aerogeneratori</i> | 17 |
| <i>Figura 9: –Ubicazioni indagini eseguite nell’area di studio</i> | 18 |
| <i>Figura 10: –Stratigrafia sondaggio S1</i> | 20 |
| <i>Figura 11: – Grafico resistività termica</i> | 26 |
| <i>Figura 12: – Tomografia elettrica ERT</i> | 27 |
| <i>Figura 13: – Acquisizione dati indagine SEV</i> | 28 |
| <i>Figura 14: – Risultati dell’indagine di tipo MASW</i> | 29 |
| <i>Figura 15: – Tomografia sismica SRT - Onde P</i> | 30 |
| <i>Figura 16: – Tomografia sismica SRT - Onde Sh</i> | 31 |
| <i>Figura 17: – Storia sismica del comune di Candela estrapolata dal Database Macrosismico Italiano 2015 dell'INGV. Alcuni effetti non sono esprimibili tramite scala MCS per cui vengono utilizzati codici alternativi come: F = avvertito (felt) in caso in cui si ritenga di escludere che si siano verificati danni ($3 \leq IMCS \leq 5$); NF = non avvertito (not felt) in presenza di segnalazione esplicita è equiparabile a $IMCS = 1$. figure a), b) e c)</i> | 35 |
| <i>Figura 18: – Intensità registrate in seguito al sisma del 1857 estratta dal Catalogo parametrico dei terremoti italiani 2015 (CPTI15) dell'INGV</i> | 36 |
| <i>Figura 19: – Lista degli eventi di $M \leq 5$ avvenuti dal 1985 ad oggi entro un raggio di 50 km dal Comune di Candela (FG) da INGV.</i> | 37 |
| <i>Figura 20: – Database Ithaca con individuazione delle strutture tettoniche attive in Italia (cerchio in rosso =area di studio)</i> | 38 |
| <i>Figura 21: – Database DISS 3.2.1 ubicazione delle sorgenti sismogenetiche più vicine all'area di studio (cerchio in rosso).</i> | 39 |
| <i>Figura 22: – Zonazione sismogenetica ZS9 con indicazione dell’area di studio (da www.ingv.it)</i> | 40 |
| <i>Figura 23: – Stralcio della classificazione sismica (2020)</i> | 41 |
| <i>Figura 24: – Mappa dell’accelerazione massima al suolo con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni riferita a suoli rigidi ($Vs30 > 800m/s$ Cat. A).</i> | 42 |

1. PREMESSA

Il presente rapporto è stato redatto a supporto del progetto per la realizzazione di un parco eolico proposto dalla società Enel Green Power S.p.A., nel comune di Candela (FG), costituito da 8 aerogeneratori.

Per tali aree, lo studio persegue il fine di fornire un panorama delle conoscenze del territorio ed effettuare una valutazione generale per la caratterizzazione dei terreni interessati dall'opera in oggetto.

Lo scopo del documento è quello di fornire i seguenti elementi:

- inquadramento geologico e geomorfologico dell'area di progetto;
- inquadramento sismico e caratterizzazione geotecnica preliminare dei terreni.

Ovviamente, il carattere preliminare del seguente lavoro richiederà una campagna di indagini dirette ed indirette puntuale e di dettaglio, da programmare ed effettuare nelle successive fasi di progettazione.

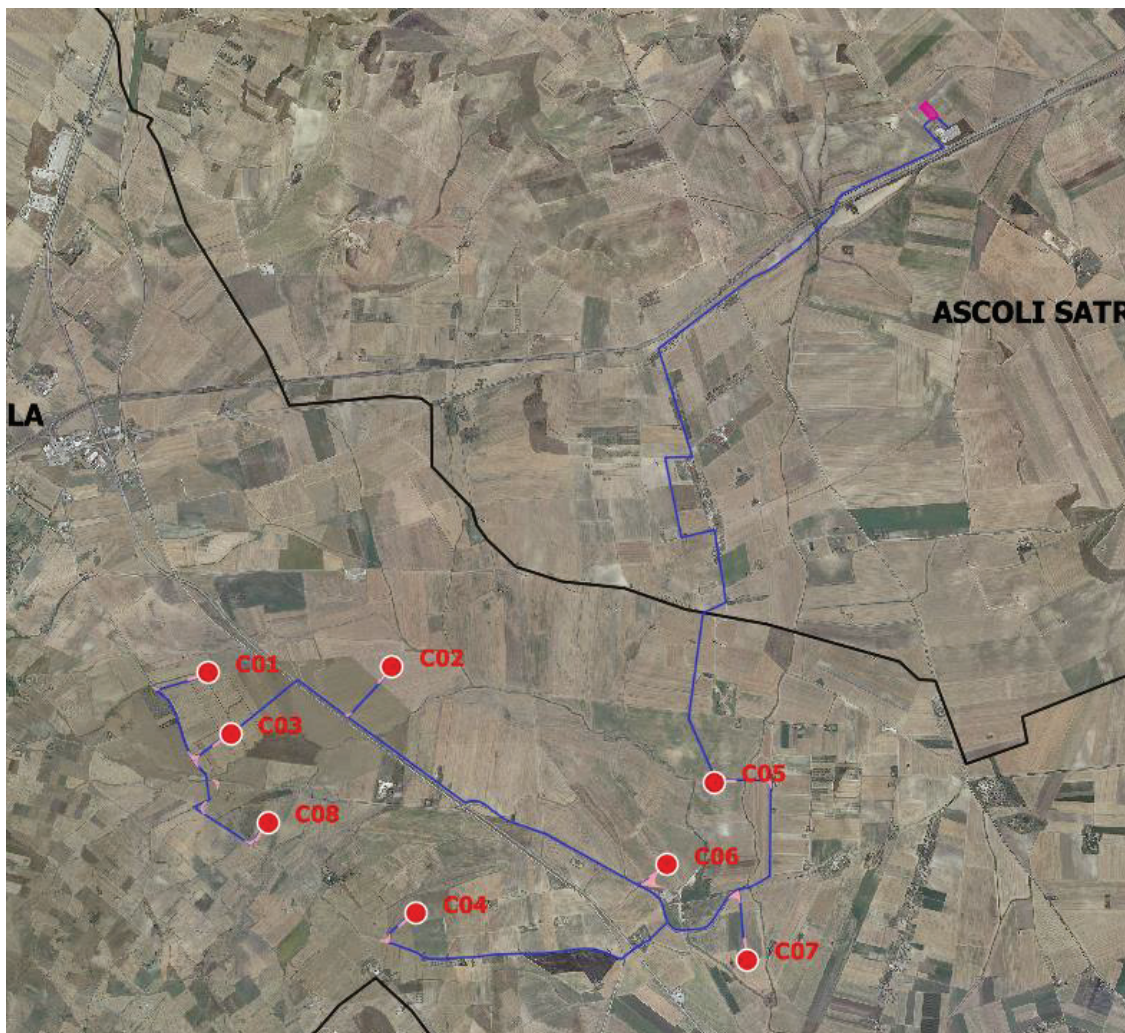


Figura 1: - Localizzazione dell'area di progetto.

Gli aerogeneratori di progetto sono tutti ubicati nel comune di Candela alle seguenti coordinate nel sistema di riferimento WGS84 – UTM zone 33N:

| N. WTG | E (m) | N (m) |
|---------------|------------------|-------------------|
| C01 | 545404.00 | 4553758.00 |
| C02 | 546910.00 | 4553809.00 |
| C03 | 545589.00 | 4553256.00 |
| C04 | 547103.00 | 4551786.00 |
| C05 | 549545.00 | 4552862.00 |
| C06 | 549159.00 | 4552183.00 |
| C07 | 549817.00 | 4551406.00 |
| C08 | 545891.00 | 4552530.00 |

Ad integrazione dello studio geologico, geomorfologico e sismico del terreno, oltre ai rilievi in campagna è stata eseguita una campagna di indagini in sito così articolata:

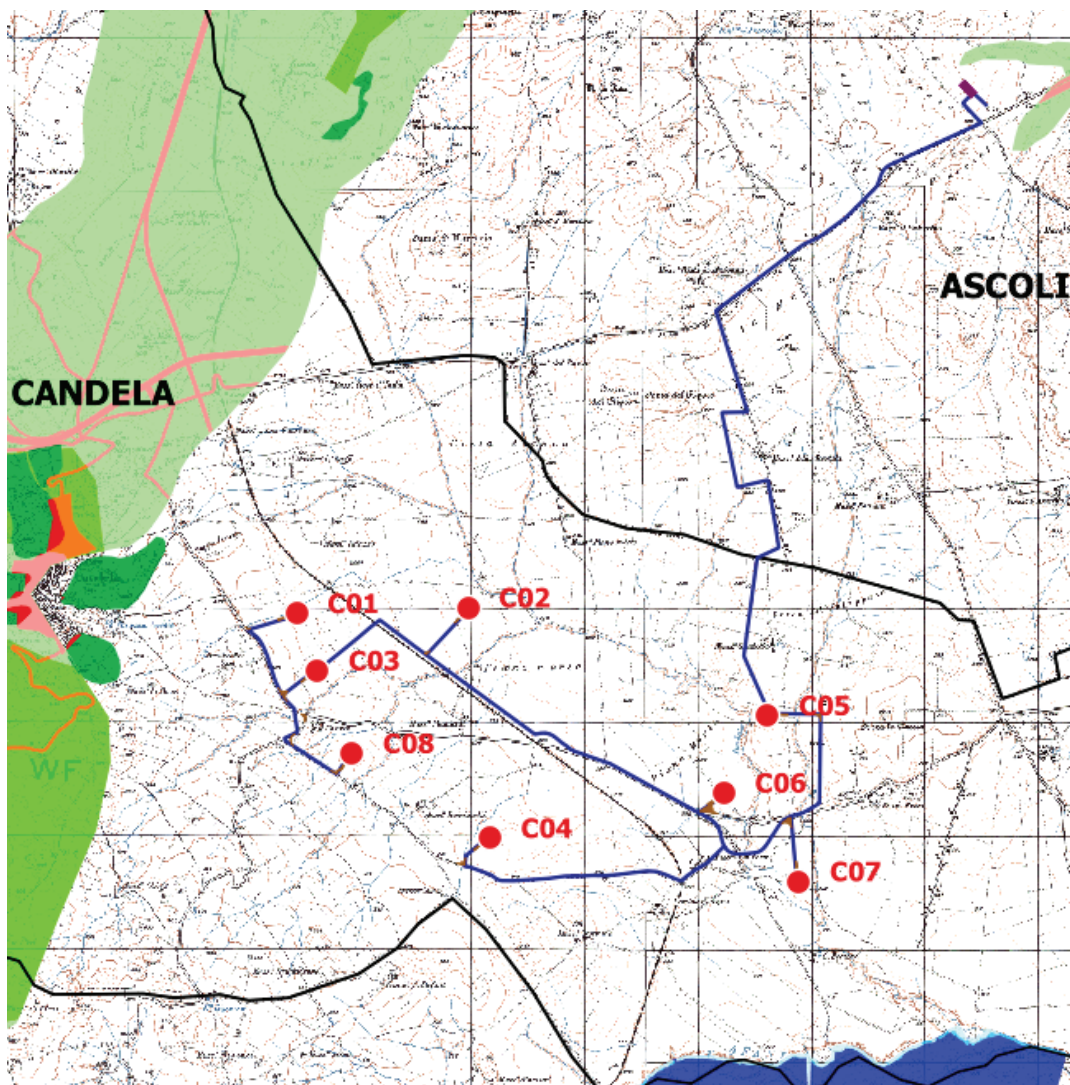
Indagini in sito

- n°1 sondaggio meccanico a carotaggio continuo alla profondità di 30 m nelle vicinanze della SP 97;
- n°2 campioni indisturbati;
- n° 35 misurazioni con Pocket Penetrometer;
- n° 35 prove scissometrica Vane Test;
- n°13 prove penetrometriche dinamiche tipo SPT;
- n°1 Resistività termica;
- n°1 Indagine sismica tipo MASW (Multichannel Analysis Surface Waves);
- n°1 Tomografia elettrica 2D (ERT - Electric Resistivity Tomography);
- n°1 Tomografia sismica a rifrazione (SRT - Seismic Refraction Tomography);
- n°1 Resistività elettrica (S.E.V.).


2. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO


L'area oggetto di studio ricade nel territorio comunale di Candela (FG), su un'area con morfologia sub-pianeggiante ubicata in località "Piano Morto", posta ad una quota topografica tra 300-200 m.s.l.m. L'aerogeneratore C01 dista circa 2 km dall'abitato di Candela (FG). Il territorio comunale di Candela confina con il comune di Ascoli Satriano a nord-est, di Rocchetta Sant'Antonio a sud-ovest, di Sant'Agata di Puglia ad ovest e, infine, di Deliceto a nord-ovest.

Non ricade in aree perimetrate dal PAI Puglia. L'area di interesse, attraverso l'analisi delle ultime perimetrazioni del P.A.I. aggiornate in data 19.11.2019 su cartografia ufficiale (sul sito AdB Puglia) non ricade in nessuna delle zone classificate a pericolosità geomorfologica ed idraulica, come definita da Norme Tecniche di Attuazione del Piano d'Assetto Idrogeologico dell'Autorità di Bacino della Puglia.





Peric. Geomorf.

 media e moderata (PG1)

 elevata (PG3)

Peric. Idraulica


 bassa (BP)


 alta (AP)

Rischio

 R1

 R3

 elevata (PG2)

 media (MP)

 R2

 R4

*Figura 2: – Stralcio aree perimetrare PAI Puglia
(http://webgis.adb.puglia.it/gis/map_default.phtml)*

Il sito sarà facilmente raggiungibile da diverse arterie viarie. La SP 655 “Bradanicca” taglia l’area del parco eolico in direzione NO-SE, e la SP 97 interseca il parco in direzione O-E.

3. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

La progettazione degli elementi strutturali soggetti ad azioni sismiche è stata condotta in conformità al quadro legislativo attualmente vigente

- Decreto ministeriale 17-01-2018 – Norme Tecniche per le Costruzioni;
- Decreto ministeriale 14-01-2008 – Testo unitario – Norme Tecniche per le Costruzioni Allegati A e B;
- Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici – Pericolosità sismica e Criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale. Allegato al voto n° 36 del 27/07/2007;
- O.P.C.M. n° 3274 (2003) - "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica";
- O.P.C.M. n° 3519 (2006) – "Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle stesse zone";
- Eurocodici in versione normata UNI.

4. INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO DELL'AREA IN ESAME

4.1 GEOLOGIA DEL SITO DI PROGETTO

L'area oggetto di studio ricade nel territorio comunale di Candela (FG), su un'area con morfologia sub-pianeggiante, posta ad una quota topografica tra 300-200 m.s.l.m. E' allocata all'interno del Foglio n. 175 "Cerignola" della Carta Geologica d'Italia in scala 1:100.000.

Essa ricade nella parte di territorio regionale pugliese compresa tra l'allineamento del Carapelle ad Ovest ed il corso del Fiume Ofanto a sud, in un territorio compreso tra Ascoli Satriano e Candela.

Al fine di una più immediata comprensione dei caratteri litologici delle unità geologiche affioranti nel territorio studiato, si ritiene opportuno un inquadramento preliminare geologico-regionale dell'intera area investigata.

Il foglio 175 "Cerignola" è occupato per lo più da sedimenti plio-quadernari che hanno colmato la parte orientale dell'avanfossa appenninica compresa tra la Daunia e il promontorio del Gargano. Nella parte occidentale del foglio, limitata da una grande struttura tettonica, affiorano sedimenti miocenici della catena appenninica, facenti parte del Complesso della Daunia.

Dal punto di vista geologico-strutturale l'area si colloca sul margine orientale della catena appenninica meridionale in prossimità dell'avanfossa bradanica. Lo sviluppo della catena appenninica, avvenuto tra l'Oligocene superiore-Miocene inferiore ed il Pleistocene in un contesto geodinamico abbastanza articolato, ha portato all'accavallamento delle unità di catena secondo sequenze deformative di tipo ventaglio imbriciato e duplex, generate da un

campo di stress con asse di compressione medio orientato NE-SO.

L'Avanfossa Adriatica è un bacino interposto tra la catena appenninica meridionale e l'avampaese apulo che è stato colmato per regressione marina con migrazione della costa attuale verso SE, seppellendo il fronte orientale della catena appenninica.

I depositi di colmamento del bacino sono rappresentati da sequenze deposizionali regressive riconducibili a sistemi di transizione (delta, spiagge) e continentali (fluviali), in letteratura chiamate Sabbie di M. Marano, Conglomerato di Irsina, ecc., che poggiano stratigraficamente su argille grigio-azzurre emipelagiche note in letteratura con il nome di Argille subappennine.

Il Tavoliere di Puglia coincide con il tratto dell'Avanfossa Adriatica delimitato dalla Catena Appenninica e dall'Avampaese Apulo. Esso è una vasta pianura plio-pleistocenica, dolcemente degradante verso il Mare Adriatico, delimitata a sud-est dal Fiume Ofanto, ad ovest dalla zona collinare che va da Ascoli Satriano ad Apricena, a nord-est dal T.Candelaro che separa la pianura dal Promontorio del Gargano. Il Tavoliere può ritenersi la naturale continuazione verso settentrione della Fossa Bradanica.

Dal punto di vista tettonico, nel territorio settentrionale della provincia di Foggia affiorano successioni carbonatiche e terrigene appartenenti a tre unità Stratigrafico-Strutturali (*fig. sottostante*):

- Catena;
- Avanfossa Appenninica;
- Avampaese Apulo-Garganico.

