



Green Power

Engineering &amp; Construction



GRE CODE

GRE.EEC.R.73.IT.W.12420.12.006.00

PAGE

1 di/of 55

TITLE:

AVAILABLE LANGUAGE: IT

# INTEGRALE RICOSTRUZIONE DELL'IMPIANTO EOLICO DI NICOSIA

## PROGETTO DEFINITIVO

### Relazione geologica

File: GRE.EEC.R.73.IT.W.12420.12.006.00 - Relazione geologica

| REV. | DATE       | DESCRIPTION     | PREPARED               | VERIFIED  | APPROVED  |
|------|------------|-----------------|------------------------|-----------|-----------|
| 00   | 03/07/2020 | Prima emissione | G. Coduri<br>S. Boxler | N. Novati | G. Coduri |

#### GRE VALIDATION

Tomassetti (GRE)

Iacofano (GRE)

COLLABORATORS

VERIFIED BY

VALIDATED BY

PROJECT / PLANT

Nicosia

#### GRE CODE

| GROUP | FUNCTION | TYPE | ISSUER | COUNTRY | TEC | PLANT | SYSTEM | PROGRESSIVE | REVISION |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
|-------|----------|------|--------|---------|-----|-------|--------|-------------|----------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| GRE   | EEC      | R    | 7      | 3       | I   | T     | W      | 1           | 2        | 4 | 2 | 0 | 1 | 2 | 0 | 0 | 6 | 0 | 0 |

CLASSIFICATION

PUBLIC

UTILIZATION SCOPE

BASIC DESIGN

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.

**INDEX**

|  |    |
|--|----|
| 1. INTRODUZIONE .....  | 3  |
| 1.1. DESCRIZIONE DEL PROPONENTE.....   | 3  |
| 1.2. CONTENUTI DELLA RELAZIONE .....   | 3  |
| 2. INQUADRAMENTO TERRITORIALE.....   | 4  |
| 3. INQUADRAMENTO GEOLOGICO .....   | 6  |
| 3.1. INQUADRAMENTO GENERALE DELL'AREA.....   | 6  |
| 3.2. INQUADRAMENTO GEOLOGICO DELL'AREA DI STUDIO .....                                 | 8  |
| 4. SITE VISIT DICEMBRE 2019 .....  | 13 |
| 5. IDROGEOLOGIA.....   | 16 |
| 6. VULNERABILITÀ DEL TERRITORIO .....  | 16 |
| 6.1. RETICOLO IDROGRAFICO E RISCHIO IDRAULICO.....                                     | 16 |
| 6.2. DISSESTO GEOMORFOLOGICO.....  | 19 |
| 7. ASSETTO STRATIGRAFICO LOCALE.....   | 24 |
| 7.1. SEZIONI STRATIGRAFICHE .....  | 24 |
| 7.1.1. SEZIONE 1-14: ESAGERAZIONE VERTICALE X20 .....                                  | 24 |
| 7.1.2. SEZIONE 15-27: ESAGERAZIONE VERTICALE X20 .....                                 | 25 |
| 7.1.3. SEZIONE 28-41: ESAGERAZIONE VERTICALE X20 .....                                 | 26 |
| 7.1.4. SEZIONE 42-55: ESAGERAZIONE VERTICALE X20 .....                                 | 27 |
| 8. ANALISI GEOTECNICHE .....   | 29 |
| 8.1. PREMESSA .....  | 29 |
| 8.2. CONSIDERAZIONI SUI DATI GEOTECNICI DISPONIBILI .....                              | 29 |
| 8.3. DEFINIZIONE DELLE "STRATIGRAFIE TIPO" PER AREA DI INTERVENTO.....                 | 32 |
| 8.3.1. TERRENO VEGETALE (TV) .....   | 34 |
| 8.3.2. LIMO ARGILLOSO CONSISTENTE (LAS).....   | 34 |
| 8.3.3. ARGILLA SILTITICA (AS).....   | 36 |
| 8.3.4. ARENARIE CEMENTATE E FRATTURATE (AR) .....                                      | 38 |
| 8.3.5. SABBIE LIMOSE (SL).....   | 38 |
| 8.3.6. STRATO DI DETRITO (D) .....   | 39 |
| 8.3.7. STRATO ALTERNANZE (ALT).....  | 39 |
| 8.3.8. TABELLA RIASSUNTIVA CARATTERISTICHE GEOTECNICHE .....                           | 39 |
| 8.4. VALORI GEOTECNICI E SISMICI MEDI PER LE LITOLOGIE PRESENTI.....                   | 42 |
| 8.5. CONSIDERAZIONI FINALI .....   | 44 |
| 9. MICROZONAZIONE SISMICA E PERICOLOSITA' SISMICA DEL SITO .....                       | 44 |
| 9.1. PREMESSA .....  | 44 |
| 9.2. FAGLIE ATTIVE E FONTI SIMOGENETICHE.....  | 44 |
| 9.3. SISMICITÀ STORICA E PERICOLOSITÀ SISMICA DEL TERRITORIO COMUNALE DI NICOSIA ..... | 46 |
| 9.4. STIMA CATEGORIA SUOLO .....   | 48 |
| 9.5. SISMICITÀ DELL'AREA .....   | 49 |
| 9.5.1. PREMESSA.....   | 49 |
| 9.5.2. MICROZONIZZAZIONE SISMICA.....  | 49 |
| 9.5.3. EFFETTI DI AMPLIFICAZIONE TOPOGRAFICA.....                                      | 50 |
| 9.6. PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE .....  | 50 |
| 9.7. PERICOLOSITÀ SISMICA DI SITO .....  | 52 |

10. CONCLUSIONI..... 55

## 1. INTRODUZIONE

Stantec S.p.A., in qualità di Consulente Tecnico, è stata incaricata da Enel Green Power S.p.A. ("EGP") di redigere il progetto definitivo per il potenziamento dell'esistente impianto eolico ubicato nei comuni di Nicosia (EN) e Mistretta (ME), in località "Contrada Marrocco", costituito da 55 aerogeneratori di potenza nominale pari a 0,85 MW, per una potenza totale installata di 46,75 MW.

L'energia prodotta dagli aerogeneratori, attraverso il sistema di cavidotti interrati in media tensione, viene convogliata alla sottostazione elettrica di alta tensione "Serra Marrocco" 150 kV, realizzata in entra-esce sulla linea Nicosia-Caltanissetta. La suddetta stazione elettrica è ubicata all'interno dell'area dell'impianto eolico.