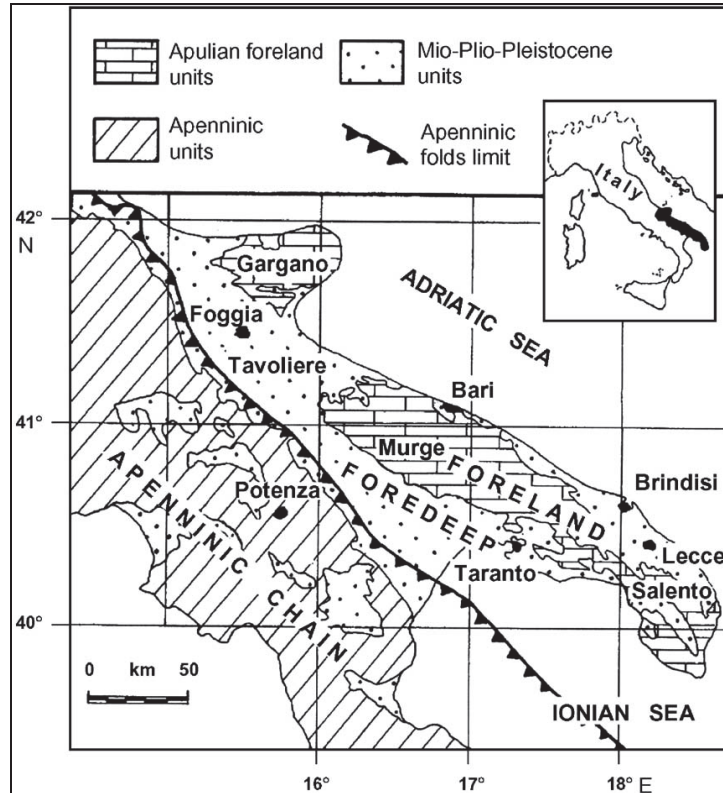


Figura 3: – Sistema Catena-Fossa-Avampaese Apulo (Mastronuzzi e Sansò, 2002)

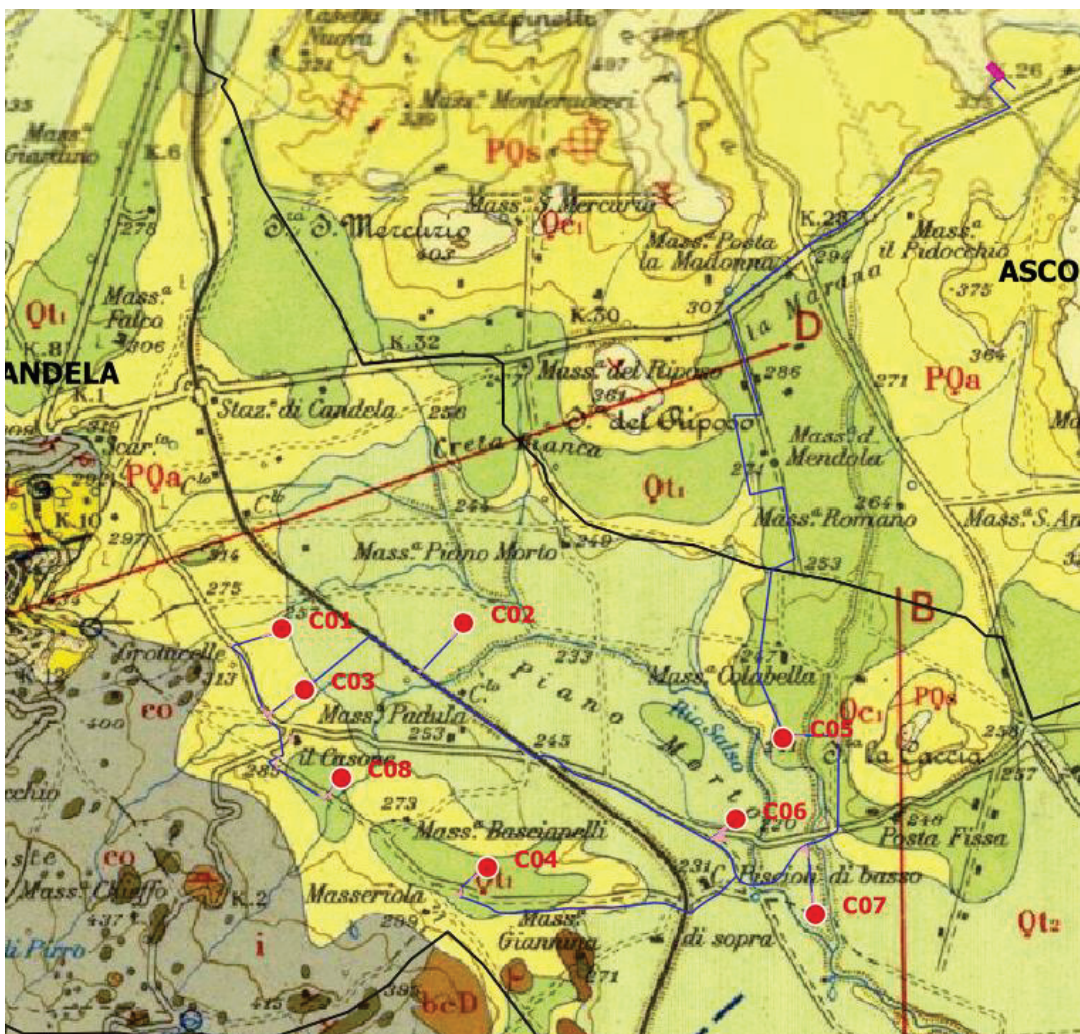
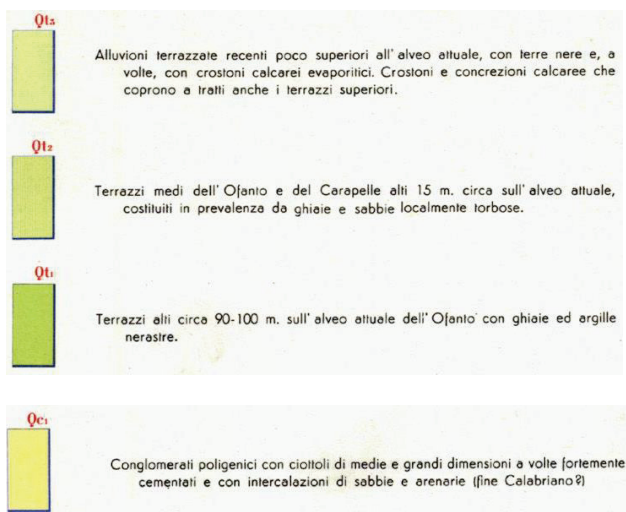
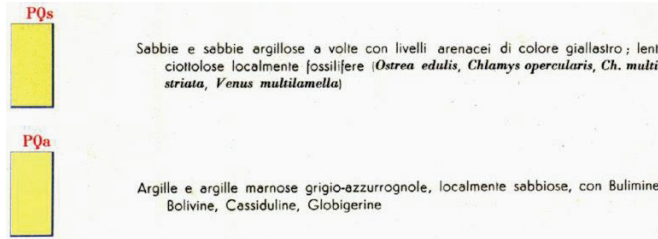


Figura 4: - Stralcio della Carta Geologica scala 1:100.000 Foglio n° 175 "Cerignola" con ubicazione dell'area di studio.





L'area di studio si sviluppa in un contesto morfologico caratterizzato da modeste dorsali con quote variabili fra i 361 (Serra del Riposo) ed i 356 metri s.l.m (Serra La Caccia) all'interno del bacino idrografico del fiume Ofanto.

L'area di studio ricade all'interno della serie plio-pleistocenica della Fossa Bradanica, nella bassa pianura Dauna, con presenza di depositi alluvionali recenti in corrispondenza dei solchi erosivi dei principali corsi d'acqua che attraversano la pianura.

Si tratta nel complesso di una serie sabbioso-argillosa con episodi conglomeratici alla base e alla sommità. Essa rappresenta un intero e unico ciclo sedimentario, anche se i termini più alti comprendono episodi secondari di oscillazioni marine e alluvionamento.

La tettonica di distensione della serie plio-pleistocenica rispecchia grosso modo quella del substrato calcareo. Le formazioni plioceniche affioranti che poggiano sui sedimenti del flysch sono notevolmente rialzate; mentre, quelle pleistoceniche, risentendo solo dei movimenti distensivi del Quaternario, sono suborizzontali e presentano una costante immersione verso E-NE con inclinazione non superiore a 15°.

L'area in esame non ricade in zone interessate da fenomeni di dissesto, sia per l'assenza di rilievi ripidi, che per le condizioni litologiche e strutturali favorevoli.

Nell'area sono presenti le seguenti formazioni (dal basso verso l'alto):

- **Argille e argille marnose grigio-azzurre Plioceniche (PQa);**
- **Sabbie e sabbie argillose Plioceniche (PQs);**
- **Conglomerati poligenici (Qc1);**
- **Depositi alluvionali terrazzati Pleistocenici-Olocenici (Qt1, Qt2, Qt3).**

- *Argille e argille marnose grigio-azzurre (PQa)*

Tale unità, nota in letteratura sotto il nome di "Argille Subappennine", affiora alle quote medie e medio-alte dei versanti lungo una fascia di direzione NO-SE tra Ascoli Satriano e Lavello. Le argille subappennine sono caratterizzate da argille marnose di colore grigio-azzurro e da sabbie fini e silt giallastri per alterazione. Presentano intercalazioni sabbiose più frequenti nella parte sommitale della formazione che passa quindi, gradualmente, alle sovrastanti sabbie (PQs).

Dati di carattere stratigrafico evidenziano la costante presenza della formazione argillosa al di sotto sia dei terreni alluvionali recenti, presenti alle basse quote, sia dei sedimenti alluvionali terrazzati presenti alle quote più alte.

- *Sabbie e sabbie argillose (PQs)*

Le sabbie affiorano con buone esposizioni in tutto il settore territoriale considerato, compreso tra il versante sinistro del Fiume Ofanto e quello destro del Torrente Carapelle. Esse seguono verso l'alto, in continuità di sedimentazione, alle argille grigio-azzurre. La frazione argillosa, ben rappresentata nella parte bassa del deposito, si riduce passando verso l'alto dove i litotipi diventano francamente sabbiosi, con granulometria fine o medio fine e inglobano nella "fascia" di passaggio ai soprastanti conglomerati, orizzonti e/o lenti di ciottolame poligenico. Estese zone, da Ascoli Satriano a Lavello ed oltre, sono ricoperte da questi sedimenti sabbiosi.

- *Conglomerati poligenici (Qc1)*

Rappresentano il termine di chiusura della fase regressiva del ciclo sedimentario plio-pleistocenico della Fossa Subappenninica Foggiana. Litologicamente sono costituiti da conglomerati poligenici formati da ciottoli di medie e grandi dimensioni a volte fortemente cementati e con intercalazioni di sabbie e arenarie. La continuità, sia laterale che verticale, è spesso interrotta da strati e lenti di sabbie. Queste diventano più spesse e frequenti nella parte bassa del deposito. Questo termine della serie, di cui si rinvencono i primi indizi nella parte alta del complesso PQs, è costituito da depositi di ciottolame poligenico con matrice sabbiosa ad elementi arenacei e calcarei di dimensioni variabili dai 5 ai 30 cm. Tale formazione ciottolosa, generalmente poco compatta, si presenta solo localmente fortemente cementata. Questa unità costituisce buona parte della sommità del grande pianoro morfologico Ascoli Satriano - Lavello inciso dal F. Ofanto.

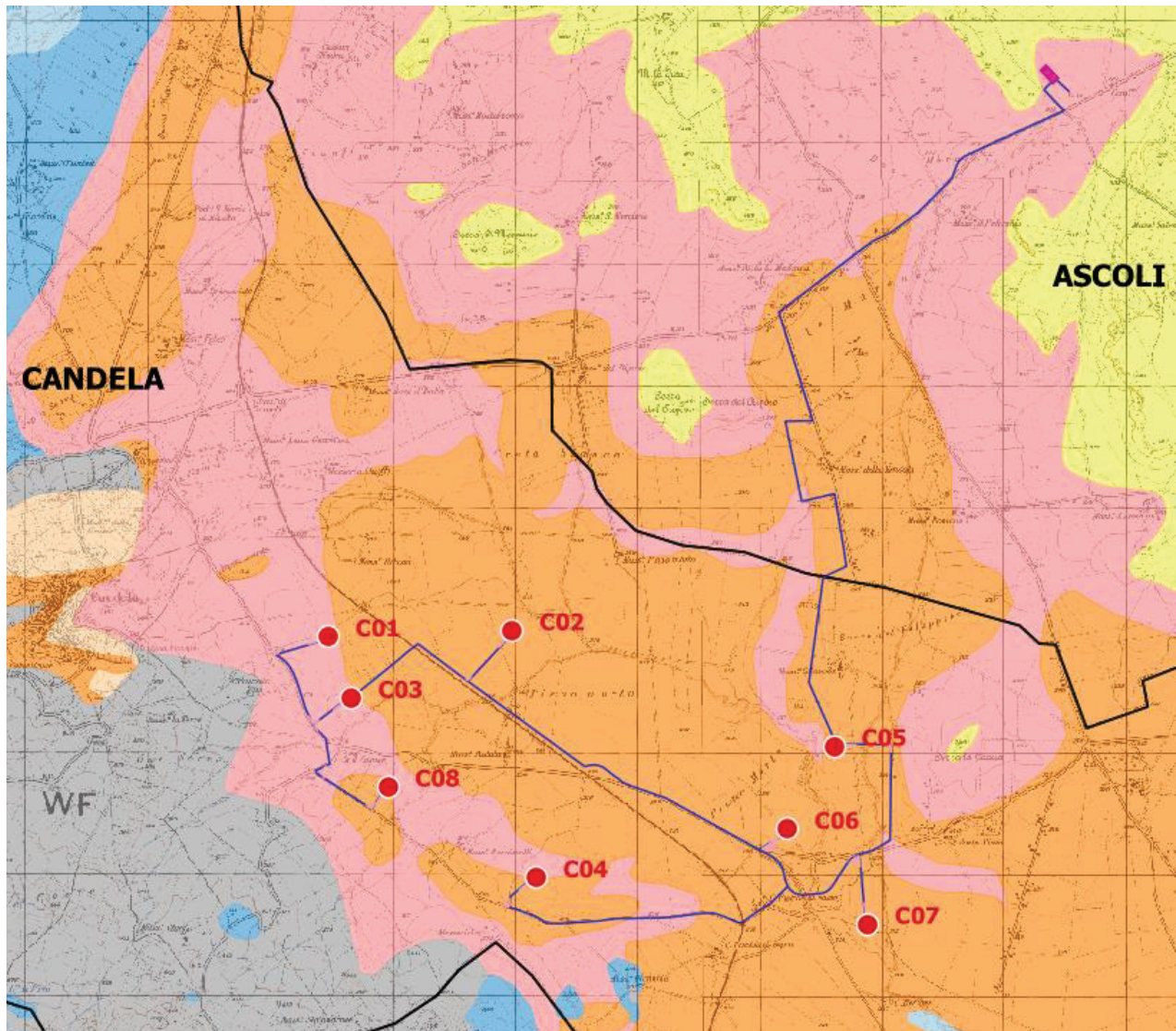
- *Depositi alluvionali terrazzati (Qt1, Qt2, Qt3)*

Si tratta di depositi continentali che, dislocati a quote diverse rispetto ai principali corsi d'acqua, appartengono tutti ad un unico ciclo sedimentario. Gli affioramenti più estesi, con riferimento all'area di studio, si rinvencono lungo il versante sinistro del F. Ofanto. Litologicamente tali depositi sono rappresentati per lo più da ciottolame poligenico, sciolto, immerso in una matrice sabbioso-limoso più o meno abbondante. I depositi alluvionali terrazzati sono suddivisi in vari ordini dal più antico al più recente in base all'altezza sul fondovalle. Quelli del I ordine sono a quota di 90-100 m sull'alveo dell'Ofanto (Qt3) e si ritrovano in Serra Giardino, lontano dall'area di studio. Quelli del II ordine (Qt2) si trovano da quota di 15-18 m sugli alvei dell'Ofanto. L'ampia pianura alluvionale dell'Ofanto è formata quasi completamente da questo ciclo alluvionale i cui depositi sono particolarmente estesi sul fianco destro della valle. I terrazzi alluvionali del III ordine sono sopraelevati di pochi metri e assumono una certa estensione lungo il corso del F. Ofanto.

4.2 INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO

Per avere un quadro aggiornato dell'area oggetto di studio, è stato necessario valutare gli assetti morfologici ed idrografici del territorio, raccolti all'interno della nuova Carta Idrogeomorfologica in scala 1:25.000 (Ottobre 2009) redatti dall'Autorità di Bacino della Puglia, consultabile dal portale SIT Puglia (http://www.sit.puglia.it/portal/portale_cartografie_tecniche_tematiche/Cartografie%20tec

niche/Carta%20Idrogeomorfologica).



LITOLOGIA DEL SUBSTRATO

- Unità prevalentemente calcarea o dolomitica
- Unità a prevalente componente argillosa
- Unità a prevalente componente siltoso-sabbiosa e/o arenitica
- Unità a prevalente componente arenitica
- Unità a prevalente componente ruditica
- Unità costituite da alternanze di rocce a composizione e/o granulometria variabile
- Unità a prevalente componente argillitica con un generale assetto caotico
- Depositi sciolti a prevalente componente sabbioso-ghiaiosa
- Depositi sciolti a prevalente componente pelitica

Figura 5: – Stralcio della litologia dell'area di studio (Carta Idrogeomorfologica:

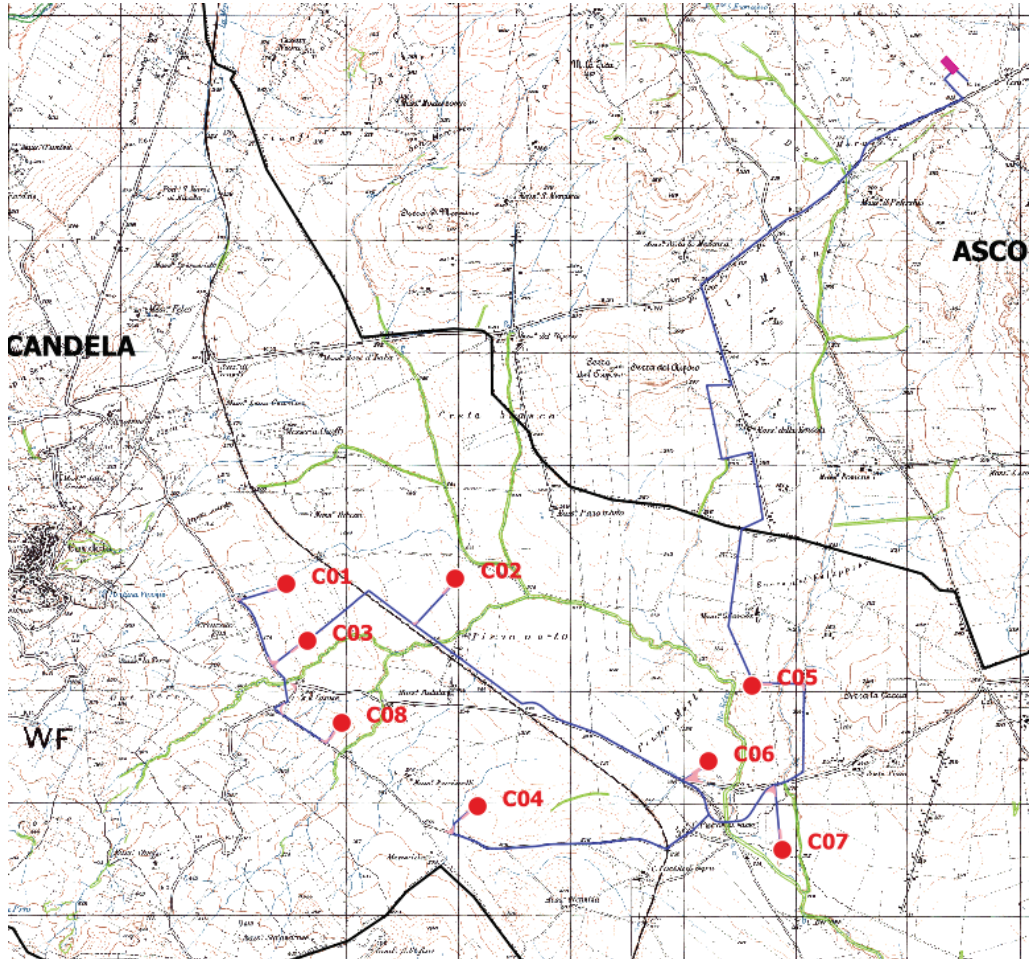
www.sit.puglia.it)

L'area di studio si sviluppa in un contesto morfologico caratterizzato da modeste dorsali con quote variabili fra i 280 (Serra Giardino) ed i 400 metri s.l.m (Serra La Croce) a cavallo tra lo spartiacque dei bacini idrografici dei fiumi Carapelle e Ofanto e dei relativi corsi d'acqua.