Il progetto proposto prevede l'installazione di nuove turbine eoliche in sostituzione delle esistenti, in linea con gli standard più alti presenti sul mercato, e consentirà di ridurre il numero di macchine da 55 a 13, per una nuova potenza installata prevista pari a 78 MW, diminuendo in questo modo l'impatto visivo, in particolare il cosiddetto "effetto selva". Inoltre, la maggior efficienza dei nuovi aerogeneratori comporterà un aumento considerevole dell'energia specifica prodotta, riducendo in maniera proporzionale la quantità di CO<sub>2</sub> equivalente.

### 1.1. DESCRIZIONE DEL PROPONENTE

Enel Green Power S.p.A., in qualità di soggetto proponente del progetto, è la società del Gruppo Enel che dal 2008 si occupa dello sviluppo e della gestione delle attività di generazione di energia da fonti rinnovabili.

Enel Green Power è presente in 29 Paesi nel mondo: in 18 gestisce delle capacità produttive mentre in 11 è impegnata nello sviluppo e costruzione di nuovi impianti. La capacità gestita totale è di circa 46 GW, corrispondenti a più di 1.200 impianti.

In Italia, il parco di generazione di Enel Green Power è rappresentato da tutte le 5 tecnologie rinnovabili del gruppo: idroelettrico, eolico, fotovoltaico, geotermia e biomassa. Attualmente nel Paese conta una capacità gestita complessiva di oltre 14 GW.

### 1.2. CONTENUTI DELLA RELAZIONE

Lo scopo del presente lavoro è quello di:

- a) Inquadrare dal punto di vista geologico l'area del progetto;
- b) Verificare le caratteristiche geomorfologiche e l'assetto idrogeologico, con particolare riguardo alle condizioni di stabilità dei versanti;
- c) Individuare le caratteristiche stratigrafiche dei terreni sui quali verranno fondati gli aerogeneratori;
- d) Determinare le caratteristiche geotecniche dei terreni di fondazione.

Le attività svolte sono state le seguenti:

1. Verifica e controllo della documentazione esistente;
2. Sopralluogo in sito a dicembre 2019;
3. Pianificazione di una campagna di rilievo geologico/tecnico preliminare di superficie, finalizzata alla determinazione delle aree in cui sono necessari approfondimenti.

È stato dunque organizzato il lavoro basandosi sui dati di letteratura disponibili, dai sondaggi effettuati durante la costruzione del primo parco eolico ora oggetto di ammodernamento e sulle evidenze ottenute durante il sopralluogo.

In fase di progettazione esecutiva, verrà condotta una nuova campagna di rilievo geognostica.

Lo studio ha affrontato i seguenti temi:

- a. Inquadramento della situazione geotecnico-strutturale;
- b. Assetto geomorfologico e l'assetto idrogeologico;
- c. Valutazione sulle condizioni di pericolosità dell'area;
- d. Ricostruzione della stratigrafia locale mediante la consultazione delle indagini geognostiche eseguite in passato nell'ambito del progetto di realizzazione dell'esistente parco eolico;
- e. Caratterizzazione fisico-meccanica dei terreni, tramite la rielaborazione di tutti i dati disponibili, ottenuti durante le campagne geognostiche precedenti, e tramite la consultazione di lavori, eseguiti nelle vicinanze, sugli stessi materiali, al fine di verificare le caratteristiche geotecniche;
- f. Individuazione della categoria sismica locale del sottosuolo, tramite l'analisi di dati di letteratura.

## 2. INQUADRAMENTO TERRITORIALE

Il sito, oggetto del presente elaborato, è ubicato a circa 80 km a Sud-Est di Palermo ed a qualche km ad Est delle Madonie, nei comprensori comunali di Nicosia (EN) e Mistretta (ME), Regione Sicilia.

L'area interessata si sviluppa lungo il crinale della dorsale ad andamento O-E, che si estende tra Serra Marrocco, Monte Ferrante, Monte Quattro Finaite e località Portella Palumba (a sud di Monte Saraceno) per una lunghezza di circa 6 Km, e lungo i due crinali delle dorsali ad andamento Sud-Nord, che si estendono da Serra Marrocco per una lunghezza di circa 1 Km e tra Monte della Grassa e Monte Quattro Finaite per una lunghezza di circa 3 Km.

L'impianto in progetto ricade entro i confini comunali di Nicosia e Mistretta, in particolare all'interno dei seguenti riferimenti cartografici:

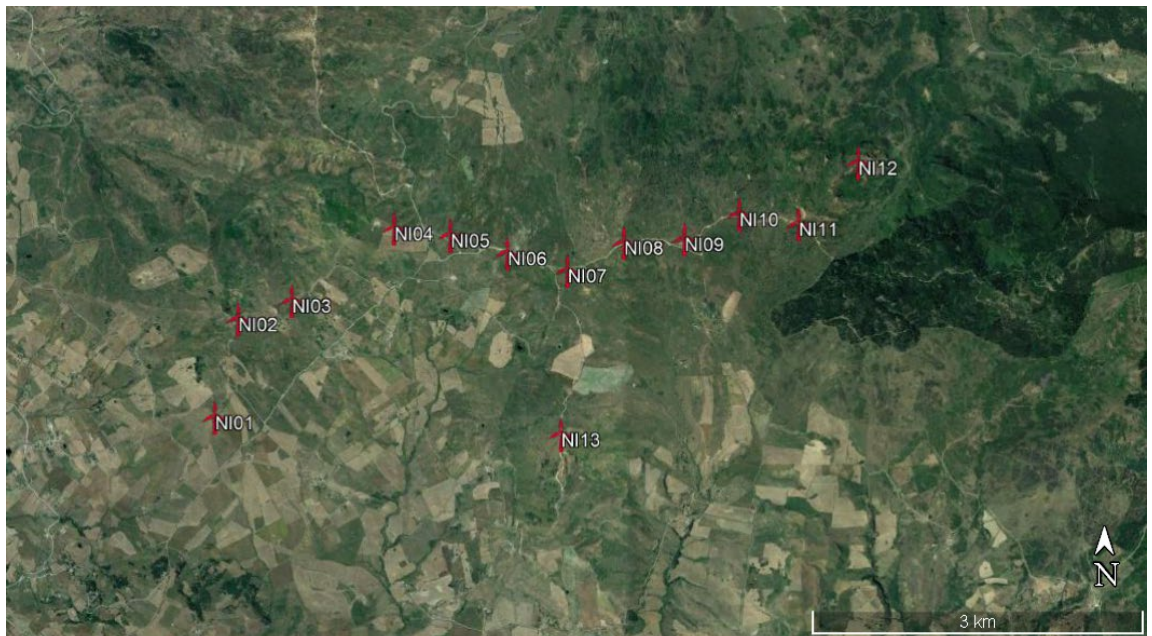
- Foglio di mappa catastale del Comune di Nicosia n° 1, 3, 4 e 5;
- Foglio di mappa catastale del Comune di Mistretta n° 96;
- Fogli I.G.M. in scala 1:25.000, codificati 260-I-SO Castel di Lucio e 260-II-NO Ganci;
- Carta tecnica regionale CTR in scala 1:10.000, foglio n° 610160.

Di seguito è riportato l'inquadramento territoriale dell'area di progetto e la configurazione proposta su ortofoto.





**Figura 2-1: Inquadramento generale dell'area di progetto**



**Figura 2-2: Configurazione proposta su ortofoto**

Di seguito è riportato in formato tabellare un dettaglio sulla locazione delle WTG di nuova costruzione, in coordinate WGS84 UTM fuso 33N:

**Tabella 1: Coordinate aerogeneratori**

| ID          | Comune  | Est       | Nord       | Altitudine [m s.l.m.] |
|-------------|---------|-----------|------------|-----------------------|
| <b>NI01</b> | Nicosia | 435152,37 | 4186572,87 | 997                   |
| <b>NI02</b> | Nicosia | 435371,96 | 4187457,03 | 1093                  |

|             |           |           |            |      |
|-------------|-----------|-----------|------------|------|
| <b>NI03</b> | Nicosia   | 435860,43 | 4187620,53 | 1073 |
| <b>NI04</b> | Nicosia   | 436793,02 | 4188265,95 | 1105 |
| <b>NI05</b> | Nicosia   | 437302,81 | 4188201,13 | 1083 |
| <b>NI06</b> | Nicosia   | 437819,67 | 4188034,76 | 1087 |
| <b>NI07</b> | Nicosia   | 438364,31 | 4187874,32 | 1101 |
| <b>NI08</b> | Nicosia   | 438879,01 | 4188122,02 | 1111 |
| <b>NI09</b> | Nicosia   | 439428,41 | 4188150,68 | 1119 |
| <b>NI10</b> | Nicosia   | 439927,01 | 4188370,05 | 1142 |
| <b>NI11</b> | Nicosia   | 440465,48 | 4188278,58 | 1124 |
| <b>NI12</b> | Mistretta | 441027,00 | 4188834,00 | 1033 |
| <b>NI13</b> | Nicosia   | 438293,20 | 4186395,24 | 1104 |

### 3. INQUADRAMENTO GEOLOGICO

#### 3.1. INQUADRAMENTO GENERALE DELL'AREA

Le WTG (Wind turbine Generator) in progetto insistono principalmente sull'unità definita flysch numidico.

Il flysch numidico è la formazione maggiormente rappresentata in Sicilia ed in particolare nel settore centro-settentrionale dell'Isola. Questa è costituita da un'alternanza di argille colore bruno tabacco e di quarzareniti, talora grossolane, organizzate in strati e banchi e che possono in alcune zone prevalere sulle peliti.

Generalmente l'intervallo basale è a prevalenza argillosa e data all'Oligocene superiore, mentre i livelli quarzarenitici si infittiscono nell'intervallo Aquitaniano-Burdigaliano.

Lo spessore ricostruito della formazione raggiunge un massimo di circa 1500 metri. Il flysch numidico affiora estesamente lungo la dorsale nebrodica fino alle aree del trapanese nella Sicilia occidentale. In Sicilia centro-orientale costituisce la dorsale orientata est-ovest di M. Salici-M. Altesina, che si estende dal versante occidentale dell'Etna a nord di Enna.

Gli enormi volumi occupati da questa formazione sono molto più ampi di quelli, già cospicui, ipotizzabili sulla base dei dati di superficie. Dall'analisi dei dati dei pozzi per l'esplorazione petrolifera e delle linee sismiche in Sicilia orientale, infatti, sono stati messi in evidenza enormi spessori di questa formazione (dell'ordine delle migliaia di metri) completamente nascosti sotto le unità affioranti.

Questi spessori non sono quelli originari, ma derivano dalla ripetizione tettonica della successione stratigrafica del flysch, in quanto la formazione costituisce più orizzonti strutturali sovrapposti, corrispondenti ad unità distinte attribuibili a domini diversi, legati a differenti successioni mesozoico-terziarie.

Una sostanziale revisione delle unità del Flysch Numidico viene proposta da Bianchi et alii (1987) che, sulla base di analisi sia di superficie che di sottosuolo, hanno dimostrato che questa formazione è disposta in scaglie ripetute, scollate dal loro originario substrato mesozoico, e pertanto hanno distinto diverse unità tettoniche. Queste, ordinate dal basso verso l'alto e presumibilmente dalle più esterne a quelle più interne, sono:

- 1) **Unità Gagliano:** nota solo in sottosuolo, ancora relativamente radicata sul substrato di tipo imerese, costituisce la roccia serbatoio dei campi gassiferi di Gagliano (Enna);
- 2) **Unità Serra del Bosco:** forma delle culminazioni affioranti soltanto nella Provincia di Enna, poco a nord di Leonforte (Foglio 623 "Nicosia"), e costituisce un elemento strutturale intermedio tra le successioni numidiche sepolte e quelle di superficie

nelle aree orogeniche a sud del F. Salso; il tetto dell'unità presenta un intervallo langhiano a marne e quarzareniti glauconitiche che la apparenterebbero con le successioni terrigene delle unità maghrebidi più esterne (Unità di M. Judica);

- 3) **Unità Maragone:** affiorante estesamente nelle Madonie e nel settore occidentale della Provincia di Messina;
- 4) **Unità di M. Salici:** è costituita nella zona tipo (in Provincia di Enna) da una porzione basale potente circa 500 m di prevalenti argille nerastre con sottili livelli quarzosiltitici, passanti verso l'alto ad alcune centinaia di metri di quarzareniti in grossi banchi alternati a sottili livelli di argille brune;
- 5) **Unità di Nicosia:** occupa una posizione strutturale più elevata e si rinviene in associazione con le sequenze pelitiche delle Unità Sicilidi. È costituita da "argille varicolori" con intercalazioni di siltiti micacee, di quarzareniti a grana finissima e di microconglomerati a clasti metamorfici d'età Oligocene, passanti verso l'alto a circa 150 m di argilliti brune e quarzareniti dell'Aquitano, sormontate a loro volta da un intervallo di marne e arenarie micacee con clasti andesitici di età burdigaliana.

I dati raccolti durante i rilevamenti dei fogli CARG, hanno consentito, infatti, un parziale riesame dei rapporti geometrici tra le unità numidiche estendibili anche in profondità per la reinterpretazione delle linee sismiche utilizzate.