Le valli principali della regione presentano vasti depositi terrazzati delle ultime fasi del Pleistocene. La morfologia pianeggiante del Tavoliere dipende essenzialmente dalla giacitura orizzontale o appena inclinata delle formazioni plio-pleistoceniche. La generale pendenza verso oriente della spianata del Tavoliere coincide probabilmente con l'originaria inclinazione della superficie di regressione del mare pleistocenico e dei depositi fluviali che su di essa si adagiarono.

Gli aerogeneratori C01, C03 ricadono sui depositi argillosi, mentre le restanti torri sono ubicate sui depositi alluvionali terrazzati. Le torri C01, C03, C04 e C08 si trovano in prossimità del contatto tra le argille marnose grigio azzurre del pliocene e i depositi alluvionali terrazzati del pleistocene-olocene.

Inoltre, dalla Carta Idrogeomorfologica della regione puglia, in prossimità dell'area di studio, è possibile rilevare diverse caratteristiche geomorfologiche, nello specifico si evidenziano forme di modellamento di corsi d'acqua come cigli di sponda in verde.



FORME DI MODELLAMENTO DI CORSO D'ACQUA

Ripa di erosione



Ciglio di sponda



Figura 6: – Stralcio delle forme di modellamento di corso d'acqua nell'area di studio (Carta Idrogeomorfologica: www.sit.puglia.it)

Nell'area del parco eolico non sono presenti areali franosi, ma in prossimità dell'abitato di Candela e dei terreni miocenici argillosi a sud di Candela, si possono evidenziare delle particolari forme di versante, nello specifico "Aree interessate da dissesto diffuso" (areali magenta) e "Asse di displuvio", inteso come una linea di crinale (linee in arancio). Inoltre, sono presenti anche forme ed elementi di origine antropica come "Cave riqualificata (industria)" tra la torre C06 e C07 (poligono viola).

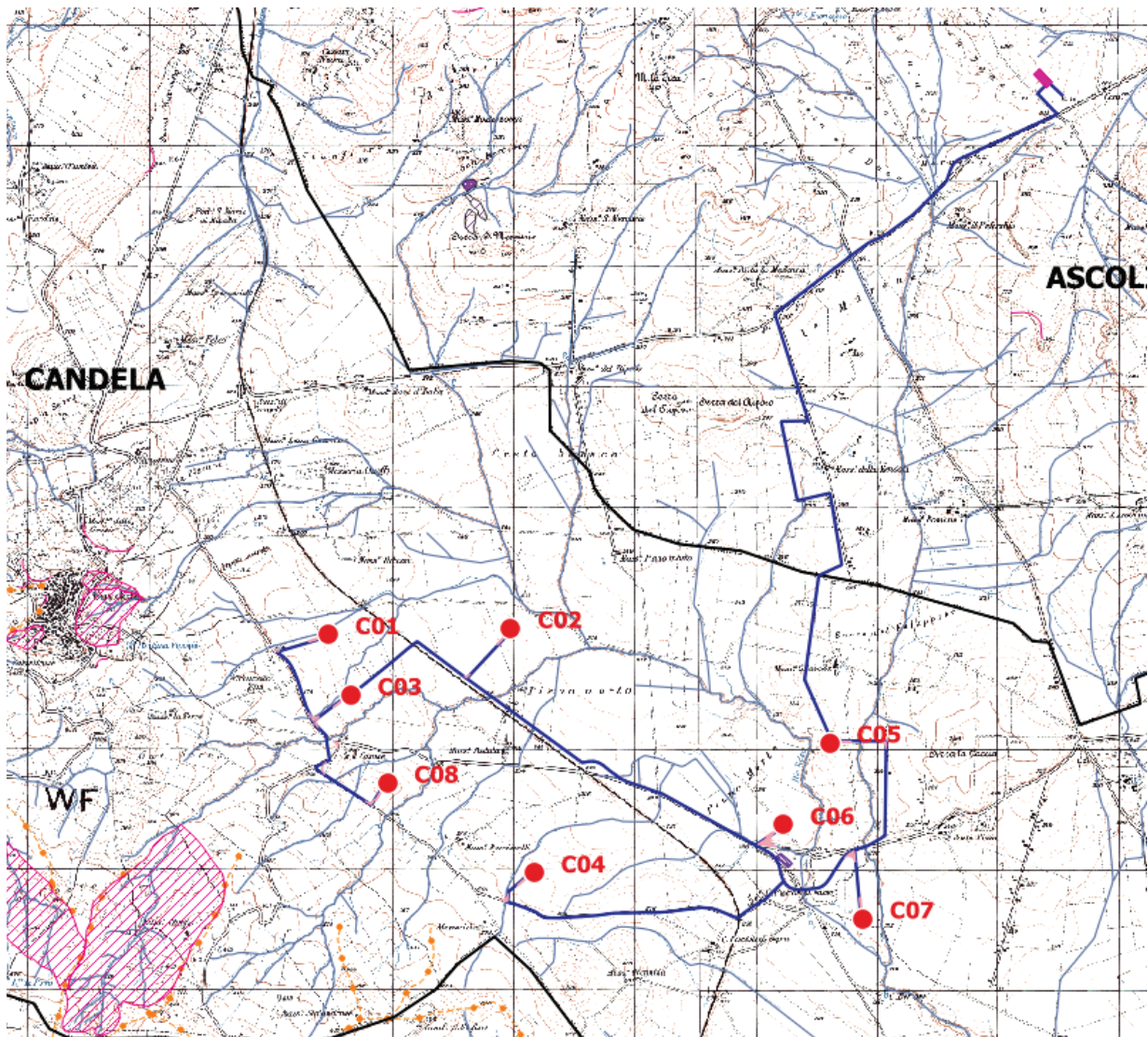




Figura 7: – Stralcio delle forme di versante nell'area di studio (Carta Idrogeomorfologica: www.sit.puglia.it)

5. INDAGINI EFFETTUATE IN SITO

La campagna di indagini è stata così articolata:

Campagna di indagini in sito

- n°1 sondaggio meccanico a carotaggio continuo alla profondità di 30 m nelle vicinanze della SP 97;
- n°2 campioni indisturbati;
- n° 35 misurazioni con Pocket Penetrometer;
- n° 35 prove scissometrica Vane Test;
- n°13 prove penetrometriche dinamiche tipo SPT;
- n°1 Resistività termica;
- n°1 Tomografia elettrica 2D (ERT - Electric Resistivity Tomography);
- n°1 Resistività elettrica (S.E.V.);
- n°1 Tomografia sismica a rifrazione (SRT – Seismic Refraction Tomography);
- n°1 Indagine sismica tipo MASW (Multichannel Analysis Surface Waves).

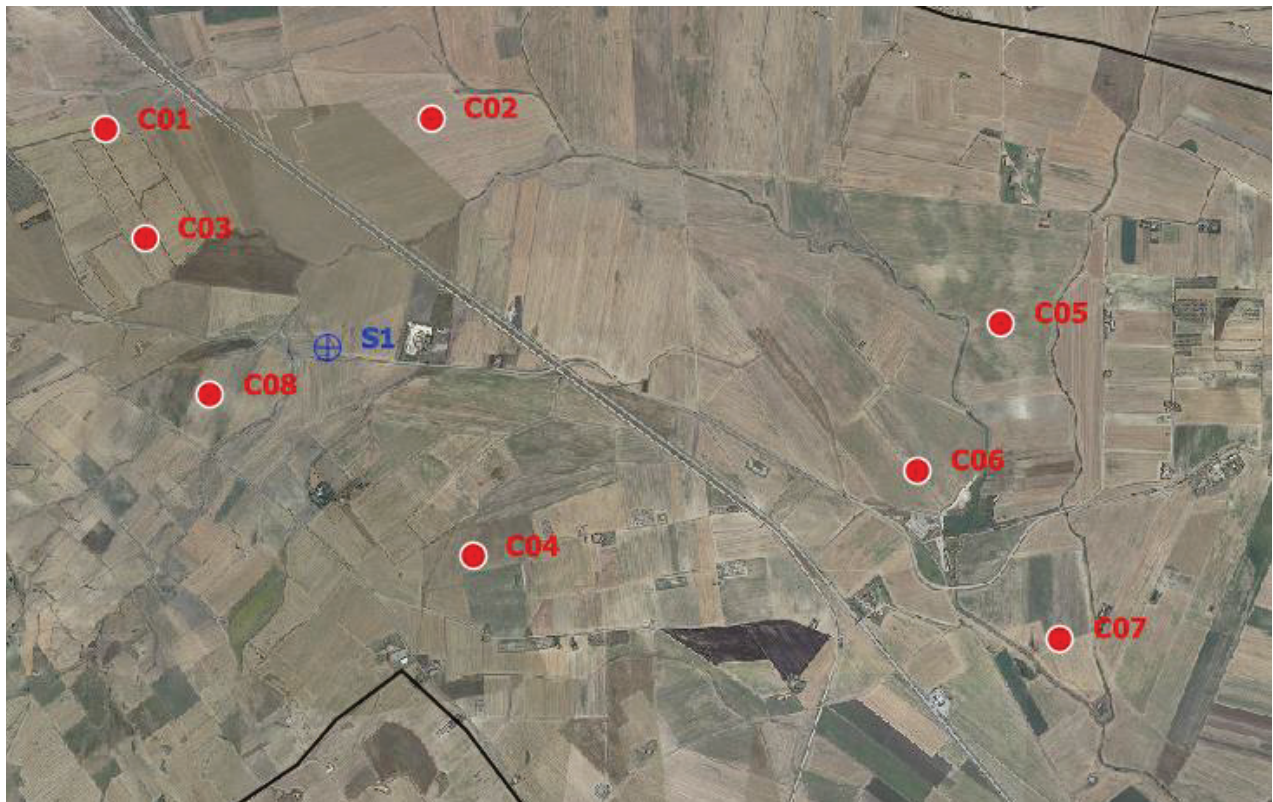


Figura 8: –Posizione indagini eseguite e aerogeneratori



Figura 9: -Ubicazioni indagini eseguite nell'area di studio

Le indagini sono state effettuate nel comune di Candela alle seguenti coordinate nel sistema di riferimento WGS84 - UTM zone 33N:

| sondaggio | E (m) | N (m) |
|-----------|-----------|------------|
| S1 | 546435.76 | 4552746.05 |

5.1 SONDAGGIO GEOGNOSTICO

E' stato eseguito un sondaggio a carotaggio continuo con sonda a rotazione tradizionale con testa idraulica in grado di agire sia in rotazione che con percussione in modo da poter inserire anche l'eventuale tubazione di rivestimento senza o con poca circolazione di fluido.

Le perforazioni sono state eseguite con carotiere semplice e manovre di lunghezza tale da garantire il massimo recupero di materiale ed il minimo disturbo; il diametro del carotiere non dovrà essere inferiore a 101 mm.

Nel caso di instabilità delle pareti del foro, e comunque fino ai 20 metri, il sondaggio è stato rivestito con una camicia metallica del diametro di 127 mm

Le prove penetrometriche SPT, sono state eseguite con il campionatore standard a punta aperta. Le carote di terreno, man mano estratte dal carotiere, sono state conservate in cassette catalogatrici di plastica (ogni cassetta consente di conservare 5 spezzoni di un metro).

Sui bordi delle cassette sono stati indicati le quote del recupero, rispetto al piano campagna e sono stati segnati l'inizio e la fine dei prelievi di campioni e delle prove SPT.

Le carote estratte, dal campionatore standard SPT, sono state conservate in buste di plastica opportunamente catalogate (Committente, cantiere, numero del sondaggio e del campione, data, profondità, ecc).

Le cassette sono state fotografate con macchina digitale a colori, e depositate l'una sull'altra, per ogni sondaggio. Sono state effettuate anche le foto panoramiche della postazione del sondaggio.

STRATIGRAFIA DEL SONDAGGIO S1

Il sondaggio S1 eseguito a quota 258 m s.l.m. ha rilevato la seguente litostratigrafia:

da 0.0 a 1.1 m: terreno agrario

da 1.1 a 3.6 m: limi debolmente argillosi mediamente consistenti e debolmente plastici

da 3.6 a 10.0 m: argille limose molto consistenti/addensate, plastiche, passanti ad argille marnose molto consistenti/addensate. Talora presenti patine francamente limose (argille grigio azzurre)

da 10.0 a 30.0 m: argille marnose e argille limoso-marnose molto consistenti/addensate. Sono presenti livelli francamente limosi; localmente assumono una minore consistenza (argille grigio azzurre).

Come è riscontrabile dal sondaggio a carotaggio continuo S1, effettuato a circa 600 EEN dalla turbina C08, non è stata registrata la presenza di falda idrica, infatti dalla stratigrafia sono rilevabili strati impermeabili appartenenti alle argille limoso-marnose grigio-azzurre.

SOCOTEC ITALIA SRL

AVULIANO DEPARTMENT
Via Campo di Ruvo, 13 - 83030 Montefredane (AV)
Tel.: +39 0823 249253 - Fax: +39 0823 248785

SOCOTEC ITALIA Srl - P.Iva 01872430048
Headquarters: Via Borsello, 101-103 - 20133 Linate (MI)
Tel.: +39 02 8575 0000 - Fax: +39 02 8575 0099
www.socotec.it



SOCOTEC

SONDAGGIO S1

R.d.P. n° SA-20-607 Del 09/11/20

| | | | |
|--------------------------------|--|--|---|
| Committente: | ENEL GREEN POWER | | |
| Oggetto Lavoro: | A.Q. n. 8400151331 . Attivazione N°3500324479 Indagini geognostiche sito di Candela (FG) | | |
| Commessa n°: | S.P.97 CANDELA, FOGGIA | | Verbale di Accettazione n° |
| Località: | | | Data esecuzione sondaggio: 03-05/11/2020 |
| Coordinate WGS84 : | 41° 7'29.10"N - 15°33'11.64"E | | Quota (m.s.l.m): 257,410 |
| Coordinate Gauss-Boaga: | 4552753.11 m N - 546440.03 m E | | |

| | | | | | | | |
|------------------------|-------|--------------------------|---|---|---|-----------------------|----|
| Campione Rimaneggiato: | C1,2. | Prova Resistenza termica | ◆ | Pozzetto carabile e terminale di protezione | ■ | S.P.T. (Punta chiusa) | FC |
| Campione Individuato: | C1,2. | Prova Dilatometrica | ◆ | Pezzometro a tubo aperto: | ■ | S.P.T. (Punta aperta) | PA |
| Shelby: | 5 | Prova Lagson | ◆ | Tubo in PVC per Coran-Itale | ■ | Quota falda ms. | ms |
| Devision -Mazier: | DM | Prova Labranc | ◆ | Cella casagrande: | ■ | Quota falda finale | ms |

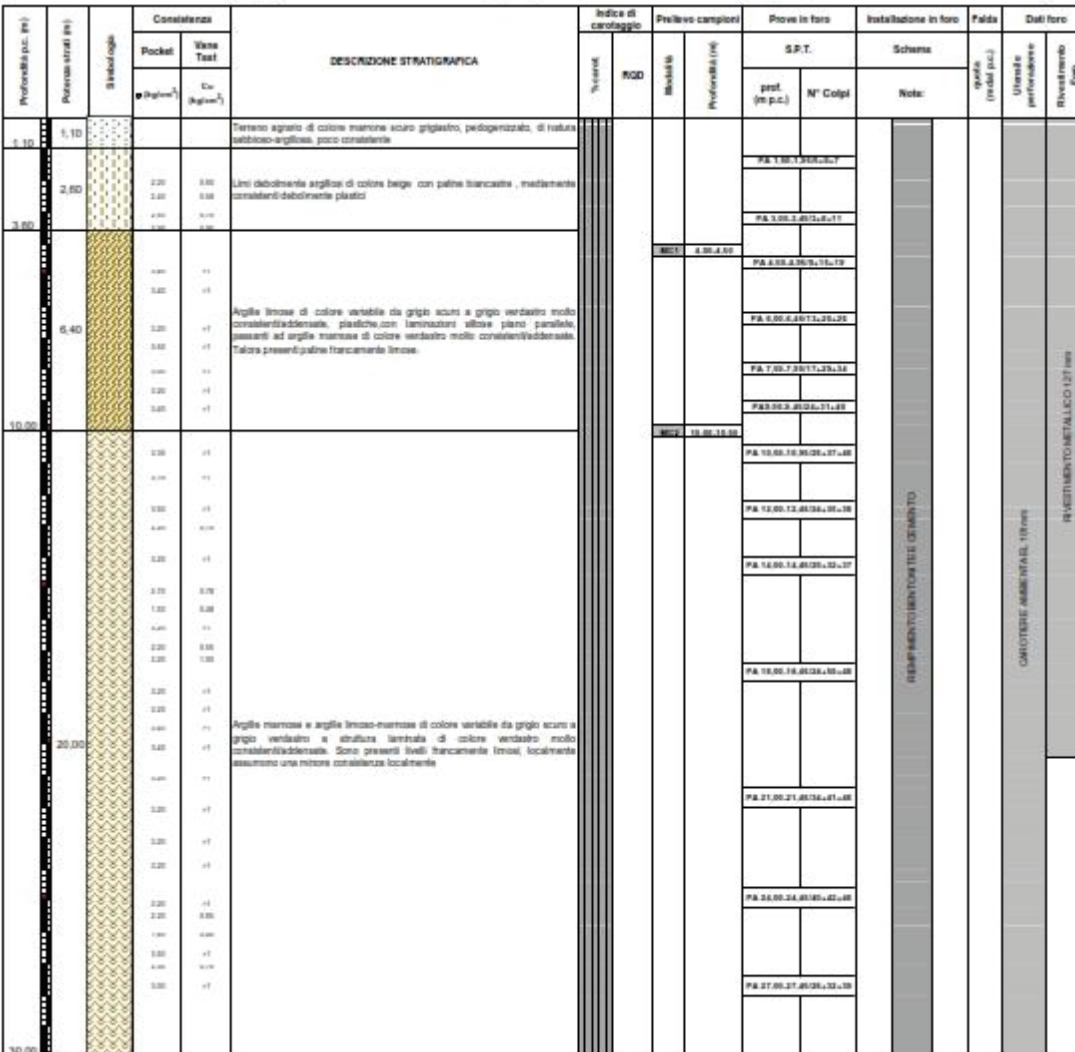


Figura 10: -Stratigrafia sondaggio S1

5.2 DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA SONDAGGIO A CAROTAGGIO CONTINUO S1



FOTO CASSETTA 0,00m - 5,00m



FOTO CASSETTA 5,00m - 10,00m



FOTO CASSETTA 10,00m - 15,00m



FOTO CASSETTA 15,00m - 20,00m



FOTO CASSETTA 20,00m - 25,00m



FOTO CASSETTA 25,00m - 30,00m

5.3 PRELIEVO CAMPIONI GEOTECNICI

Durante l'esecuzione dei sondaggi sono stati prelevati campioni geotecnici con campionatori rotativi. I campioni sono stati successivamente inviati al laboratorio C.G.G. S.r.l.

5.4 PROVE SPEDITIVE

Sulle carote estratte si è proceduto, ove possibile, alla esecuzione di prove speditive con penetrometro (Pocket Penetrometer) e scissometro tascabile (Vane Test) ad intervalli regolari per la determinazione dello stato di consistenza del materiale campionato.

5.5 PROVE SPT

Le prove SPT vengono eseguite seguendo la normativa vigente (AGI, 1977) nonché dalle norme presente sul capitolato speciale d'appalto.

Nei fori di sondaggio sono state effettuate n. 13 prove penetrometriche dinamiche tipo S.P.T. con campionatore tipo a punta conica, con dispositivo automatico dello sganciamento del maglio del peso di 63.5 kg. ed altezza di caduta di 75 cm.

I risultati delle prove SPT, riportati sulle stratigrafie dei sondaggi, hanno fornito i risultati della resistenza alla penetrazione, rilevando il numero colpi (N), necessari per la penetrazione di 3 tratti consecutivi, ciascuno di 15 cm.

Il valore di N_{SPT} , è stato ottenuto effettuando la somma dei colpi rilevati per il 2° e il 3° tratto.

La prova è stata sospesa quando il numero dei colpi N, per un tratto di 15 cm, è risultato superiore a 50 (rifiuto).

| S1 | Profondità (m) | 15 cm | 30 cm | 45 cm | N_{spt} | punta | Valutazione della consistenza (AGI 1977) |
|----|----------------|-------|-------|-------|-----------|--------|--|
| 1 | 1,50-1,95 | 5 | 6 | 7 | 13 | aperta | consistente |
| 2 | 3,00-3,45 | 3 | 8 | 11 | 19 | aperta | consistente |
| 3 | 4,50-4,95 | 9 | 15 | 19 | 13 | aperta | consistente |
| 4 | 6,00-6,45 | 13 | 20 | 26 | 46 | aperta | estrem. consistente |
| 5 | 7,50-7,95 | 17 | 29 | 34 | 63 | aperta | estrem. consistente |
| 6 | 9,00-9,45 | 24 | 31 | 40 | 71 | aperta | estrem. consistente |
| 7 | 10,50-10,95 | 26 | 37 | 46 | 83 | aperta | estrem. consistente |

| | | | | | | | |
|----|-------------|----|----|----|----|--------|---------------------|
| 8 | 12,00-12,45 | 24 | 35 | 38 | 73 | aperta | estrem. consistente |
| 9 | 14,00-14,45 | 20 | 32 | 37 | 69 | aperta | estrem. consistente |
| 10 | 18,00-18,45 | 24 | 50 | 48 | 98 | aperta | estrem. consistente |
| 11 | 21,00-21,45 | 34 | 41 | 46 | 87 | aperta | estrem. consistente |
| 12 | 24,00-24,45 | 40 | 42 | 46 | 88 | aperta | estrem. consistente |
| 13 | 27,00-27,45 | 26 | 32 | 39 | 71 | aperta | estrem. consistente |

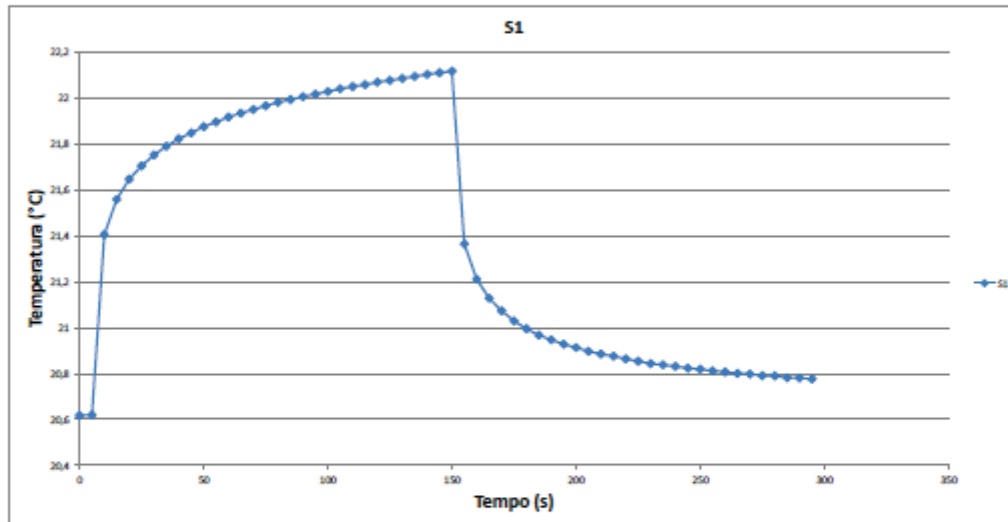
5.6 RESISTIVITA' TERMICA

Le misure di resistività termica nei terreni sono realizzate al fine di valutare quali sono le caratteristiche di conduzione del calore. Il parametro specifico è la resistività termica o il suo inverso, chiamato conducibilità termica. Il dato è molto utile nella progettazione di cavidotti interrati, al fine di valutare le temperature indotte all'interno dei conduttori o per valutare la dispersione di calore nelle tubazioni degli impianti geotermici.

Di seguito si riporta tabella riepilogativa dei risultati delle prove di resistività termica:

| Pozzetto | Prof. prova (m) | Conducibilità termica (W/Mk) | Resistività termica (mK/W) |
|----------|-----------------|------------------------------|----------------------------|
| S1 | 1,00 | 1,53 | 0,654 |

| | | | |
|---|-------------------------------|--|---|
| RESISTIVITA' TERMICA (ASTM D 5334-14) | | S1 | <i>R.d.P. n° Sa-20-608 Del 09/11/20</i> |
| Committente: ENEL GREEN POWER | | | |
| Oggetto Lavoro: IA.Q. n. 8400151331. Attivazione N°3500124479 indagini geognostiche sito di Candela (FG) | | | |
| Commessa n°: | | Verbale di Accettazione n° | |
| Località: S.P.97 CANDELA, FOGGIA | | Data esecuzione sondaggio: 03/11/2020 | |
| Coordinate UTM WGS 84 | 41° 7'29.10"N - 15°33'11.77"E | | Quota (m.s.l.m): |
| Coordinate Gauss-Boaga: | 4552752.86 m N 546443.07 m E | | |



CARATTERISTICHE STRUMENTO

| | |
|-----------------------------------|-------------------|
| Intervallo di Cond. Term. (W/m²k) | 0,1 - 5,0 |
| Intervallo di Rest. Term. (m²k/W) | 0,2 - 10,0 |
| Durata misurazione (s) | 300 |

RISULTATI

| | |
|-------------------------------|---------------|
| Conducibilità termica (W/Mk) | 1,53 |
| Resistività termica (mK/W) | 0,654 |
| Temperatura iniziale (°C) | 20,618 |
| Temperatura massima(°C) | 22,116 |
| Temperatura finale (°C) | 20,777 |

Figura 11: - Grafico resistività termica

5.7 TOMOGRAFIA ELETTRICA 2D (ERT)

Le indagini geoelettriche hanno lo scopo di ricavare informazioni riguardanti la geometria e la localizzazione di elementi sepolti geologici (e non) alla luce delle loro proprietà elettriche.

Questa tipologia di rilievi non invasivi si basa sui principi che descrivono la conduzione elettrica attraverso un mezzo: più una sostanza si lascia attraversare da portatori di carica, più essa viene definita conduttiva; viceversa, essa è definita resistiva.

Un sondaggio elettrico 2D è, pertanto, un'indagine bidimensionale che permette lo studio delle variazioni di resistività sia lungo la direzione verticale sia lungo una direzione orizzontale. Attraverso un processo di inversione, è possibile elaborare le misure di resistività apparente per ottenere un modello 2D di resistività del sottosuolo chiamato "tomografia elettrica".

La misura tomografica ERT è stata eseguita su uno stendimento longitudinale di circa 168

m ed una profondità di esplorazione di circa 35 metri.

I valori di resistività (ρ) misurati sono compresi in un range $1.5 \leq \rho \leq 10 \text{ Ohm}\cdot\text{m}$.

La tomografia elettrica ERT mostra una prima parte che va da 0 a circa 35 m dal punto iniziale dello stendimento (anomalia A1), caratterizzata da un'area con valori di resistività di circa $10 \text{ Ohm}\cdot\text{m}$. Nel settore centrale dello stendimento, si evidenzia un'ulteriore area caratterizzata da valori di resistività di circa $10 \text{ Ohm}\cdot\text{m}$ (anomalia A2); essa, intercettando il sondaggio geognostico S1, suggerirebbe la presenza di materiale caratterizzato da una più bassa percentuale di argilla. Inoltre, si riscontrano due aree (B1) caratterizzate da valori di resistività di circa $1.5 \div 2 \text{ Ohm}\cdot\text{m}$, i quali suggerirebbero la presenza di materiale caratterizzato da una più alta percentuale di argilla. Tuttavia, i valori medi di resistività si aggirano intorno ai $3.5 \div 5 \text{ Ohm}\cdot\text{m}$.

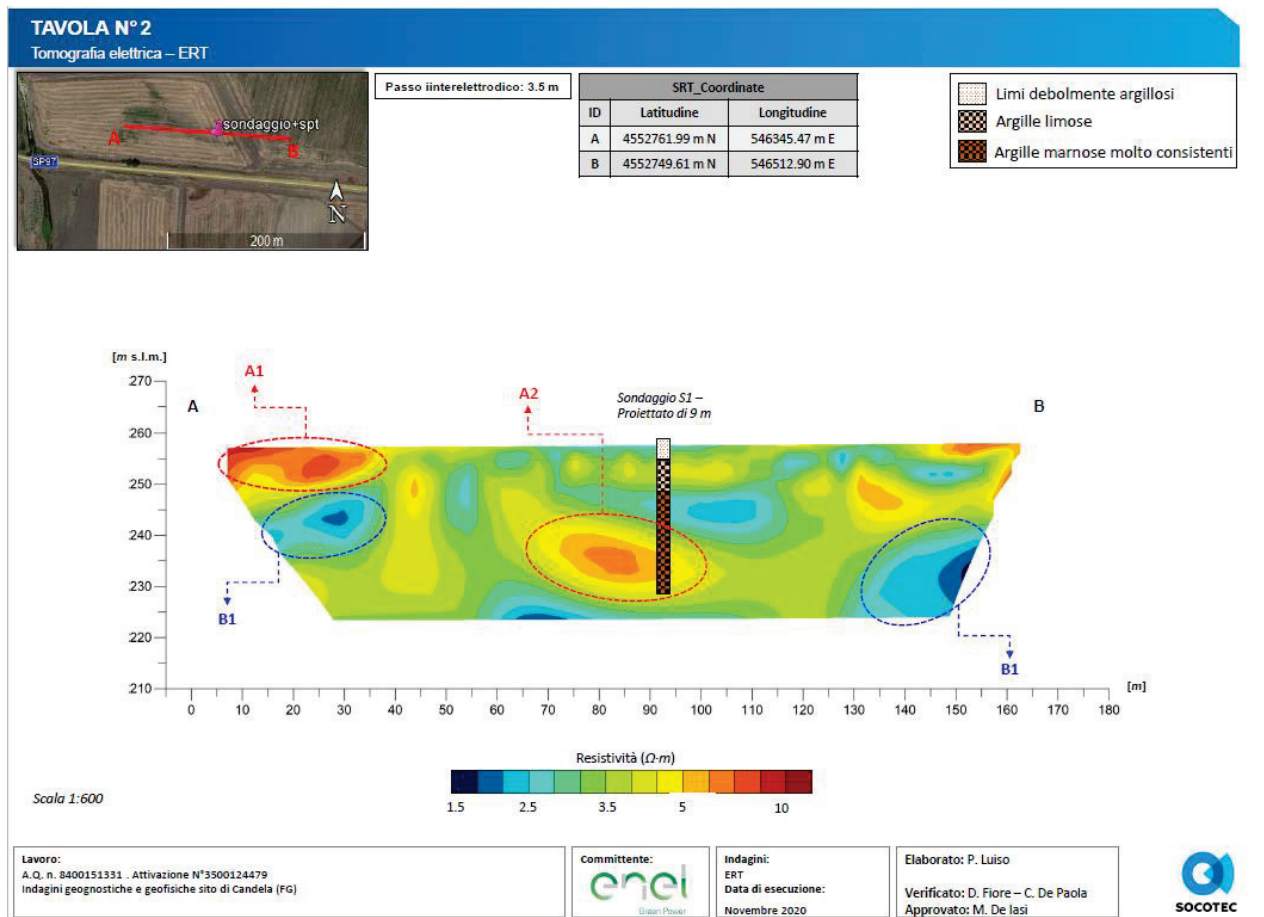


Figura 12: – Tomografia elettrica ERT

5.8 RESISTIVITA' ELETTRICA (SEV)

Le misure di resistività elettrica sono state condotte per fornire informazioni sulla resistività elettrica del terreno finalizzata alla progettazione della rete di messa a terra.

La metodologia impiega la stessa strumentazione (IRIS Syscal Pro) e lo stesso principio della tomografia elettrica. Questa tecnica consiste nell'aumentare progressivamente la distanza degli elettrodi d'immissione, misurando ogni volta la differenza di potenziale

esistente fra due punti, situati a piccola distanza, posti al centro dello stendimento. Questo consente di investigare gli strati più profondi del sottosuolo.

I risultati dell'indagine SEV, dimostrano che dal piano campagna fino a circa 0.71 m di profondità un valore di resistività di 9.9 Ohm·m mentre, da 0.71 m a 47 m dal p.c. mostra una leggera diminuzione del valore di resistività con valori che arrivano a 3.7 Ohm·m. Da tale profondità, i valori di resistività risalgono a circa 6.8 Ohm·m. I risultati risultano in accordo con la tomografia elettrica 2D.

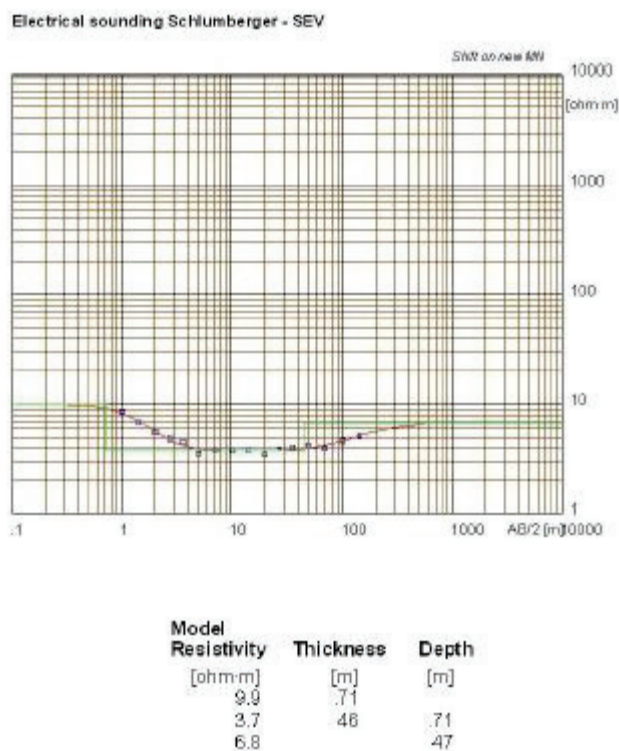


Figura 13: – Acquisizione dati indagine SEV

5.9 INDAGINE SISMICA DI TIPO MASW

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

La metodologia Masw risulta particolarmente indicata in ambienti con spaziature limitate e, a differenza della sismica a rifrazione, consente di individuare la presenza di inversioni di velocità con la profondità, associabili alla presenza di strati "lenti" al di sotto del bedrock roccioso.

Dall'indagine di tipo MASW è risultato che il sottosuolo dell'area in esame è associabile alla categoria di sottosuolo B, poichè V_{Seq} pari a 400 m/s.

| Sismostrato | Profondità | | Spessore | Vs (m/s) |
|-------------|------------|-------|----------|----------|
| 1 | 0.00 | 3.00 | 3.00 | 200.00 |
| 2 | 3.00 | 9.10 | 6.10 | 310.00 |
| 3 | 9.10 | 19.90 | 10.80 | 490.00 |
| 4 | 19.90 | inf. | inf. | 550.00 |

Vs eq (0 - 30) 400
Suolo B

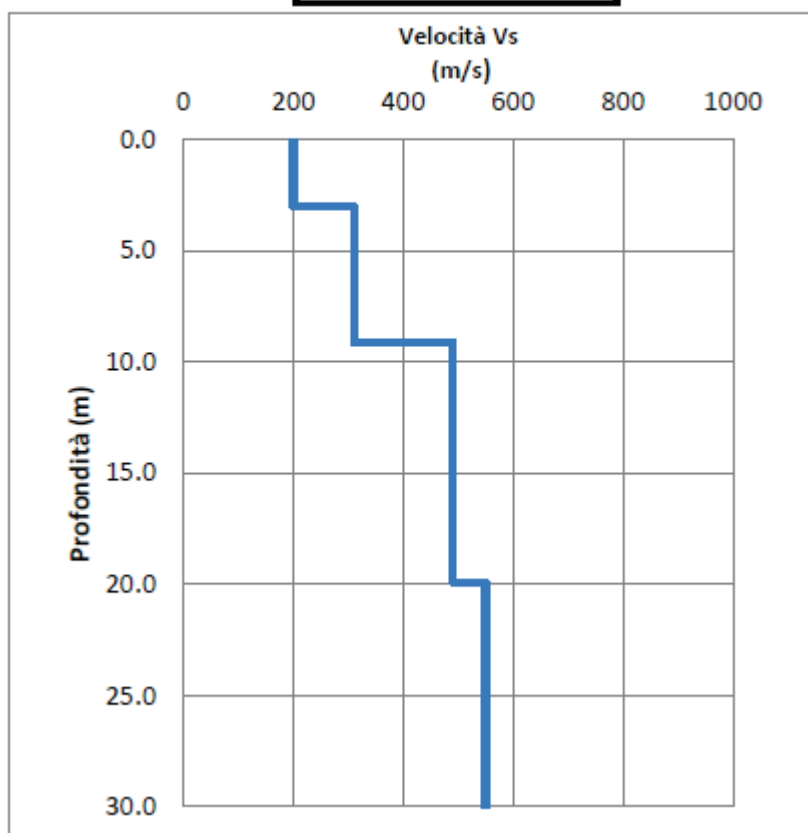


Figura 14: – Risultati dell'indagine di tipo MASW

5.10 TOMOGRAFIA SISMICA A RIFRAZIONE (SRT)

Le indagini indirette, ed in particolare la metodologia a rifrazione, permettono la ricostruzione areale delle geometrie e degli spessori dei depositi di copertura, la profondità del substrato, la verifica di eventuali discontinuità laterali, nonché di determinare le caratteristiche fisico-meccaniche dei materiali attraverso la determinazione dei moduli elastici dinamici.

Il risultato dell'analisi è una sezione tomografica che mostra con una gradazione di colori l'andamento presunto del parametro Vp o Vs di ogni cella sintetica sotto alla linea trattata.

La massima profondità di esplorazione è stata superiore ai 50 metri dal p.c. Su ciascun sito sono state raccolte misure sia per sismica a rifrazione ad onde P che per onde S.