Ne è risultato un quadro, in cui si riconosce un vasto orizzonte strutturale basale costituito da scaglie embricate del flysch numidico dell'Unità di Maragone, equivalente alle Unità di Serra del Bosco e di Gagliano delle aree ennesi. Su questo orizzonte profondo poggiano tettonicamente unità numidiche completamente flottanti attribuibili alle unità di Nicosia e di M. Salici-M.Castelli.

Queste ultime sono differenziabili solo per i caratteri stratigrafici, ma risultano strutturalmente assimilabili e per questo entrambe ascritte all'Unità tettonica Sicilide.

In ambito CARG l'Unità numidica di Nicosia, più interna e geometricamente superiore, ha assunto la denominazione di flysch numidico - membro Nicosia (FYN4), mentre l'Unità di M. Salici-M. Castelli è stata denominata flysch numidico - membro M. Salici (FYN3).

La successione numidica (FYN4), caratterizzata da un intervallo Cretacico superiore-Miocene inferiore ad Argille Variegate, è assimilabile, nell'area nebrodica, a gran parte del "Flysch Numidico parautoctono".

L'unità FYN3 comprende parte delle successioni un tempo ritenute radicate in profondità e per questo precedentemente assegnate al flysch numidico profondo, nella posizione realmente occupata dall'Unità di Maragone.

Nell'area di M. Salici (Foglio 623 "Nicosia"), l'unità numidica FYN3 costituisce una serie di monoclinali regolari caratterizzate da bancate quarzarenitiche alternate ad argille brune del Miocene inferiore poggianti su un substrato di argille grigiastre e a tratti varicolori a Tubotomaculum (FYN3a) di età Oligocene superiore, mentre non sono mai stati ritrovati orizzonti stratigraficamente più antichi, sebbene siano presenti alcuni lembi di calcilutiti bianche, tradizionalmente ascritte alla formazione di Polizzi, che potrebbero rappresentare il livello basale di scollamento dell'intera successione.

Alla stessa unità sono correlabili le potenti sequenze argilloso-quarzarenitiche riconoscibili nella dorsale nebrodica, dalla zona a sud di Mistretta (M. Castelli) fino alla valle del T. Furiano, in ricoprimento tettonico sulle sequenze numidiche dell'Unità di Maragone.

All'unità del flysch numidico più profonda, l'Unità di Maragone, sono stati attribuiti i terreni che costituiscono la culminazione della dorsale nebrodica. Già segnalato come "Flysch Numidico" nella legenda del "Foglio Mistretta", affiora in una serie di duplicazioni tettoniche embricate che tendono a radicarsi in profondità al tetto di sequenze carbonatiche.

Per questo legame con i termini di piattaforma tale unità è già stata assegnata all'Unità tettonica Panormide anche sulla base di due elementi fondamentali.



Il primo è di carattere litologico: la successione numidica dell'Unità di Maragone affiorante mostra livelli di argilliti brune con inclusi noduli algali e cespi corallini che ne sanciscono la contiguità con le serie carbonatiche. Il secondo è di carattere geologico regionale: i dati strutturali di letteratura, confermati da successive analisi geomorfologiche, segnalano una surrezione plio-pleistocenica della dorsale nebrodica, che avrebbe comportato una risalita recente di unità un tempo in posizione molto profonda. In ambito CARG questa successione viene denominata flysch Numidico-membro Geraci Siculo (FYN5).

In sintesi le successioni numidiche di Nicosia e di M. Salici sarebbero totalmente

sradicate e si sovrappongono in sottosuolo ad altre successioni di flysch numidico (FYN5) complessivamente solidali, anche se più o meno parzialmente scollate, con il substrato carbonatico mesozoico e che culminano in corrispondenza della dorsale nebrodica.

È interessante notare che proprio in corrispondenza della dorsale al tetto dell'unità numidica profonda affiora la sola Unità di M. Salici-M. Castelli a sua volta ricoperta direttamente dai terreni dell'Unità Sicilide di Monte Soro. Questa occupa, in aree diverse, la stessa posizione dell'Unità di Nicosia. Questo aspetto è di notevole importanza per ricostruire l'originario legame tra le unità numidiche e le altre unità sicilidi.

### 3.2. INQUADRAMENTO GEOLOGICO DELL'AREA DI STUDIO

L'area di studio si trova su di una dorsale costituita dalla Serra Marrocco (1103 m s.l.m.), Passo Malopasseto (1070 m. s.l.m), Monte Ferrante (1178 m. s.l.m) Monte Quattro Finaite (1133 m. s.l.m), Portella Palumba (1116 m. s.l.m) e Monte della Grassa (m. s.l.m.).

I termini litoidi danno origine a balze, picchi e scarpate separate da ampie vallate argillose.

In linea generale i processi morfogeneteci sono molto attivi, le acque erodono intensamente i termini più argillosi mentre, le rocce presentano una serie di fratture secondarie dovute all'alternanza gelo - disgelo.

Ai piedi dei versanti si osservano coltri detritiche che si adagiano ai fianchi dei versanti occultando il contatto con le argille .

Le forme erosive e franose si concentrano lungo gli assi degli impluvi che solcano le valli laterali.

In particolare i versanti argillosi a Nord di Monte della Grassa sono interessati da fenomeni franosi complessi ma non interessano i siti in cui saranno costruiti gli aerogeneratori.

I terreni affioranti nell'area sono tutti di origine sedimentaria ed appartengono a varie formazioni geologiche.

In particolare si sono riscontrati litotipi appartenenti alla cosiddetta Falda Sicilide, al Flysch Numidico di età Oligocene - Miocene inf., alla Formazione Gessosa Solfifera del Messiniano inoltre risulta anche presente un potente affioramento di terreni pleistocenici (Fanglomerati di Monte della Grassa).

L'area è collocata fra le Madonne ed i Nebrodi, a partire dalla C.da Marrocco e sino a Portella Palumba. Seguendo questo itinerario è possibile riscontrare inizialmente, e più limitatamente a Nord di Monte della Grassa, le argille varicolori di età Cretaceo - Eocene appartenenti alla falda Sicilide.

Dette argille si presentano fortemente tettonizzate e caoticizzate, hanno una struttura a scaglie, il colore predominante è il grigio con screziature che vanno dal violaceo al rosso. Spesso inglobano al loro interno lembi più o meno estesi di Flysch Numidico.

Tipico esempio di ciò è il Flysch Numidico di C.da Marrocco. Infatti in detta contrada le argille varicolori lasciano il posto ad argille numidiche di colore bruno alternate a quarzoareniti di colore giallastro molto fratturate e tettonizzate.

Il Flysch Numidico affiorante invece nell'area di Monte Ferrante, Monte Quattro Finaite e

Portella Palombo appartiene al cosiddetto membro Geraci, ed è dato da una sequenza di argille brune, tendenzialmente grigie in profondità, e di quarzoareniti con prevalenza delle prime.