L'indagine sismica SRT mostra un graduale aumento delle V_p e V_s con la profondità secondo sismo-strati piano paralleli; i risultati dell'indagine sono stati vincolati consultando il sondaggio geognostico S1. Dal piano campagna fino a circa 4 m di profondità le V_p e le V_s non superano i 1500 m/s e 400 m/s suggerendo la presenza di limi debolmente argillosi caratterizzati da un medio grado di compattazione. Un ulteriore aumento di velocità, in particolare delle V_{sh} , lo si rileva a circa 9-10 m dal p.c. suggerendo il passaggio ad argille limose, come suggerisce il sondaggio geognostico S1. Inoltre, la tomografia sismica mostra un incremento poco marcato di velocità fino a circa 35 m dal p.c. suggerendo la presenza di una litologia il cui grado di compattazione aumenta lentamente e gradualmente con la profondità. Il sondaggio S1 suggerisce la presenza di argille marnose; la prova SPT effettuata nel foro di sondaggio, mostra, a circa 20 m di profondità, un discreto aumento del numero di colpi.

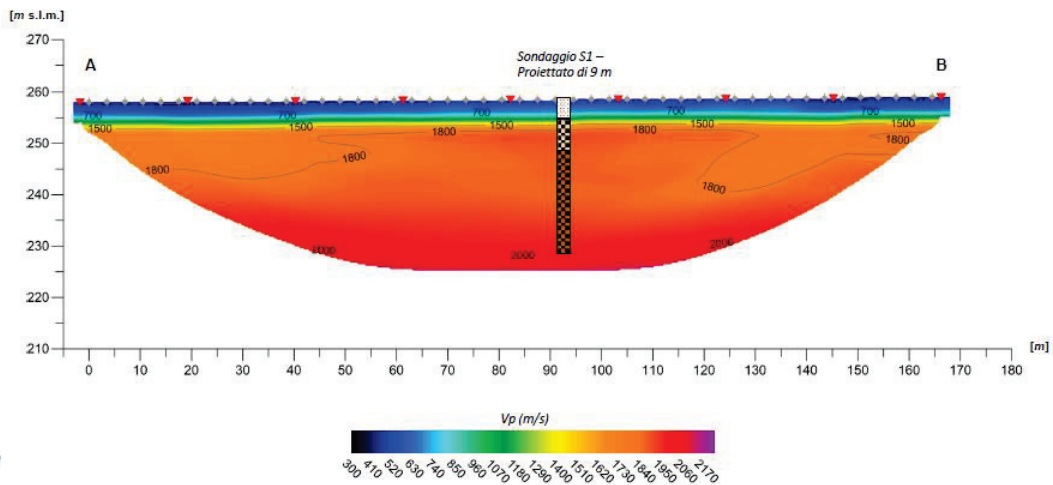
TAVOLA N°2
 Tomografia sismica – SRT Onda P



Passo intergeofonico: 3.5 m

| SRT_Coordinate | | |
|----------------|----------------|---------------|
| ID | Latitudine | Longitudine |
| A | 4552761.99 m N | 546345.47 m E |
| B | 4552749.61 m N | 546512.90 m E |

| | |
|--|-----------------------------------|
| | Limi debolmente argillosi |
| | Argille limose |
| | Argille marnose molto consistenti |



Scala 1:600

Lavoro:
 A.Q. n. 8400151331 - Attivazione N°3500124479
 Indagini geognostiche e geofisiche sito di Candela (FG)

Committente:

Indagini:
 SRT
 Data di esecuzione:
 Novembre 2020

Elaborato: P. Luiso
 Verificato: D. Fiore - C. De Paola
 Approvato: M. De Iasi



Figura 15: – Tomografia sismica SRT - Onde P

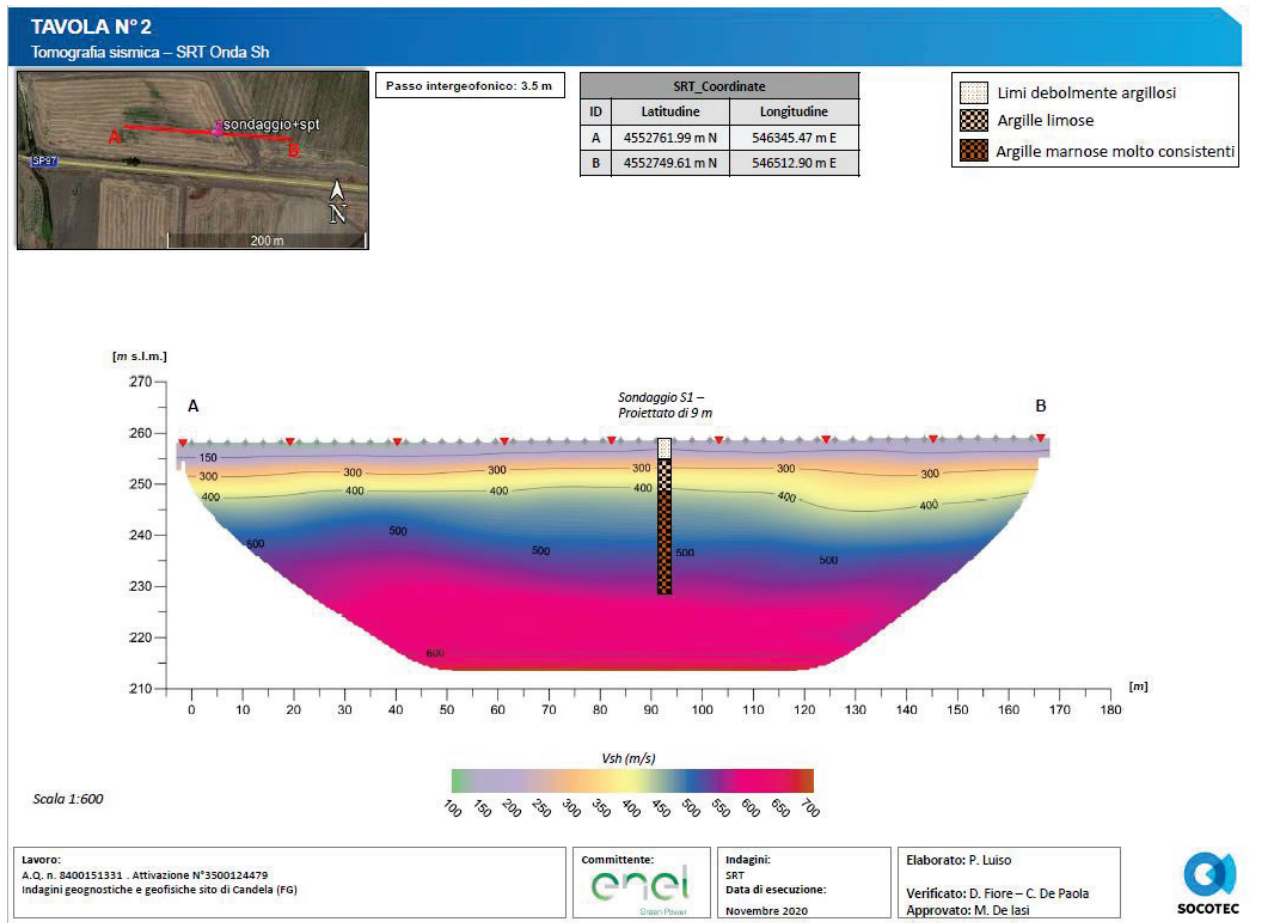


Figura 16: – Tomografia sismica SRT - Onde Sh

6. RELAZIONI EMPIRICHE PER PARAMETRIZZAZIONE GEOTECNICA DEI TERRENI

Per i terreni coesivi, attraverso i risultati di prove SPT, dal numero di colpi si risale, mediante l'utilizzo di correlazioni empiriche, allo stato di addensamento del terreno e alla definizione di alcuni parametri geotecnici.

Durante l'esecuzione delle indagini geognostiche a carotaggio continuo, al momento dell'estrazione del terreno dal campionatore e prima della sua collocazione nelle cassette catalogatrici, si è ricorso alle prove di Vane Test (Cu) e Pocket Penetrometer. Tramite il pocket penetrometer, si passa alla valutazione della resistenza a compressione semplice " σ " dei litotipi prevalentemente limosi e argillosi. Dal valore di resistenza alla compressione semplice σ si può ottenere la coesione non drenata (Cu), la prima è legata alla seconda dal rapporto 2:1, ovvero la coesione non drenata corrisponde alla metà del valore di resistenza ($Cu = \sigma/2$).

In tabella sotto è riportato un range di Cu ricavato da tutte le prove effettuate in sito.

Le prove SPT vengono anche utilizzate per stimare parametri a lungo termine nei terreni coesivi, ma tali valori forniscono un'indicazione più o meno corretta e come tale vanno necessariamente confrontati con altre prove (laboratorio, indagini sismiche, ecc).

| N_{spt} (medio) | Profondità (m) | φ' (°) (Hatanaka e Uchida 1996) | c' (KN/m²) (Cherubini, C. 2000.) | γ (KN/m³) (Meyerhof, 1965) | IC (indice consistenza) | Cu (kPa) |
|--|---------------------------------|---|--|--|--|---------------------------|
| 16 | 1,1-3,60 | 24-27 | 10,3 | 17-19 | Compatto | 50-80 |
| 48 | 3,60-10,00 | 34-37 | 8,8 | 18-20 | Estr. compatto | 80-110 |
| 81 | 10,00- 27,45 | 42-45 | 7,6 | 18-20 | Estr. compatto | 70-100 |

Si fa presente che ciascuna delle correlazioni proposte è una correlazione sperimentale e non sostituisce nella maggior parte dei casi le prove di laboratorio. L'intento è quello comunque di dare un supporto all'elaborazione della caratterizzazione geotecnica.

Il report delle indagini è consultabile tra gli allegati a corredo della relazione geologica "GRE.EEC.R.25.IT.W.15001.00.080.0A RELAZIONE GEOLOGICA".

7. MODELLO GEOLOGICO TECNICO

La diretta osservazione dei terreni affioranti eseguita durante il rilevamento geologico dell'area d'intervento e le informazioni ricavate dalle indagini geologiche, geofisiche e geotecniche, hanno dimostrato una forte corrispondenza tra la suddivisione geologica legata alle caratteristiche genetiche e deposizionali dei diversi complessi litologici cartografati e la suddivisione effettuata sulla base delle caratteristiche geotecniche.

I parametri geotecnici sono scaturiti da prove speditive effettuate durante il sondaggio geognostico S1 e da relazioni empiriche, in attesa di effettuare, nelle successive fasi indagini geognostiche puntuali.

Si fa riferimento ad un modello geologico tecnico di tipo empirico esteso all'intera area parco e alla zona di ubicazione della sottostazione.

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 : Limi argillosi di colore beige

Da un punto di vista granulometrico si tratta di limi debolmente argillosi di colore beige mediamente consistenti debolmente plastici.

| Profondità m | Peso volume γ KN/mc | Coesione C' KPa | Angolo attrito Φ' ° | Coesione non drenata Cu KPa |
|-----------------|-------------------------------|--------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| 1,10-3,60 | 17-19 | 10,3 | 24-27 | 50-80 |

- **U.G. 2 : Argille limose di colore grigio scuro**

Si tratta di argille molto consistenti, plastiche, passante ad argille marnose di colore grigio scuro molto consistenti.

| Profondità m | Peso volume γ KN/mc | Coesione C' KPa | Angolo attrito Φ' ° | Coesione non drenata Cu KPa |
|-----------------|-------------------------------|--------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| 3,60-10,00 | 18-20 | 8,8 | 34-37 | 80-110 |

- **U.G. 3 : Argille marnose ed argille limoso-marnose di colore grigio scuro**

Da un punto di vista granulometrico si tratta d'argille marnose ed argille limoso-marnose di colore grigio azzurro. Sono argille molto consistenti di colore variabile da grigio scuro a grigio verdastro a struttura laminata.

| Profondità m | Peso volume γ KN/mc | Coesione C' KPa | Angolo attrito Φ' ° | Coesione non drenata Cu KPa |
|-----------------|-------------------------------|--------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| 10,00-30,00 | 18-20 | 7,6 | 42-45 | 70-100 |

8. INQUADRAMENTO SISMICO

La caratterizzazione sismica di un territorio si basa da un lato sulla conoscenza degli eventi sismici già avvenuti, localizzati all'interno del territorio stesso o risentiti da aree contigue e, dall'altro, sulla conoscenza delle potenziali sorgenti geologiche esistenti e ritenute in grado di produrre terremoti significativi, anche a prescindere dal fatto che tali terremoti si siano o meno già verificati. Informazioni sugli eventi già avvenuti vengono acquisite su base storico-documentale, analizzando cioè documenti di archivio che abbiano registrato gli effetti dei terremoti avvenuti in epoca storica; tale procedura dipende fortemente dalla disponibilità e dalla qualità di tali documenti ed è quindi influenzata dall'esistenza in epoca storica di fonti (registri parrocchiali, archivi pubblici) e dalla loro conservazione e accessibilità.

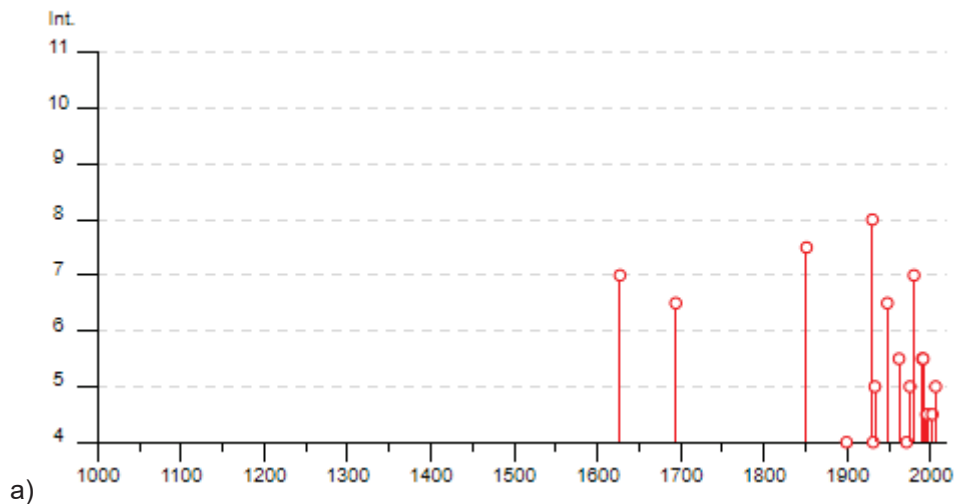
Infine, per i terremoti più recenti, vengono utilizzate le registrazioni strumentali effettuate dalle reti sismiche regionali e nazionali esistenti sul territorio.

8.1 SISMICITA' STORICA

Dal Database Macrosismico Italiano 2015 dell'INGV (consultabile al seguente link: https://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15/query_place/) è stato possibile individuare la seguente storia sismica del Comune di Candela (FG). Questo fornisce un set omogeneo di intensità macrosismiche provenienti da diverse fonti relativo ai terremoti con intensità massima ≥ 5 e d'interesse per l'Italia nella finestra temporale 1000-2014. L'insieme di questi dati consente inoltre di elaborare le "storie sismiche" di migliaia di località italiane, vale a dire l'elenco degli effetti di avvertimento o di danno, espressi in termini di gradi di intensità, osservati nel corso del tempo a causa di terremoti. (aggiornata sino all'anno 2015):

Candela

| | |
|-----------------------------|----------------|
| PlaceID | IT_62106 |
| Coordinates (lat, lon) | 41.136, 15.515 |
| Municipality (ISTAT 2015) | Candela |
| Province | Foggia |
| Region | Puglia |
| No. of reported earthquakes | 37 |



| Effects | Reported earthquakes | | | | | | | | | |
|---------|----------------------|----|----|----|----|----|------------------------|------|-----|------|
| Int. | Year | Mo | Da | Ho | Mi | Se | Epicentral area | NMDP | Io | Mw |
| 7 | 1627 | 07 | 30 | 10 | 50 | | Capitanata | 64 | 10 | 6.66 |
| 6-7 | 1694 | 09 | 08 | 11 | 40 | | Irpinia-Basilicata | 251 | 10 | 6.73 |
| 7-8 | 1851 | 08 | 14 | 13 | 20 | | Vulture | 103 | 10 | 6.52 |
| NF | 1882 | 06 | 06 | 05 | 40 | | Isernino | 50 | 7 | 5.20 |
| NF | 1893 | 01 | 25 | | | | Vallo di Diano | 134 | 7 | 5.15 |
| 3-4 | 1895 | 08 | 09 | 17 | 38 | 2 | Adriatico centrale | 103 | 6 | 5.11 |
| 4 | 1899 | 08 | 16 | 00 | 05 | | Subappennino dauno | 32 | 6 | 4.57 |
| NF | 1905 | 03 | 14 | 19 | 16 | | Avellinese | 94 | 6-7 | 4.90 |
| 3 | 1905 | 11 | 26 | | | | Irpinia | 122 | 7-8 | 5.18 |
| F | 1910 | 06 | 07 | 02 | 04 | | Irpinia-Basilicata | 376 | 8 | 5.76 |
| F | 1912 | 07 | 02 | 07 | 34 | | Tavoliere delle Puglie | 49 | 5 | 4.55 |
| 8 | 1930 | 07 | 23 | 00 | 08 | | Irpinia | 547 | 10 | 6.67 |
| 3-4 | 1931 | 05 | 10 | 10 | 48 | 5 | Irpinia | 43 | 5-6 | 4.64 |
| 4 | 1931 | 11 | 10 | 21 | 10 | | Vulture | 7 | 5 | 4.16 |
| 5 | 1933 | 03 | 07 | 14 | 39 | | Irpinia | 42 | 6 | 4.96 |
| 6-7 | 1948 | 08 | 18 | 21 | 12 | 2 | Gargano | 58 | 7-8 | 5.55 |
| 3 | 1956 | 09 | 22 | 03 | 19 | 3 | Gargano | 57 | 6 | 4.64 |
| 3 | 1962 | 01 | 19 | 05 | 01 | 2 | Gargano | 31 | 5 | 4.42 |
| 5-6 | 1962 | 08 | 21 | 18 | 19 | | Irpinia | 562 | 9 | 6.15 |
| 2 | 1964 | 02 | 18 | 06 | 58 | 2 | Irpinia | 18 | 5-6 | 4.44 |
| 4 | 1971 | 05 | 06 | 03 | 45 | 0 | Irpinia | 68 | 6 | 4.83 |
| 5 | 1975 | 06 | 19 | 10 | 11 | | Gargano | 61 | 6 | 5.02 |
| 7 | 1980 | 11 | 23 | 18 | 34 | 5 | Irpinia-Basilicata | 1394 | 10 | 6.81 |
| 3 | 1984 | 05 | 07 | 17 | 50 | | Monti della Meta | 911 | 8 | 5.86 |
| 3 | 1984 | 05 | 11 | 10 | 41 | 4 | Monti della Meta | 342 | 7 | 5.47 |
| 5-6 | 1990 | 05 | 05 | 07 | 21 | 2 | Potentino | 1375 | | 5.77 |
| 5-6 | 1991 | 05 | 26 | 12 | 25 | 5 | Potentino | 597 | 7 | 5.08 |
| 4-5 | 1995 | 09 | 30 | 10 | 14 | 3 | Gargano | 145 | 6 | 5.15 |
| 4-5 | 1996 | 04 | 03 | 13 | 04 | 3 | Irpinia | 557 | 6 | 4.90 |
| 3 | 1998 | 04 | 07 | 21 | 36 | 5 | Valle dell'Ofanto | 45 | 5 | 4.31 |
| NF | 2002 | 04 | 18 | 20 | 56 | 4 | Appennino lucano | 164 | 5 | 4.34 |
| 4-5 | 2002 | 11 | 01 | 15 | 09 | 0 | Molise | 638 | 7 | 5.72 |
| NF | 2003 | 06 | 01 | 15 | 45 | 1 | Molise | 501 | 5 | 4.44 |
| NF | 2003 | 12 | 30 | 05 | 31 | 3 | Molise | 326 | 4-5 | 4.53 |
| NF | 2004 | 02 | 24 | 05 | 21 | 2 | Appennino lucano | 140 | 5 | 4.21 |
| NF | 2004 | 09 | 03 | 00 | 04 | 1 | Potentino | 156 | 5 | 4.41 |
| 5 | 2006 | 05 | 29 | 02 | 20 | 0 | Gargano | 384 | | 4.64 |

b)

| Place name | EQs | Distance (km) |
|------------------------|-----|---------------|
| Rocchetta Sant'Antonio | 26 | 6 |
| Ascoli Satriano | 41 | 9 |

c)