Le quarzoareniti a volte si presentano stratificate in banconi alternati con livelli argillosi e sabbiosi di vario spessore. I banconi quarzoarenitici si presentano gradati, cioè con granulometria decrescente dal basso verso l'alto, la colorazione può variare dal giallo al rossastro ed è dovuta al grado di alterazione dei minerali presenti nella roccia. Spesso le quarzoareniti si presentano fratturate dando origine ad accumuli detritici ai piedi delle pareti rocciose.

Per quanto riguarda le argille che si alternano alle quarzoareniti, esse presentano una tipica colorazione rossastra o color tabacco dovuta agli ossidi di ferro e manganese.

Lo spessore delle argille è variabile, dagli straterelli millimetrici che si trovano nei giunti che separano i banconi quarzo arenitici ai grossi spessori osservabili ai piedi degli affioramenti arenacei - quarzoarenitici.

Monte della grassa è costituito da una serie di litotipi appartenenti alla Serie Gessosa Solfifera. In estrema sintesi si riscontrano calcari biancastri, gessi e gessiareniti mentre al culmine si osservano i cosiddetti fanglomerati del Pleistocene.

Questi ultimi sono costituiti da conglomerati formati da elementi quarzoarenitici a spigoli vivi immersi in una matrice argillo - arenacea.

Se si considera la fascia direttamente interessata dalle opere in progetto si può affermare che prevalgono nettamente le argille in gran parte appartenenti al Flysch Numidico e più limitatamente alla Falda Sicilide. Le quarzoareniti si presentano in maniera alquanto diversa, infatti sono osservabili ampi lembi di quarzoareniti praticamente intatte e porzioni invece più fratturate.

I terreni di copertura sono costituiti da una coltre d'alterazione formata da elementi litoidi commisti ad argille derivanti dalla disgregazione degli orizzonti litoidi. Ai piedi delle ripide pendici si osservano coltri detritiche che in genere mascherano i contatti litologici sottostanti.

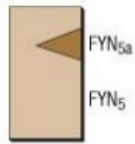




Figura 3-1: Estratto Carta Geologica 1:50.000. In giallo le WTG in progetto

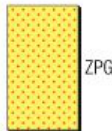


#### FLYSCH NUMIDICO (FYN)



**membro di Geraci Siculo (FYN<sub>5</sub>):** Argilliti nerastre a stratificazione indistinta, passanti verso l'alto ad argille brune cui si intercalano quarzareniti e quarzoruditi giallastre matrice sostenuti, in grossi banchi (FYN<sub>5a</sub>). Nelle argille nere microfaune a *Globigerinoides primordius*, *Catapsidrax dissimilis*, *Paragloboborotalia* cfr. *kugleri*. Nelle argille brune apicali *Globigerinoides trilobus*, *Dentoglobigerina altispira*, *Globoquadrina dehiscens* e *P. siakensis*, e nanofossili a *Helicosphaera ampliaperta* e *Sphenolithus heteromorphus* (biozona MNN4a). Limite inferiore graduale su GPM, netto su GRT, erosivo su PNBa e CEU. Spessore fino a 400 m. Ambiente di scarpata-bacino.

*OLIGOCENE SUPERIORE-MIOCENE INFERIORE (Burdigaliano)*

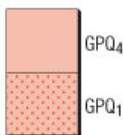


#### CONGLOMERATI DI COZZO PRANGI

Conglomerati e brecce in matrice sabbioso limosa brunastra, con elementi in prevalenza carbonatici subarrotondati e quarzarenitici spigolosi. Limite inferiore discordante ed erosivo su TRV<sub>3</sub>, GS e TRB. Spessore 150-200 m. Ambiente transizionale-marino prossimale.

*PLEISTOCENE?*

#### FORMAZIONE DI PASQUASIA (GPQ)



**Membro fanglomerati (GPQ<sub>4</sub>).** Conglomerati poligenici a supporto di matrice sabbiosa bruna o giallastra, a clasti quarzarenitici spigolosi e carbonatici mesozoici subsferici. Limite inferiore discordante ed erosivo su AV, FYN<sub>4</sub>, GTL<sub>1</sub>, GPQ<sub>1</sub>. Spessore tra 50 e 150 m. Ambiente deltizio.

**Membro Gessarenitico (GPQ<sub>1</sub>).** Gessi microcristallini laminati e gessi massivi in grossi cristalli geminati e marne, in strati e banchi fino a 3 m, separati da sottili giunti pelitici, alternati a gessoclastiti. Limite inferiore discordante su AV, FYN<sub>4</sub>, TRV<sub>3</sub> e GTL<sub>1</sub>. Spessore fino a 100 m. Ambiente evaporitico con risedimenti clastici.

*MESSINIANO SUPERIORE*

**Figura 3-2: Legenda delle principali unità presenti**

Nella Carta geologica riportata alla pagina precedente, viene proposto un estratto dell'area dove verranno realizzate le nuove WTG (Wind Turbine Generator).

Le unità che risultano interessate dalla installazione delle nuove WTG in progetto sono le seguenti:

#### 1) FLYSCH numidico – membro Geraci Siculo (FYN5)

Costituisce la formazione più estesamente presente nel territorio in esame, affiorando quasi ininterrottamente da Castel di Tusa sul versante tirrenico al settore meridionale del Foglio "Castelbuono" lungo il parallelo a nord di Polizzi Generosa-Petralia Sottana-M. della Grassa.

Il membro di Geraci Siculo (FYN5) è costituito da un intervallo basale ad argilliti nerastre a stratificazione indistinta, passanti verso l'alto ad una sottile alternanza di argilliti nerastre e quarzosiltiti di colore ocre all'alterazione, brunastre al taglio fresco e ad argille brune, cui si intercalano quarzareniti giallastre in grossi banchi (FYN5a), più frequenti nella parte medio alta della successione. Le areniti hanno grana da fine a grossolana; sono inoltre presenti livelli e passate conglomeratici gradati e/o caotici in abbondante matrice quarzosa.

Limite inferiore in continuità e graduale su GPM; superiormente l'unità è troncata dal contatto di sovrascorrimento principale di vari termini delle Unità Sicilidi.

La successione è più volte scagliata tettonicamente, simulando di fatto uno spessore apparente tra 400 e 800 m.

L'età è Oligocene superiore-Miocene inferiore (Burdigaliano).

#### 2) Unità tettonica di Nicosia

I terreni riferiti a questa unità tettonica sono rappresentati da un orizzonte basale a prevalenti argilliti policrome caotiche ed estremamente tettonizzate (AV), e da marne e calciclastiti a macroforaminiferi (formazione di Polizzi – POZ) inserite all'interno della massa pelitica AV. L'orizzonte superiore è costituito da argilliti silicee e quarzoareniti riferite al flysch numidico – membro Nicosia (FYN4).

### 3) **Gruppo delle Argille Variegata (AV)**

Comunemente conosciute come Argille Scagliose (Ogniben , 1960), sono costituite da un'alternanza caotica di argille, marne varicolori a volte sideritiche e manganesifere, sottili livelli di calcilutiti, intercalazioni di arenarie quarzose, diaspri, calcareniti, breccie a macroforaminiferi risedimentati e lenti di calciruditi e breccie intercalate, e sporadici lembi o blocchi di rocce diabasiche e "scisti bituminosi" (AV). Le argille e le marne sono fissili o scagliettate, le calcilutiti mostrano a volte laminazioni parallele. I livelli arenacei generalmente a grana fine, con rari intervalli ruditici, sono micacei, appaiono gradati e laminati con sequenze di Bouma Ta-b, Ta-c, e spesso hanno geometria lenticolare.

Le A.V. in base al contenuto fossilifero, sono state riferite, in accordo con gli Autori precedenti, all'intervallo Cretacico superiore-Oligocene inferiore.

Limite inferiore dell'unità non affiorante o tettonico; limite superiore disarmonico e/o meccanico con POZ.

Lo spessore della formazione, difficilmente calcolabile per caoticità, intensa tettonizzazione e mancanza di contatti stratigrafici basali, dovrebbe variare tra qualche decina di metri e 150 m. L'ambiente deposizionale viene riferito ad una piana batiale sottoalimentata.

### 4) **Formazione Polizzi (POZ)**

La formazione Polizzi è costituita da un'alternanza da centimetrica a decimetrica di calcilutiti e calcisiltiti biancastre laminate, talora a liste e noduli di selce, marne bianche con intercalazioni e lenti di biocalcareni, biocalciruditi e/o breccie mal classate a macroforaminiferi (nummulitidi, alveolinidi, discociclinidi).

La successione tipo di Polizzi Generosa, studiata da Coltro (1963, 1967), è stata considerata concordante e in continuità con le AV ed è stata riferita all'Eocene inferiore-medio.

Broquet (1968, 1972) ritiene che il rapporto esistente tra le Argille Varicolori e la Formazione Polizzi, sia tettonico ed inoltre assegna quest'ultima all'Eocene, Lo spessore della formazione, variabile da luogo a luogo, a Polizzi Generosa raggiunge la massima potenza di circa 100 m.

Limite inferiore dell'unità non affiorante o disarmonico/tettonico sulle argille AV; il limite superiore, ove non determinato dalla superficie topografica, è definito dall'appoggio discordante dei fanglomerati GPL4 della Formazione di Pasquasia.

L'ambiente deposizionale è pelagico e di scarpata, con risedimenti calcarei di piattaforma.

L'età della formazione è Eocene superiore-Oligocene inferiore.

### 5) **Flysch numidico – membro Nicosia (FYN4)**

Costituisce la porzione sommitale dell'Unità di Nicosia ed è rappresentato da un'alternanza di prevalenti argilliti bruno silicifere, argilliti rosse a Tubotomaculum con sottili interstrati siltitici in intervalli di spessore da metrico a decametrico (FYN4), cui si intercalano lenti di areniti silicoclastiche gialle o bianco grigiastre, bruno all'alterazione, in strati da spessi fino a megastrati di 5-7 m per amalgamazione (FYN4a), a base erosiva e con impronte da corrente e da carico (groove-flute e load cast). Le arenarie hanno composizione prevalentemente quarzolitica fino a quarzoso-



micacea, grana da finissima a microconglomeratica con clasti litici e minerali metamorfici, matrice sostenute o debolmente cementate. Alla base dei megastrati la struttura varia da gradata a generalmente massiva per le granulometrie più fini; sono frequenti gli inclusi di clasti pelitici da centimetrici a decimetrici, disposti caoticamente.

In base alle analisi sui fossili, si riferisce il tetto della formazione al Burdigaliano inferiore.

Limite inferiore netto sulle argille AV e sulla formazione POZ.

Lo spessore della formazione è difficilmente valutabile a causa delle numerose ripetizioni e/o elisioni tettoniche. Lo spessore massimo affiorante calcolato è di circa 200 m.

L'ambiente deposizionale è bacinale con torbiditi silicoclastiche messe in posto ad opera di correnti gravitative, colate di detrito o da scivolamenti in massa.

#### 6) **Formazione Terravecchia – membropelitico - argilloso (TRV3)**

I depositi di questo membro affiorano su M. della Grassa.

I depositi del membro TRV3 sono costituiti da peliti ed argille sabbiose grigiastre e azzurre, argille siltose e siltiti laminate, marne grigio-verdastre in strati da centimetrici a decimetrici, e lenti di sabbie giallastre (TRV3a) di spessore fino a decametrico. Le argille di norma presentano laminazione parallela a piccola scala, mentre frequente è la laminazione obliqua e/o convoluta nelle siltiti. Lo spessore della formazione è stimato in circa 150 m. Ambiente deposizionale da piattaforma costiera a scarpata.

#### 4. **SITE VISIT DICEMBRE 2019**

Di seguito vengono proposte alcune immagini e le considerazioni principali a seguito del sopralluogo.

Tutte le aree presentano successioni di materiali appartenenti a litologie di mare profondo e scarpata continentale.

Dalle evidenze sul campo risultano presenti alternanze di materiali litoidi compatti e materiali fini di natura limoso-argilloso- marnoso. Gli strati litoidi, inoltre, presentano disturbi di natura tettonica al loro interno (fratturazione).



**Figura 4-1: Dalla foto visibili i livelli litoidi alternati a livelli argillosi**

Tutta l'area presenta, al piede dei versanti, accumuli di blocchi di grosse dimensioni causati da fenomeni di erosione differenziale.

Gli strati litoidi, generalmente costituiti da livelli arenacei, poggiano su strati di natura limoso-argillosa. Questo implica che spesso si verificano scalzamenti al piede degli ammassi rocciosi che comportano fenomeni di ribaltamento.

Topple\*



**Figura 4-2: Esempio del processo di formazione dei depositi al piede dei versanti**

Nelle aree dove le granulometrie di tipo limoso-argillosa sono associate a pendenze superiori a 30-35°, sono presenti (come anche cartografati nelle carte del rischio geomorfologico) fenomeni di dissesto quali frane e soliflussi.

Questi fenomeni non interessano però le postazioni delle WTG.