Figura 17: - Storia sismica del comune di Candela estrapolata dal Database Macrosismico Italiano 2015 dell'INGV. Alcuni effetti non sono esprimibili tramite scala MCS per cui vengono utilizzati codici alternativi come: F = avvertito (felt) in caso in cui si ritenga di escludere che si siano verificati danni ($3 \leq IMCS \leq 5$); NF = non avvertito (not felt) in presenza di segnalazione esplicita è equiparabile a $IMCS = 1$. figure a), b) e c)

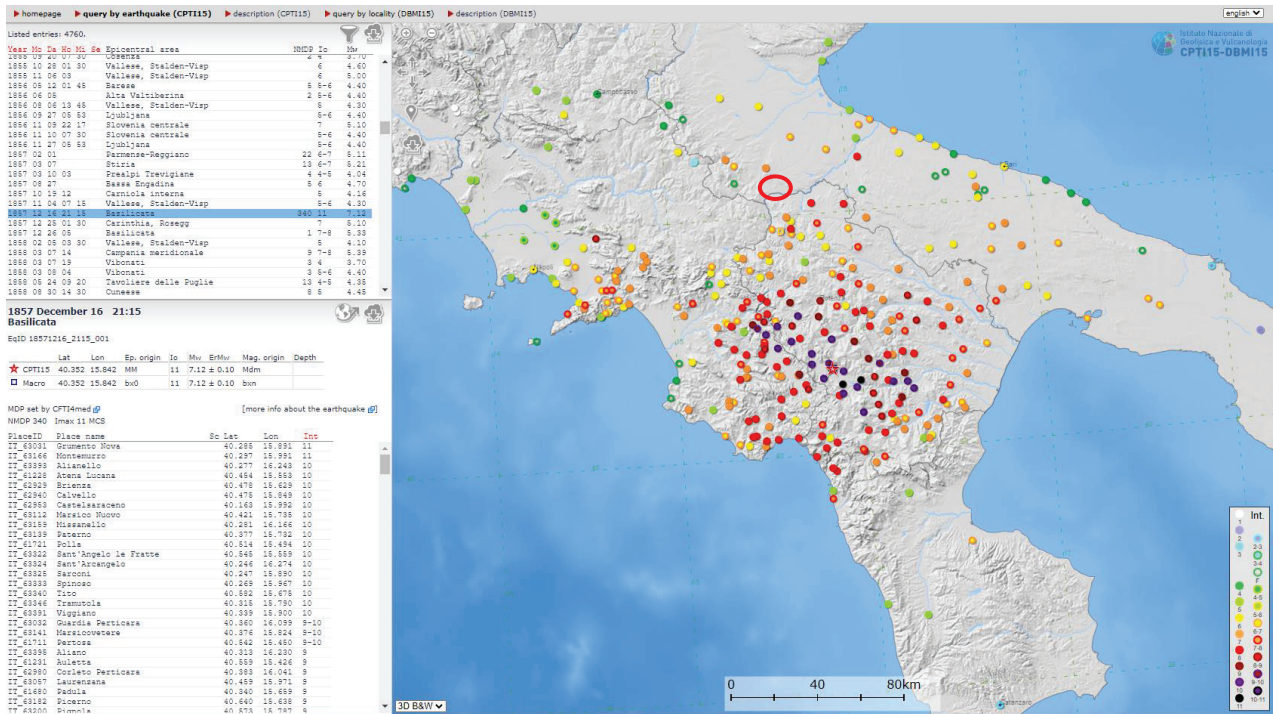


Figura 18: - Intensità registrate in seguito al sisma del 1857 estratta dal Catalogo parametrico dei terremoti italiani 2015 (CPTI15) dell'INGV

Dal database INGV (Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia <http://cnt.rm.ingv.it/>) è stato possibile ricercare gli ultimi eventi sismici con magnitudo superiore a 4.0 avvenuti dal 1985 ad oggi entro un intorno di 50 km dal Comune di Candela (FG).

In particolare nel suddetto periodo si sono verificati n.2 eventi con una magnitudo M=4,2 in seguito ubicati ed elencati.

Fuso Orario: Italia | Dal 01-01-1985 | Magnitudo: 4+ | Punto: (41.14, 15.51) - Raggio: 50 km

Personalizza Ricerca | Mappa

Visualizzati 2 terremoti (Ordinamento Tempo Decrescente)

Esporta lista (UTC)

| Data e Ora (Italia) | Magnitudo | Zona | Profondità | Latitudine | Longitudine |
|---------------------|-----------|-------------------------------------|------------|------------|-------------|
| 2012-09-27 03:08:22 | Mw 4.2 | 2 km W Sant'Arcangelo Trimonte (BN) | 10 | 41.18 | 14.92 |
| 2010-09-17 14:20:17 | Mw 4.2 | 7 km E Foggia (FG) | 6 | 41.47 | 15.62 |

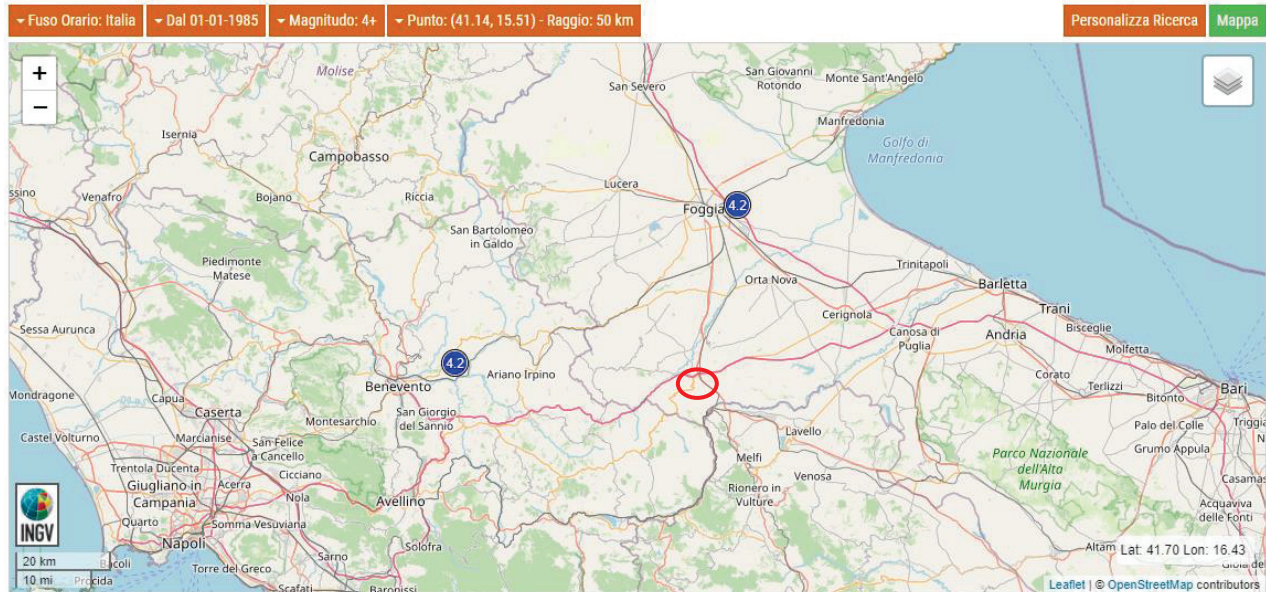


Figura 19: - Lista degli eventi di $M \leq 5$ avvenuti dal 1985 ad oggi entro un raggio di 50 km dal Comune di Candela (FG) da INGV.

8.2 STRUTTURE TETTONICHE ATTIVE

Sul database Ithaca dell'ISPRA (Catalogo delle Faglie capaci) sono riportate le strutture tettoniche attive in Italia, interessandosi in modo particolare alle faglie capaci - primarie, secondarie e ereditate riattivate - che tagliano la superficie e in alcuni casi riporta anche faglie sepolte ritenute capaci di produrre deformazione del suolo. Le faglie contenute in questo database potrebbero quindi rappresentare concettualmente l'espressione superficiale diretta o indiretta dell'attività delle sorgenti profonde sia in risposta della dislocazione sul piano di faglia principale profondo, sia in conseguenza della deformazione cosismica superficiale di altra natura (ad es. gravitativa). Questo database raccoglie quindi prevalentemente informazioni su faglie superficiali ed è uno strumento utilizzabile per le analisi di pericolosità ambientale e sismica, per la pianificazione territoriale e per la pianificazione degli interventi durante le emergenze di protezione civile.

Dal database Ithaca (figura sottostante) è riscontrabile, a circa 4 km di distanza a SE dell'area oggetto di studio, una faglia con cinematismo normale denominata "Eastern Ofanto Valley" con direzione di immersione N, ultima attività risale tardo Pleistocene.



ISPRA

ITHACA - CATALOGO DELLE FAGLIE CAPACI

ISPRA-Dipartimento per il Servizio Geologico d'Italia
Torna alla Home Page

Info Help

Legend

ITHACA

Kinematics

- Unknown
- Normal Fault
- Oblique Fault
- Reverse Fault
- Strike Slip

Layers

Bookmarks

Identify

Find

Draw

Measurement

Print

Google Street View

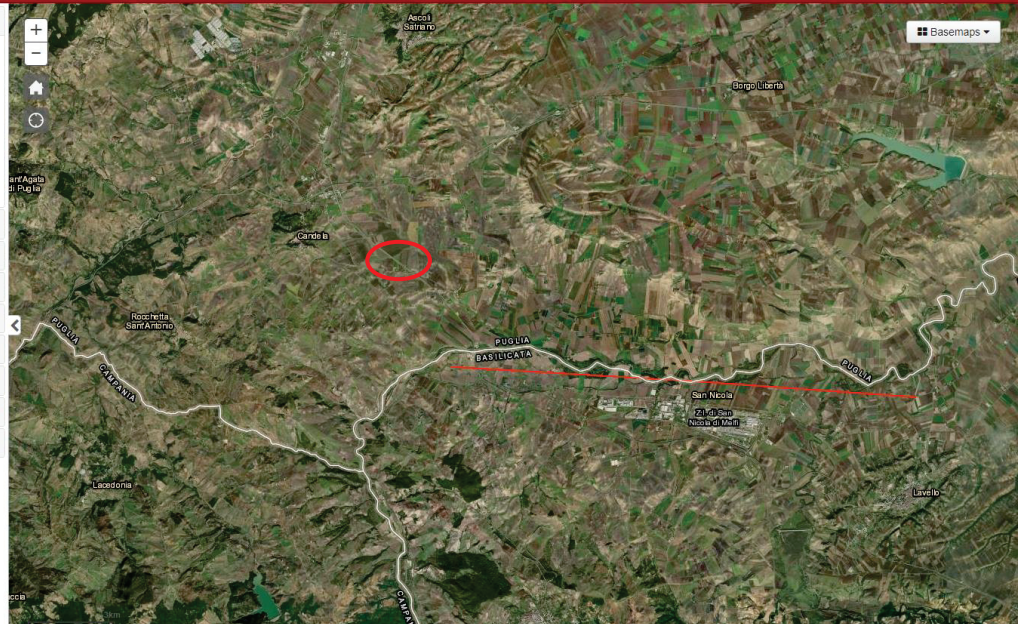


Figura 20: – Database Ithaca con individuazione delle strutture tettoniche attive in Italia (cerchio in rosso = area di studio)

Mentre il database DISS (*Database of Individual Seismogenic Sources*) contiene le strutture primarie, quelle cioè che si prendono carico della maggior parte della deformazione tettonica e, muovendosi in profondità, causano i terremoti principali e il relativo scuotimento, caratterizzandole in termini di massima magnitudo potenziale e distanza sorgente-sito. A queste strutture primarie possono essere associate diverse strutture secondarie, che possono essere sede di sismicità minore durante le sequenze sismiche, e in alcuni casi possono arrivare a tagliare direttamente la superficie; queste tuttavia non sono riportate nel DISS se non per i casi di rotture di superficie associate a terremoti storici o recenti studiati con approccio paleosismologico.

Il catalogo parametrico DISS 3.2.1 rappresenta senza dubbio la base di dati parametrici più completa ed aggiornata che definisce le più importanti sorgenti e strutture sismogeniche presenti in Italia (DISS Working Group, 2006). Questo catalogo è stato scelto come base di riferimento per individuare i terremoti più importanti per l'area studiata.

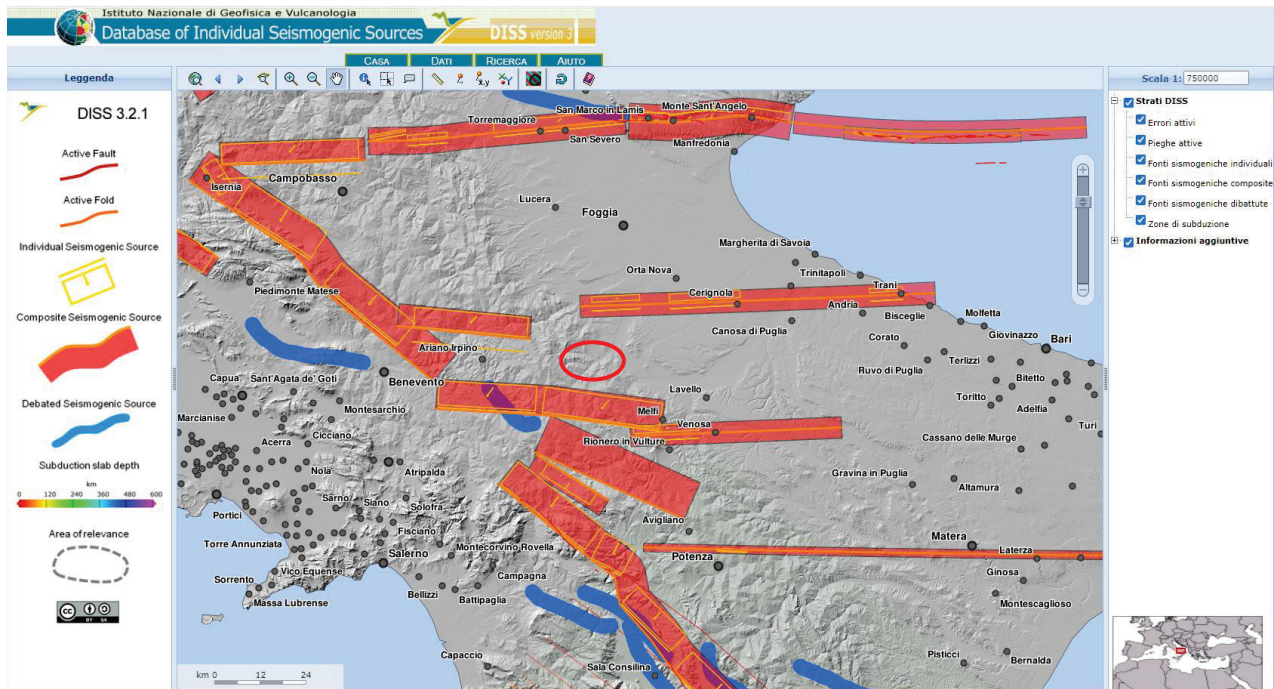


Figura 21: – Database DISS 3.2.1 ubicazione delle sorgenti sismogenetiche più vicine all'area di studio (cerchio in rosso).

La nuova zonazione sismogenetica ZS9 ha lo scopo di recepire le informazioni sulle sorgenti sismogenetiche italiane messe a disposizione da DISS 3.2.1 e altre faglie attive, oltre ad inserire dati relativi ai terremoti più importanti. In particolare, l'area di studio ricade nella zone sismogenetiche 925, una delle zone sorgente dell'Appennino Meridionale.

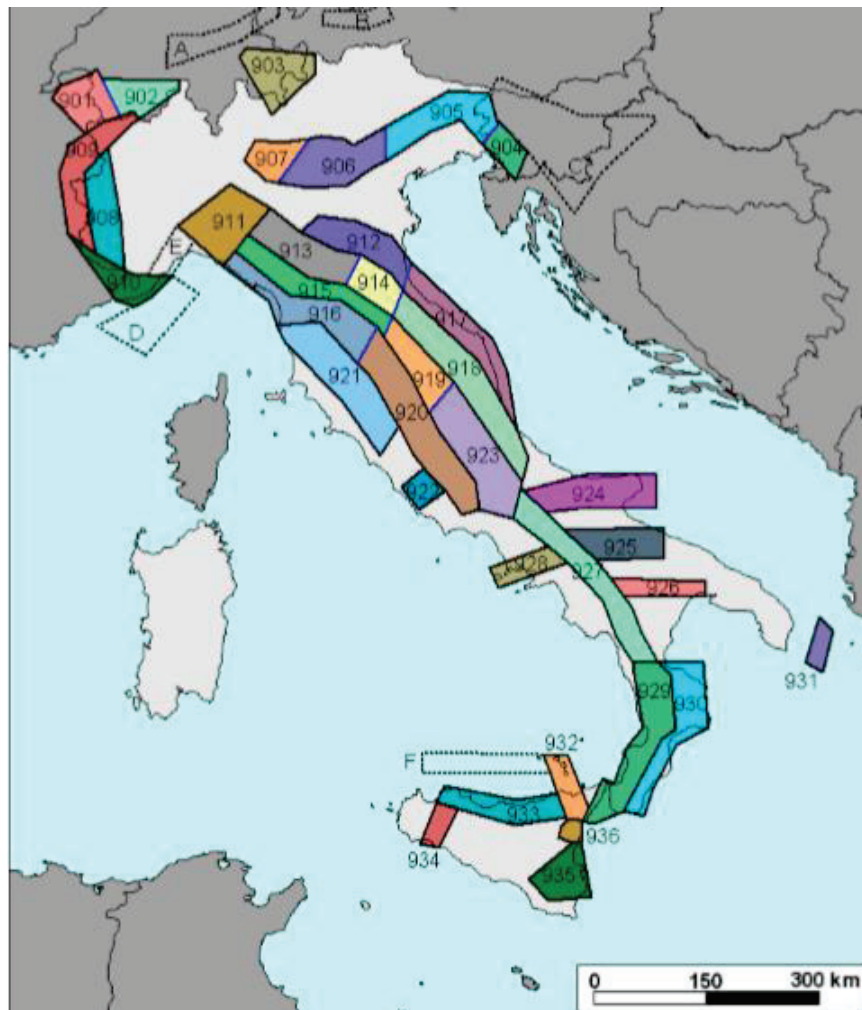


Figura 22: – Zonazione sismogenetica ZS9 con indicazione dell'area di studio (da www.ingv.it)

Un'altra importante novità inserita nella ZS9 è l'introduzione dello strato sismogenetico che è stato definito convenzionalmente come l'intervallo di profondità che ha generato il 90% degli eventi che ricadono all'interno di ogni zona. I limiti superiore e inferiore dello strato sismogenetico sono individuati alle profondità che includono un numero di eventi cumulato pari rispettivamente al 5% e al 95% del totale. La profondità alla quale avviene la maggior parte degli eventi è stata identificata con la moda principale della distribuzione di frequenza degli eventi.

La classificazione sismica del territorio tiene conto non solo dell'ubicazione delle sorgenti sismiche, ma anche della propagazione dell'energia sismica con la distanza dalla sorgente e della eventuale amplificazione locale delle oscillazioni sismiche, prodotte dalle caratteristiche del terreno.

8.3 PERICOLOSITA' SISMICA DI BASE

E' noto come l'azione sismica sulle costruzioni sia generata dal moto non uniforme del terreno di sedime per effetto della propagazione delle onde sismiche. Il moto sismico eccita la struttura provocandone la risposta dinamica, che va verificata e controllata negli aspetti di sicurezza e di prestazioni attese.

Per ridurre gli effetti del terremoto, l'azione dello Stato si è concentrata sulla classificazione del territorio, in base all'intensità e frequenza dei terremoti del passato, e sull'applicazione di speciali norme per le costruzioni nelle zone classificate sismiche.

Con pericolosità sismica si intende lo scuotimento del suolo atteso in un sito a causa di un terremoto. Essendo prevalentemente un'analisi di tipo probabilistico, si può definire un certo scuotimento solo associato alla probabilità di accadimento nel prossimo futuro.

Già nell'Ordinanza PCM 3274 2003 "Mappa delle zone sismiche" il dipartimento della protezione civile ha redatto la mappa delle zone sismiche d'Italia. Sul sito della protezione civile è pubblicato l'aggiornamento della classificazione sismica a livello nazionale (dicembre 2020).

Il comune di Candela (FG) ricade in una zona a rischio sismico 1... *"E' la zona più pericolosa. La probabilità che capiti un forte terremoto è alta"* (<http://www.protezionecivile.gov.it/attivita-rischi/rischio-sismico/attivita/classificazione-sismica>).

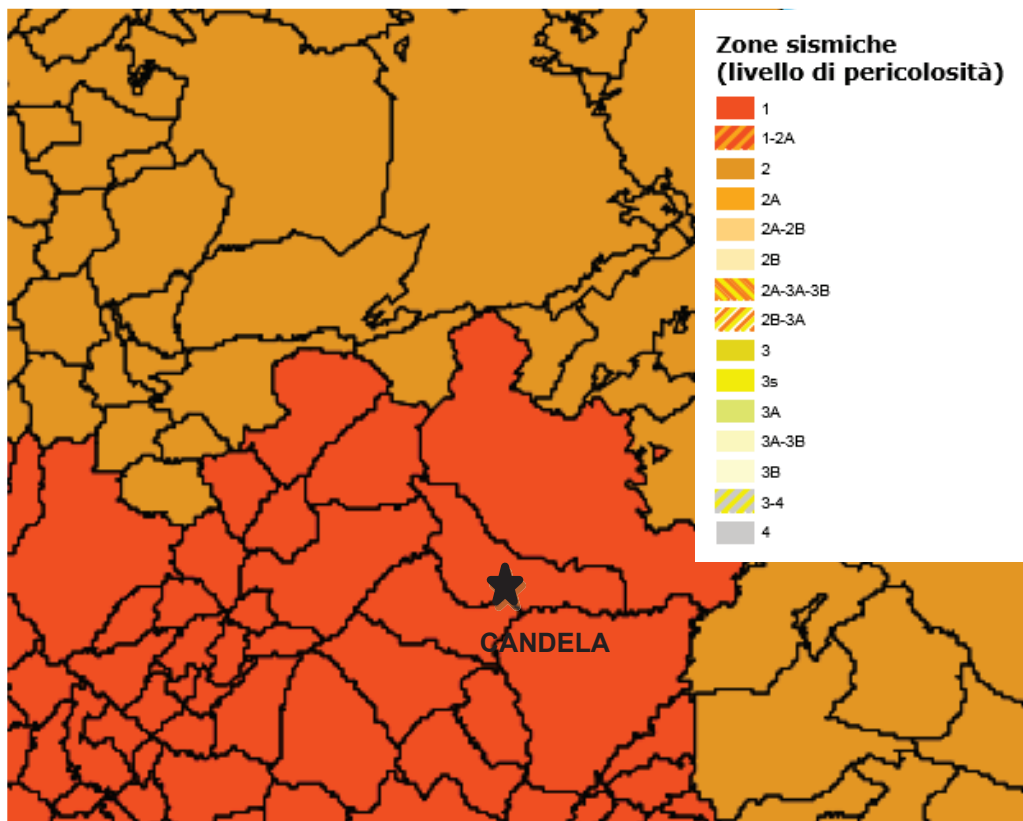


Figura 23: - Stralcio della classificazione sismica (2020)

Già con il D.M. 14/01/2008 era stato introdotto una nuova modalità di valutazione dell'intensità dell'azione sismica da tener conto nella fase di progettazione dei fabbricati, basata non più su una mappa sismica "classica" suddivisa in categorie o zone, bensì su un reticolo di riferimento (per i parametri sismici è stato utilizzato il portale online di GEOSTRU).

La grande novità consiste nel non avere più delle aree perfettamente confinate; il nuovo sistema di mappatura suddivide infatti l'intero territorio nazionale in riquadri, in cui a ciascun vertice è attribuito un valore di accelerazione sismica a_g prevista sul suolo, definita come parametro dello scuotimento, che insieme ai coefficienti S_s ed S_t (stratigrafici e topografici) diventano utili come riferimento per la valutazione dell'effetto sismico da applicare all'opera di progetto, secondo le procedure indicate nello stesso Decreto Ministeriale.

Il reticolo di riferimento ed i dati di pericolosità sismica di base vengono forniti dall'INGV e pubblicati su <http://esse1.mi.ingv.it/> attraverso le coordinate geografiche del sito. Questi range di valori di a_g non tengono conto dell'amplificazione sismica locale (topografiche e stratigrafiche).

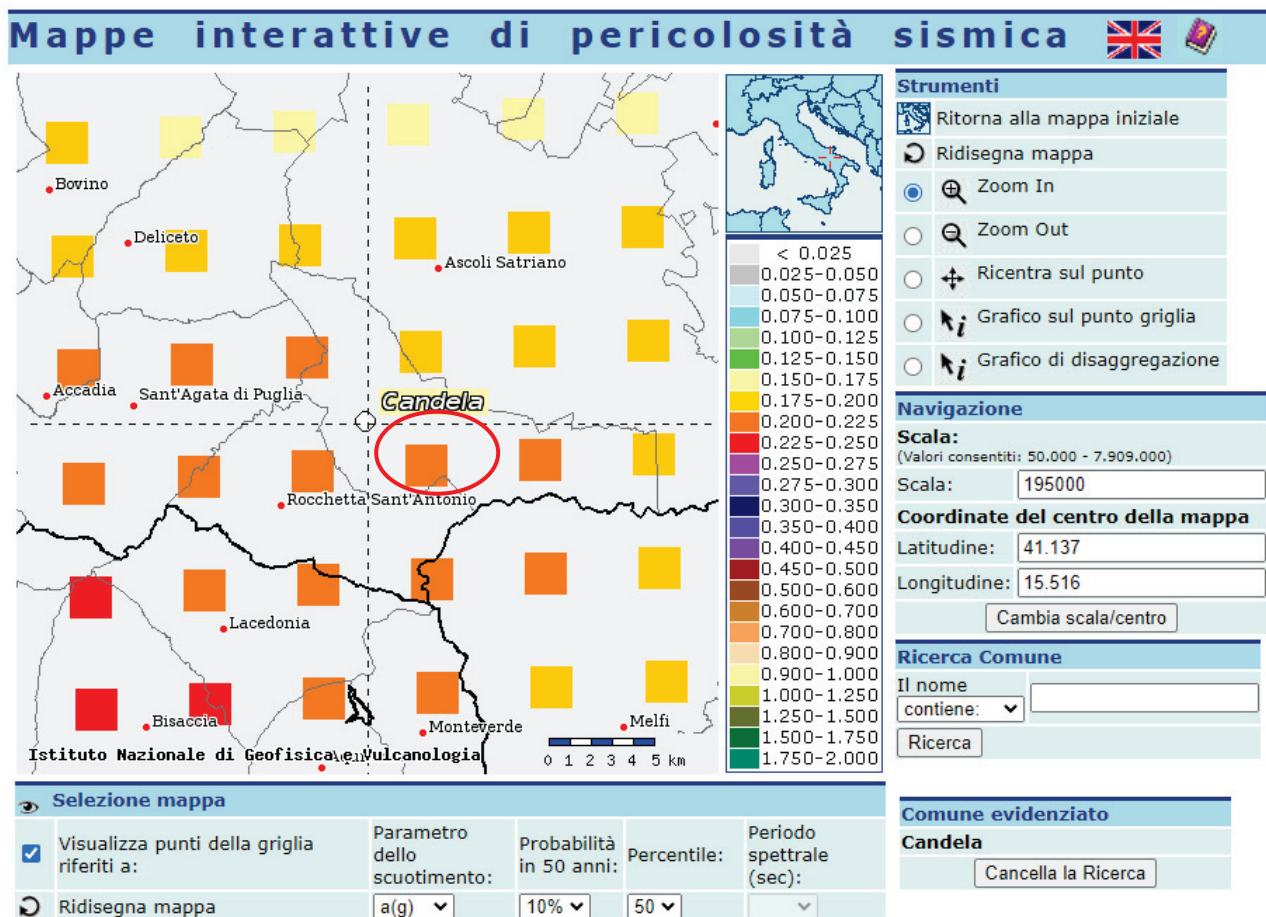


Figura 24: - Mappa dell'accelerazione massima al suolo con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni riferita a suoli rigidi ($V_{s30} > 800\text{m/s}$ Cat. A).

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 quanto riguarda l'accelerazione sismica di riferimento dell'area, il comune di Candela ricade, nel punto del reticolo di riferimento definito da longitudine 15.516 e latitudine 41.137, nella maglia elementare l'accelerazione orizzontale con probabilità di superamento del 10% in 50 anni (pericolosità di base), nel range di valori compresi tra 0,200 e 0,225 (ag/g).

Per la stima dell'accelerazione massima del sito (pericolosità locale), è necessario considerare alla pericolosità di base anche i fattori di amplificazione locale del terreno (topografica e stratigrafica).

La classificazione sismica (zona sismica di appartenenza del comune) rimane utile solo per la gestione della pianificazione e per il controllo del territorio da parte degli enti preposti (Regione, Genio Civile, ecc).

8.4 CARATTERIZZAZIONE SISMICA

Con **Decreto del 17 Gennaio del 2018**, pubblicato sulla Gazzetta Ufficiale Martedì 20 Febbraio, sono state **aggiornate** le *Norme Tecniche per le Costruzioni*.

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, l'effetto della risposta sismica locale si valuta mediante specifiche analisi, da eseguire con le modalità indicate nel capitolo 7.11.3. In alternativa, qualora le condizioni stratigrafiche e le proprietà dei terreni siano chiaramente riconducibili alle categorie definite nella Tab. 3.2.II, si può fare riferimento a un approccio semplificato che si basa sulla classificazione del sottosuolo in funzione dei valori della velocità di propagazione delle onde di taglio, Vs. I valori dei parametri meccanici necessari per le analisi di risposta sismica locale o delle velocità Vs per l'approccio semplificato costituiscono parte integrante della caratterizzazione geotecnica dei terreni compresi nel volume significativo, di cui al capitolo 6.2.2.

Nello specifico il recente **D.M. del 17 gennaio 2018 (Aggiornamento delle norme tecniche per le costruzioni pubblicate sul supplemento ordinario della G.U. n. 42 del 20 febbraio 2018)** propone l'adozione di un sistema di caratterizzazione geofisica e geotecnica del profilo stratigrafico del suolo mediante cinque tipologie di suoli: **A – B – C – D – E**, eliminando gli ulteriori due speciali S1 e S2 presenti nelle precedenti NTC del 2008.

In particolare le cinque tipologie dei suoli sono così definite (Tab. 3.2.II):

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

I valori di V_s sono ottenuti mediante specifiche prove oppure, con giustificata motivazione e limitatamente all'approccio semplificato, sono valutati tramite relazioni empiriche.

La classificazione del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio, $V_{s,eq}$ (in m/s), definita dall'espressione:

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

Con h_i = spessore in metri dello strato i -esimo

$V_{s,i}$ = velocità dell'onda di taglio i -esima

N = numero di strati

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

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

Per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio $V_{s,eq}$ è definita dal parametro V_{s30} , ottenuto ponendo $H=30$ m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

Rispetto alle norme tecniche per le costruzioni (**DM 17 gennaio 2018**) il sito in esame ha una $V_{s,eq}$ di **400 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**.

Per quanto riguarda le condizioni topografiche, per quelle complesse è necessario predisporre specifiche analisi di risposta sismica locale. Per configurazioni superficiali semplici si può adottare la seguente classificazione (Tab. 3.2.III):

Tab. 3.2.III – Categorie topografiche

| Categoria | Caratteristiche della superficie topografica |
|------------------|---|
| T1 | Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$ |
| T2 | Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$ |
| T3 | Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ < i > 30^\circ$ |
| T4 | Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$ |

Per ciò che concerne l'area in studio, è caratterizzata da una zona praticamente sub-pianeggiante con valori di inclinazione media \leq di 15° . Pertanto, il coefficiente topografico da adottare è quello relativo alla categoria T1.

Alla luce della recente normativa è importante individuare la profondità alla quale è riscontrabile la presenza di rocce caratterizzate da velocità di propagazione delle onde di taglio superiori agli 800m/s in relazione al piano di posa delle fondazioni, a tal proposito è indispensabile programmare, in una fase successiva, una campagna di indagini dirette e indirette, in maniera puntuale, per determinare la classificazione di suolo attraverso la conoscenza della velocità delle onde S dei terreni (V_s).

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 attraverso le indagine sismiche eseguite nell'area di interesse, consente di definire lo stesso dal punto di vista sismico, l'area di studio ricade nella categoria di suolo B. Infatti la norma prevede che, per le fondazioni su pali, il calcolo delle V_s equivalenti deve considerare il volume di terreno dalla testa dei pali fino al substrato sismico. Nel caso in questione per i trenta metri di terreno investigato, i terreni non raggiungono la velocità $>$ di 800 m/s (substrato sismico) e quindi si deve considerare la V_s per tutti i 30 m di terreno.

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;

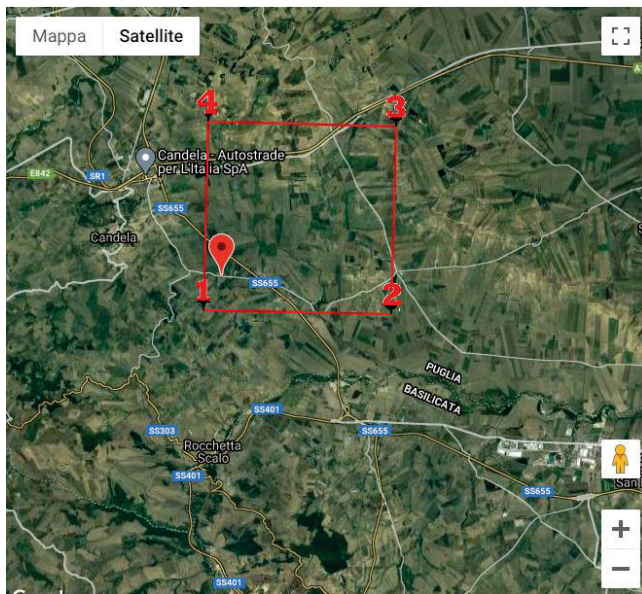
Fo valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale.

Tc* periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

Di seguito sono forniti i valori di **ag Fo e Tc*** nonché lo spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti verticali ed orizzontali, necessari per la determinazione delle azioni sismiche.

Ai fini della progettazione, il valore di accelerazione massima al suolo si ricava dalla maglia di riferimento per il calcolo dei parametri sismici (es. GEOSTRU parametri sismici).

Parametri sismici ricavati da GEOSTRU



Siti di riferimento ED 50

| | | | | |
|--------|-----------|--------------|--------------|--------------------|
| Sito 1 | ID: 31888 | Lat: 41,1164 | Lon: 15,5475 | Distanza: 1169,007 |
| Sito 2 | ID: 31889 | Lat: 41,1152 | Lon: 15,6139 | Distanza: 5146,251 |
| Sito 3 | ID: 31667 | Lat: 41,1652 | Lon: 15,6155 | Distanza: 6764,487 |
| Sito 4 | ID: 31666 | Lat: 41,1664 | Lon: 15,5491 | Distanza: 4543,040 |

Coordinate WGS84: **lat: 41.124718 long: 15.553177**

Litologia prevalente: **Argille limoso-marnose grigio-azzurre**

Classe d'uso edificio: **4**

Coefficiente d'uso: **2**

Vita Nominale: **50 anni**

 Categoria topografica: **T1**

 Periodo di riferimento: **100 anni**
 $V_{S30}=400 \text{ m/s}$

 Categoria di Sottosuolo: **B**
Parametri Sismici

| | Probab. Sup. (%) | TR (anni) | a_g (g) | F_0 | T_c^* (s) |
|------------|------------------------|--------------|--------------|-------|----------------|
| SLO | 81 | 60 | 0.071 | 2.491 | 0.321 |
| SLD | 63 | 101 | 0.095 | 2.436 | 0.338 |
| SLV | 10 | 949 | 0.279 | 2.391 | 0.418 |
| SLC | 5 | 1950 | 0.387 | 2.338 | 0.435 |

| | S_s | C_c | S_t | K_h | K_v | A_{max} | Beta |
|------------|--------------|-------|--------------|--------------|--------------|-----------|-------|
| SLO | 1.200 | 1.380 | 1.000 | 0.017 | 0.008 | 0.832 | 0.200 |
| SLD | 1.200 | 1.370 | 1.000 | 0.023 | 0.011 | 1.113 | 0.200 |
| SLV | 1.130 | 1.310 | 1.000 | 0.088 | 0.044 | 3.094 | 0.280 |
| SLC | 1.040 | 1.300 | 1.000 | 0.113 | 0.056 | 3.944 | 0.280 |

Per il calcolo dell'accelerazione massima attesa al sito si fa riferimento alla seguente formula (NTC cap. 7.11.3) riferita allo Stato Limite SLV

$$a_{gmax} = S_s * S_t * a_g$$

$$S_s = 1,130 \quad S_t = 1,000 \quad a_g = 0,279$$

$$a_{gmax} = \mathbf{0.315}$$

con $K_h = \mathbf{0.088}$ (coeff. azione sismica orizzontale) $K_v = \mathbf{0.044}$ (coeff. azione sismica verticale)

9. TRATTAZIONE TEORICA DEI CALCOLI GEOTECNICI

I calcoli geotecnici completi sono riportati negli elaborati di riferimento denominato "GRE.EEC.R.25.IT.W.15001.00.103.0C_CALCOLI PRELIMINARI Edificio SS", "GRE.EEC.R.25.IT.W.15001.00.102.0C_CALCOLI PRELIMINARI Fondazioni Aerogeneratori" e "GRE.EEC.R.25.IT.W.15001.00.104.0C_CALCOLI PRELIMINARI FONDAZIONI APPARECCHIATURE ELETTROMECCANICHE".