**Figura 4-3: Visione del versante e fenomeni di erosione accelerata a causa di ruscellamento concentrato, facilitata dalla natura argillosa**

L'area, essendo posta per quasi tutta la sua interezza in cresta ai rilievi, non presenta quasi mai venute di acqua e fenomeni di corrivazione superficiale, ma in ogni caso, massima attenzione andrà data alla gestione delle acque piovane e di ruscellamento, al fine di evitare fenomeni di erosione concentrata e accelerata.

## **5. IDROGEOLOGIA**

Durante l'esecuzione dei sondaggi per la progettazione dell'attuale parco eolico, la falda era stata intercettata, a profondità variabili tra -7 e -10 m dal p.c., in coincidenza delle verticali degli aerogeneratori n. 5, 14, 30 e 52.

Da segnalare che in un caso, nel sondaggio S41 eseguito sotto la verticale dell'aerogeneratore n. 16, la falda era in pressione ed era risalita fino a piano campagna (era in pressione perché probabilmente ubicata all'interno delle argille marnose poste al di sotto di -8.70 m dal p.c.).

L'approccio del lavoro pregresso era comunque focalizzato alla realizzazione di fondazioni dirette superficiali, e nei calcoli era stata considerata la falda come sempre presente a partire da 8 metri di profondità, ma bisognerà valutare l'influenza della falda nel caso si adottassero tipologie fondazionali differenti.

## **6. VULNERABILITÀ DEL TERRITORIO**

Vengono riportate nelle pagine seguenti, le tavole relative alle vulnerabilità geomorfologiche ed idrogeologiche dell'area.

In sintesi, le aree interessate dagli aerogeneratori non interferiscono con areali a pericolosità da frana od idraulica, ma sono ubicati in prossimità di aree con dissesti attivi.

### **6.1. RETICOLO IDROGRAFICO E RISCHIO IDRAULICO**

Le acque piovane e di ruscellamento dai versanti meridionali di Serra Marrocco e di Monte della Grassa confluiscono nel vallone Marocco e nel Fosso Monaco, per poi raggiungere, attraverso il Fiumetto Sperlinga, il Fiume Salso - Simeto, mentre i versanti settentrionali di Monte Ferrante e di Monte Quattro Finaite sono solcati da una fitta rete di impluvi il cui recapito è dato dal Vallone Trigna - Vallone Burgisato.

Date le caratteristiche delle unità geologiche presenti, quali la permeabilità per fratturazione delle quarzoareniti e la permeabilità primaria e secondaria dei calcari e dei gessi determinano

la formazione, ai piedi degli ammassi rocciosi, di numerose sorgenti.

Nelle pagine seguenti viene riportato il reticolo idrografico, che non risulta interferire con le WTG in progetto.

In alcune aree le WTG si trovano in fascia di prossimità con le incisioni del reticolo idrografico, di conseguenza bisognerà verificare preliminarmente all'ubicazione definitiva della WTG in tali aree.

Il rischio idraulico risulta assente secondo la cartografia PAI.



**Figura 6-1:Reticolo idrografico**





**Figura 6-2: Rischio idraulico**

**6.2. DISSESTO GEOMORFOLOGICO**

Gli aerogeneratori non sono ubicati in aree soggette a rischi, ma si trovano in prossimità di aree con dissesti attivi, anche se caratterizzati da un rischio mediamente basso.

La porzione rocciosa dà origine a balze, picchi e scarpate separate da ampie vallate argillose, che facilitano processi morfogenetici molto attivi.

Le acque erodono intensamente i termini più argillosi e gli orizzonti rocciosi presentano una serie di fratture secondarie dovute all'alternanza gelo-disgelo, tettonica ed erosione degli strati argillosi intercalati.

A seguito di questa erosione differenziale, si staccano blocchi che formano coltri detritiche sui fianchi dei versanti occultando il contatto con le argille.

Le forme erosive e franose si concentrano lungo gli impluvi, in particolare i versanti argillosi a Nord di Monte della Grassa sono interessati da fenomeni franosi complessi ma non interessano i siti in cui sono previste le WTG.

Le forme di dissesto geomorfologico mappate nelle carte PAI mostrano fasce caratterizzate da fenomeni di crollo ed accumulo, aree soggette a soliflusso. Anche in questo caso non interessano le aree di progetto delle nuove WTG, ma andranno verificate le condizioni sito specifiche in fase di redazione del progetto esecutivo.

Viene anche proposta la carta delle pendenze, da cui risultano evidenti le creste rocciose, di limitata ampiezza, ed i versanti maggiormente acclivi, che formano fasce di ampiezza mediamente simile al piede dei versanti semiverticali. Il resto del territorio presenta pendenze inferiori ai 35°

Durante gli studi pregressi, per ogni piazzola erano state realizzate verifiche di stabilità. Analogamente, si procederà con lo stesso approccio in fase di progetto esecutivo.

Le condizioni imposte erano sia ante che post operam.