9.1 **NORMATIVA DI RIFERIMENTO**

I calcoli sono condotti nel pieno rispetto della normativa vigente e, in particolare, la normativa cui viene fatto riferimento nelle fasi di calcolo, verifica e progettazione è costituita dalle Norme Tecniche per le Costruzioni, emanate con il D.M. 17/01/2018 pubblicato nel suppl. 8 G.U. 42 del 20/02/2018, nonché la Circolare del Ministero Infrastrutture e Trasporti del 21 Gennaio 2019, n. 7 "Istruzioni per l'applicazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni".

Per il calcolo delle strutture in oggetto si adatteranno i criteri della Geotecnica e della Scienza delle Costruzioni.

9.2 **CAPACITÀ PORTANTE DI FONDAZIONI SUPERFICIALI**

La verifica della capacità portante consiste nel confronto tra la pressione verticale di esercizio in fondazione e la pressione limite per il terreno, valutata secondo *Brinch-Hansen*:

$$q_{lim} = c \cdot N_c \cdot s_c \cdot d_c \cdot i_c \cdot g_c \cdot b_c \cdot \Psi_c + q \cdot N_q \cdot s_q \cdot d_q \cdot i_q \cdot g_q \cdot b_q \cdot \Psi_q + \frac{B'}{2} \cdot \gamma_f \cdot N_\gamma \cdot s_\gamma \cdot d_\gamma \cdot i_\gamma \cdot g_\gamma \cdot b_\gamma \cdot \Psi_\gamma \cdot r_\gamma$$

dove

Caratteristiche geometriche della fondazione:

q = carico sul piano di fondazione

B = lato minore della fondazione

L = lato maggiore della fondazione

D = profondità della fondazione

α = inclinazione base della fondazione

γ = peso specifico del terreno

B' = larghezza di fondazione ridotta = $B - 2 eB$

L' = lunghezza di fondazione ridotta = $L - 2 eL$

Caratteristiche di carico sulla fondazione:

H = risultante delle forze orizzontali

N = risultante delle forze verticali

e_B = eccentricità del carico verticale lungo B

e_L = eccentricità del carico verticale lungo L

F_{hB} = forza orizzontale lungo B

F_{hL} = forza orizzontale lungo L

Caratteristiche del terreno di fondazione:

β = inclinazione terreno a valle

$c = c_u$ = coesione non drenata (condizioni U)

$c = c'$ = coesione drenata (condizioni D)

Γ = peso specifico apparente (condizioni U)

$\Gamma = \Gamma'$ = peso specifico sommerso (condizioni D)

$\phi = 0$ = angolo di attrito interno (condizioni U)

$\phi = \phi'$ = angolo di attrito interno (condizioni D)

Fattori di capacità portante:

$$Nq = \tan^2\left(\frac{\pi}{4} + \frac{\phi}{2}\right) \exp(\pi \cdot \tan\phi) \quad (\text{Prandtl-Cauchot-Meyerhof})$$

$$Ng = 2(Nq + 1) \tan\phi \quad (\text{Vesic})$$

$$Nc = \frac{Nq - 1}{\tan\phi} \quad \text{in condizioni D} \quad (\text{Reissner-Meyerhof})$$

$$Nc = 5,14 \quad \text{in condizioni U}$$

Indici di rigidità (condizioni D):

$$I_r = \frac{G}{c' + q' \tan\phi} = \text{indice di rigidità}$$

$$q' = \text{pressione litostatica efficace alla profondità } D + \frac{B}{2}$$

$$G = \frac{E}{2(1 + \mu)} = \text{modulo elastico tangenziale}$$

E = modulo elastico normale

μ = coefficiente di Poisson

$$I_{cr} = \frac{1}{2} \exp \left[\frac{3,3 - 0,45 \frac{B}{L}}{\tan(45 - \frac{\phi'}{2})} \right] = \text{indice di rigidità critica}$$

Coefficienti di punzonamento (Vesic):

$$Y_q = Y_g = \exp \left[\left(0,6 \frac{B}{L} - 4,4 \right) \tan \phi' + \frac{3,07 \sin \phi' \log(2Ir)}{1 + \sin \phi'} \right] \text{ in condizioni drenate, per } Ir \leq I_{cr}$$

$$Y_c = Y_q - \frac{1 - Y_q}{N_c \times \tan \phi'}$$

Coefficienti di inclinazione del carico (Vesic):

$$i_g = \left(\frac{1 - H}{N + B \times L \times c' \times \cot \phi'} \right)^{m+1}$$

$$i_q = \left(\frac{1 - H}{N + B \times L \times c' \times \cot \phi'} \right)^m$$

$$i_c = i_q - \frac{1 - i_q}{N_c \times \tan \phi'} \quad \text{in condizioni D}$$

$$i_c = 1 - \frac{m \times H}{B \times L \times c_u \times N_c} \quad \text{in condizioni U}$$

essendo:

$$m = mB \cos^2 \Theta + mL \sin^2 \Theta$$

$$mB = \frac{2 + \frac{B'}{L'}}{1 + \frac{B'}{L'}} \quad mL = \frac{2 + \frac{L'}{B'}}{1 + \frac{L'}{B'}} \quad \Theta = \tan^{-1} \frac{Fh \times B}{Fh \times L}$$

Coefficienti di affondamento del piano di posa (Brinch-Hansen):

$$dq = 1 + 2 \tan \phi (1 - \sin \phi)^2 \arctg \frac{D}{B'} \quad \text{per } D > B'$$

$$dq = 1 + 2 \frac{D}{B'} \tan \phi (1 - \sin \phi)^2 \quad \text{per } D \leq B'$$

$$dc = dq - \frac{1 - dq}{N_c \times \tan \phi} \quad \text{in condizioni D}$$

$$dc = 1 + 0,4 \arctan \frac{D}{B'} \quad \text{per } D > B' \text{ in condizioni U}$$

$$dc = 1 + 0,4 \frac{D}{B'} \quad \text{per } D \leq B' \text{ in condizioni U}$$

Coefficienti di inclinazione del piano di posa:

$$bg = \exp(-2,7\alpha \tan \phi)$$

$$bc = bq = \exp(-2\alpha \tan \phi) \quad \text{in condizioni D}$$

$$bc = 1 - \frac{\alpha}{147} \quad \text{in condizioni U}$$

$$bq = 1 \quad \text{in condizioni U)}$$

Coefficienti di inclinazione del terreno di fondazione:

$$gc = gq = \sqrt{1 - 0,5 \tan \beta} \quad \text{in condizioni D}$$

$$gc = 1 - \frac{\beta}{147} \quad \text{in condizioni U}$$

$$gq = 1 \quad \text{in condizioni U}$$

Coefficienti di forma (De Beer):

$$sg = 1 - 0,4 \frac{B'}{L'}$$

$$sq = 1 + \frac{B'}{L'} \tan \phi$$

$$sc = 1 + \frac{B' Nq}{L' Nc}$$

L'azione del sisma si traduce in accelerazioni nel sottosuolo (effetto cinematico) e nella fondazione, per l'azione delle forze d'inerzia generate nella struttura in elevazione (effetto inerziale). Tali effetti possono essere portati in conto mediante l'introduzione di coefficienti sismici rispettivamente denominati K_{hi} e I_{gk} , il primo definito dal rapporto tra le componenti orizzontale e verticale dei carichi trasmessi in fondazione ed il secondo funzione dell'accelerazione massima attesa al sito. L'effetto inerziale produce variazioni di tutti i coefficienti di capacità portante del carico limite in funzione del coefficiente sismico K_{hi} e viene portato in conto impiegando le formule comunemente adottate per calcolare i coefficienti correttivi del carico limite in funzione dell'inclinazione, rispetto alla verticale, del carico agente sul piano di posa. Nel caso in cui sia stato attivato il flag per tener conto degli effetti cinematici il valore I_{gk} modifica invece il solo coefficiente N_g ; il fattore N_g viene infatti moltiplicato sia per il coefficiente correttivo dell'effetto inerziale, sia per il coefficiente correttivo per l'effetto cinematico.

9.3 CAPACITÀ PORTANTE DI FONDAZIONI SU PALI

Per gli aerogeneratori, vista sia la situazione stratigrafica e geomeccanica dei terreni di sedime, sia le caratteristiche strutturali dell'opera in progetto, si ritiene che per essa la soluzione fondale più idonea, in tale situazione, sia l'adozione di fondazioni di tipo profondo. Per la determinazione della portanza verticale di fondazioni profonde si fa riferimento a due

contributi: la "portanza di punta" e la "portanza per attrito laterale". Nel seguito, ai fini del calcolo della portanza verticale, si assumeranno le seguenti espressioni generali valide per il caso di palo soggetto a compressione e per il caso di palo soggetto a trazione.

I valori del carico limite verticale alla punta del palo " Q_P " e del carico limite verticale lungo la superficie laterale del palo " Q_L " sono determinati con le note "formule statiche". Queste esprimono i valori di cui sopra in funzione della geometria del palo, delle caratteristiche geotecniche del terreno in cui è immerso, della modalità esecutiva e dell'interfaccia palo-terreno.

a) Pali resistenti a compressione

Il carico ultimo del palo a compressione risulta:

$$Q_{lim} = Q_{punta} + Q_{later} - \text{Peso palo}$$

9.3.1 Q_{PUNTA}: RESISTENZA ALLA PUNTA

- In terreni coesivi in condizioni non drenate:

$$Q_{punta} = (C_{up} \times N_c + \sigma_v) \times A_p \times R_c$$

essendo

C_{up} = coesione non drenata terreno alla quota della punta

N_c = coeff. di capacità portante = 9

σ_v = tensione verticale totale in punta

A_p = area della punta del palo

R_c = coeff. di *Meyerhof* per le argille S/C

$$R_c = \frac{D+1}{2D+1} \quad \text{per pali trivellati} \qquad R_c = \frac{D+0,5}{2D} \quad \text{per pali infissi}$$

D = diametro del palo

- In terreni coesivi in condizioni drenate (secondo *Vesic*):

$$Q_{punta} = (\mu \times \sigma_v' \times N_q + c' \times N_c) \times A_p$$

essendo

$$\mu = \frac{1 + 2(1 - \sin \phi')}{3}$$

$$Nq = \frac{3}{3 - \sin \phi'} \exp \left[\left(\left(\frac{\pi}{2} - \phi' \right) \tan \phi' \right) \tan^2 \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\phi'}{2} \right) \times Irr^{\frac{4 \sin \phi'}{3(1 + \sin \phi')}} \right]$$

Irr = indice di rigidità ridotta

$$Irr \approx Ir = \text{indice di rigidità} = \frac{G}{c' + \sigma'_v \tan \phi'}$$

G = modulo elastico di taglio

σ'_v = tensione verticale efficace in punta

$$Nc = (Nq - 1) \cot \phi'$$

- In terreni incoerenti (secondo *Berezantzev*):

$$Q_{\text{punta}} = \sigma'_v \times \alpha q \times Nq \times Ap$$

essendo

αq = coeff. di riduzione per effetto silos in funzione di L/D

Nq = calcolato con ϕ^* secondo *Kishida*:

$$\phi^* = \phi' - 3^\circ \quad \text{per pali trivellati}$$

$$\phi^* = (\phi' + 40^\circ) / 2 \quad \text{per pali infissi}$$

L = lunghezza del palo

9.3.2 QLATER: RESISTENZA LATERALE

- In terreni coesivi in condizioni non drenate:

$$Q_{\text{later}} = \alpha \times Cum \times As$$

essendo

Cum = coesione non drenata media lungo lo strato

As = area della superficie laterale del palo

α = coeff. riduttivo in funzione delle modalità esecutive:

- per pali infissi:

$$\alpha = 1 \quad \text{per } Cu \leq 25 \text{ kPa (0,25 kg/cm}^2\text{)}$$

$$\alpha = 1 - 0,011(Cu - 25) \quad \text{per } 25 < Cu < 70 \text{ kPa}$$

$$\alpha = 0,5 \quad \text{per } Cu \geq 70 \text{ kPa (0,70 kg/cm}^2\text{)}$$

- per pali trivellati:

$$\alpha = 0,7 \quad \text{per } Cu \leq 25 \text{ kPa (0,25 kg/cm}^2\text{)}$$

$$\alpha = 0,7 - 0,008(Cu - 25) \quad \text{per } 25 < Cu < 70 \text{ kPa}$$

$$\alpha = 0,35 \quad \text{per } C_u \geq 70 \text{ kPa (0,70 kg/cm}^2\text{)}$$

- In terreni coesivi in condizioni drenate:

$$Q_{later} = (1 - \sin \phi') \cdot \sigma'_v(z) \cdot \mu \cdot A_s$$

essendo

$\sigma'_v(z)$ = tensione verticale efficace lungo il fusto del palo

μ = coefficiente di attrito:

$$\mu = \tan \phi' \quad \text{per pali trivellati}$$

$$\mu = \tan (3/4 \cdot \phi') \quad \text{per pali infissi prefabbricati}$$

- In terreni incoerenti:

$$Q_{later} = K \cdot \sigma'_v(z) \cdot \mu \cdot A_s$$

essendo

$\sigma'_v(z)$ = tensione verticale efficace lungo il fusto del palo

K = coefficiente di spinta:

$$K = (1 - \sin \phi') \quad \text{per pali trivellati}$$

$$K = 1 \quad \text{per pali infissi}$$

μ = coefficiente di attrito:

$$\mu = \tan \phi' \quad \text{per pali trivellati}$$

$$\mu = \tan(3/4 \cdot \phi') \quad \text{per pali infissi prefabbricati}$$

Il carico ammissibile risulta pari a:

$$Q_{amm} = \left(\frac{Q_{punta}}{\mu_P} + \frac{Q_{later} - P_{palo} - P_{attr} - neg}{\mu_L} \right) \times E_g$$

dove:

μ_P = coefficiente di sicurezza del palo per resistenza di punta

μ_L = coefficiente di sicurezza del palo per resistenza laterale

E_g = coefficiente di efficienza dei pali in gruppo:

- in terreni coesivi:

a) per plinti rettangolari (secondo *Converse-La Barre*):

$$E_g = 1 - \arctan \frac{D}{i} \cdot \frac{(n-1)m + (m-1)n}{90mn}$$

con

m = numero delle file dei pali nel gruppo

n = numero di pali per ciascuna fila

i = interasse fra i pali

b) per plinti triangolari (secondo *Barla*):

$$E_g = 1 - \arctan \frac{D}{i} \cdot 7.05E - 03$$

c) per plinti rettangolari a cinque pali (secondo *Barla*):

$$E_g = 1 - \arctan \frac{D}{i} \cdot 10.85E - 03$$

- in terreni incoerenti:

$E_g = 1$ per pali infissi

$E_g = 2/3$ per pali trivellati

b) Pali resistenti a trazione

- Il carico ultimo del palo a trazione vale:

$$Q_{lim} = Q_{later} + \text{Peso palo}$$

- Il carico ammissibile risulta invece pari a:

$$Q_{amm} = Q_{lim} / \mu L$$

9.4 CAPACITÀ PORTANTE DELLE PLATEE

La verifica agli S.L.U. delle platee di fondazione risulta particolarmente difficoltosa poiché tali fondazioni spesso hanno forme non rettangolari e pertanto non è possibile valutarne la capacità portante attraverso le classiche formule della geotecnica.

Per potere valutare la portanza delle platee si è quindi implementato un tipo di verifica in cui la fondazione viene modellata per intero (potendo essere costituita, nella forma più

generale, da travi rovesce, plinti, pali e platee).

In particolare, gli elementi strutturali vengono modellati in campo elastico lineare, mentre il terreno viene modellato come un letto di molle:

- a) lineari elastiche e non reagenti a trazione per le platee;
- b) molle non lineari elasto-plastiche non reagenti a trazione per le travi *Winkler* ed i plinti diretti.

Per le molle elastiche delle platee viene calcolato anche il limite elastico, al fine di bloccare il calcolo del moltiplicatore dei carichi qualora venga raggiunto tale limite.

Il legame di tipo elastico reagente a sola compressione è ottenuto utilizzando come rigidità all'origine la costante di *Winkler* del terreno. Il modello così ottenuto è in grado di tenere in conto dell'eterogeneità del terreno in maniera puntuale. Su tale modello viene quindi condotta un'analisi non lineare a controllo di forza immettendo le forze agenti sulla fondazione.

Il calcolo viene interrotto quando le molle delle platee attingono al loro limite elastico o qualora venga raggiunto uno stato di incipiente formazione di cerniere plastiche nelle travi *Winkler*. In corrispondenza a tali eventi viene calcolato il moltiplicatore dei carichi.

9.5 CALCOLO DEI CEDIMENTI

Il calcolo viene eseguito sulla base della conoscenza delle tensioni nel sottosuolo.

$$\mu = \int \frac{\sigma(z)}{E} dz$$

essendo

E = modulo elastico o edometrico

$\sigma(z)$ = tensione verticale nel sottosuolo dovuta all'incremento di carico q

La distribuzione delle tensioni verticali viene valutata secondo l'espressione di *Steinbrenner*, considerando la pressione agente uniformemente su una superficie rettangolare di dimensioni B e L:

$$\sigma(z) = \frac{q}{4\pi} \left[\frac{2 \times M \times N \times \sqrt{V} \times (V+1)}{V(V+V1)} + \left| \arctan \frac{2 \times M \times N \times \sqrt{V}}{V-V1} \right| \right]$$

con:

$$M = B / z$$

$$N = L / z$$

$$V = M^2 + N^2 + 1$$

$$V1 = (M \times N)^2$$

10. CONCLUSIONI

Dall'analisi delle tematiche geologiche, geomorfologiche e sismiche si evince che:

– In base alle disposizioni della vigente normativa sulle costruzioni, **i terreni che interessano il sito in esame appartengono alla categoria di suolo B** della nuova classificazione sismica, ossia trattasi di "*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*".

– Per la tipologia di opera in esame, il valore di a_g rappresentativo dell'area è pari a 0,279g, con probabilità di superamento del 10% (SLV), ed il valore del coefficiente di amplificazione sismica $S_s = 1,130$ da cui si ottiene **un'accelerazione massima attesa al sito pari a $A_{gmax} = 0.315$ g.**

I parametri geotecnici utilizzati in questa relazione, provengono da prove dirette ed indirette effettuate in sito. Alcuni parametri geotecnici sono ricavati da formule empiriche, al fine di ottenere valori di massima, con l'intento di dare un supporto all'elaborazione della caratterizzazione geotecnica.

Si fa riferimento ad un modello geologico tecnico di tipo empirico esteso all'intera area parco e alla zona di ubicazione della sottostazione.

Si precisa che i dati sopra elencati sono, in via del tutto preliminare, a tal proposito sarà necessario in una fase successiva programmare una campagna di indagini dirette ed indirette per determinare, in maniera puntuale, un modello geotecnico rappresentativo delle condizioni stratigrafiche e della caratterizzazione fisico-meccanica dei terreni ai fini fondali.

Per tutto quanto in dettaglio si fa espresso rimando ai paragrafi precedenti.

IL GEOLOGO

Dott. Lucia Santopietro