**Figura 6-3: Carta rischio geomorfologico**



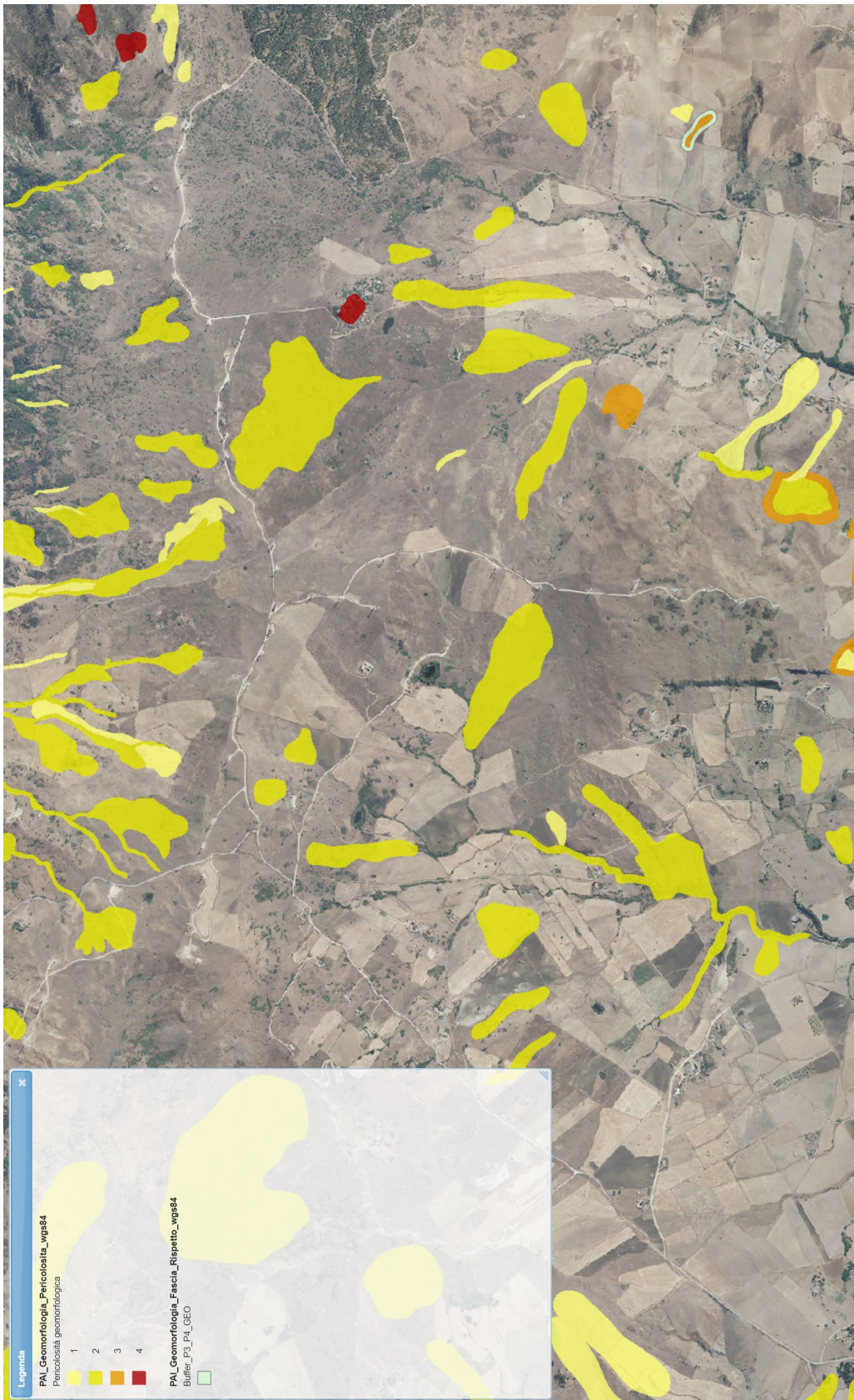
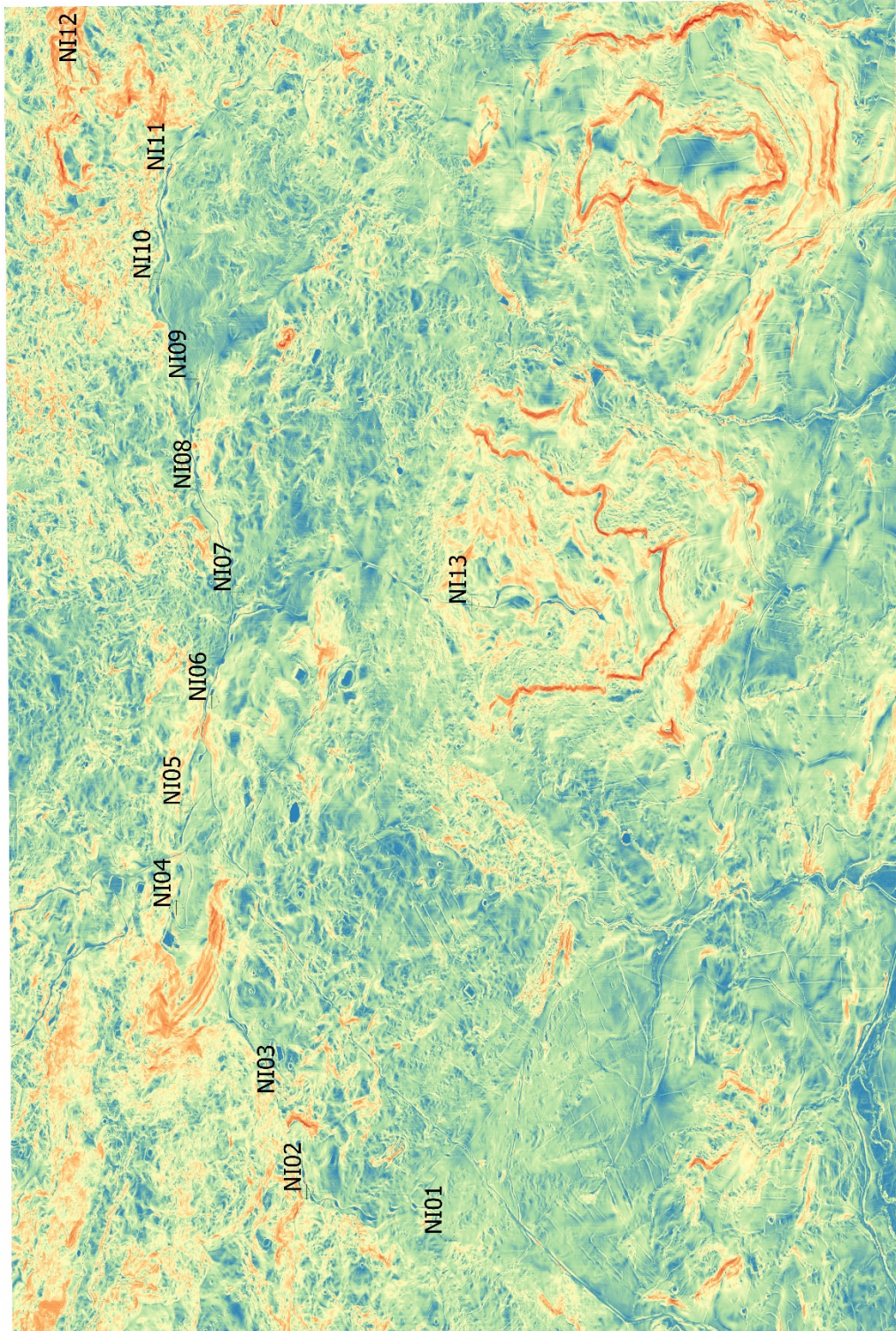


Figura 6-4: Carta pericolosità geomorfologica





**Figura 6-5: Carta pendenze e aereogeneratori in progetto**

## 7. ASSETTO STRATIGRAFICO LOCALE

### 7.1. SEZIONI STRATIGRAFICHE

Durante le indagini per l'attuale parco eolico, erano stati eseguiti 55 carotaggi, in corrispondenza degli aereogeneratori.

Al fine di realizzare un modello del sottosuolo, sono stati rielaborati tutti i dati (stratigrafie) disponibili, per ricreare un modello che permettesse di estrapolare sezioni interpretative.

È stata necessaria una omogeneizzazione delle interpretazioni stratigrafiche.

Si sottolinea che non era disponibile materiale fotografico sui carotaggi eseguiti in passato.

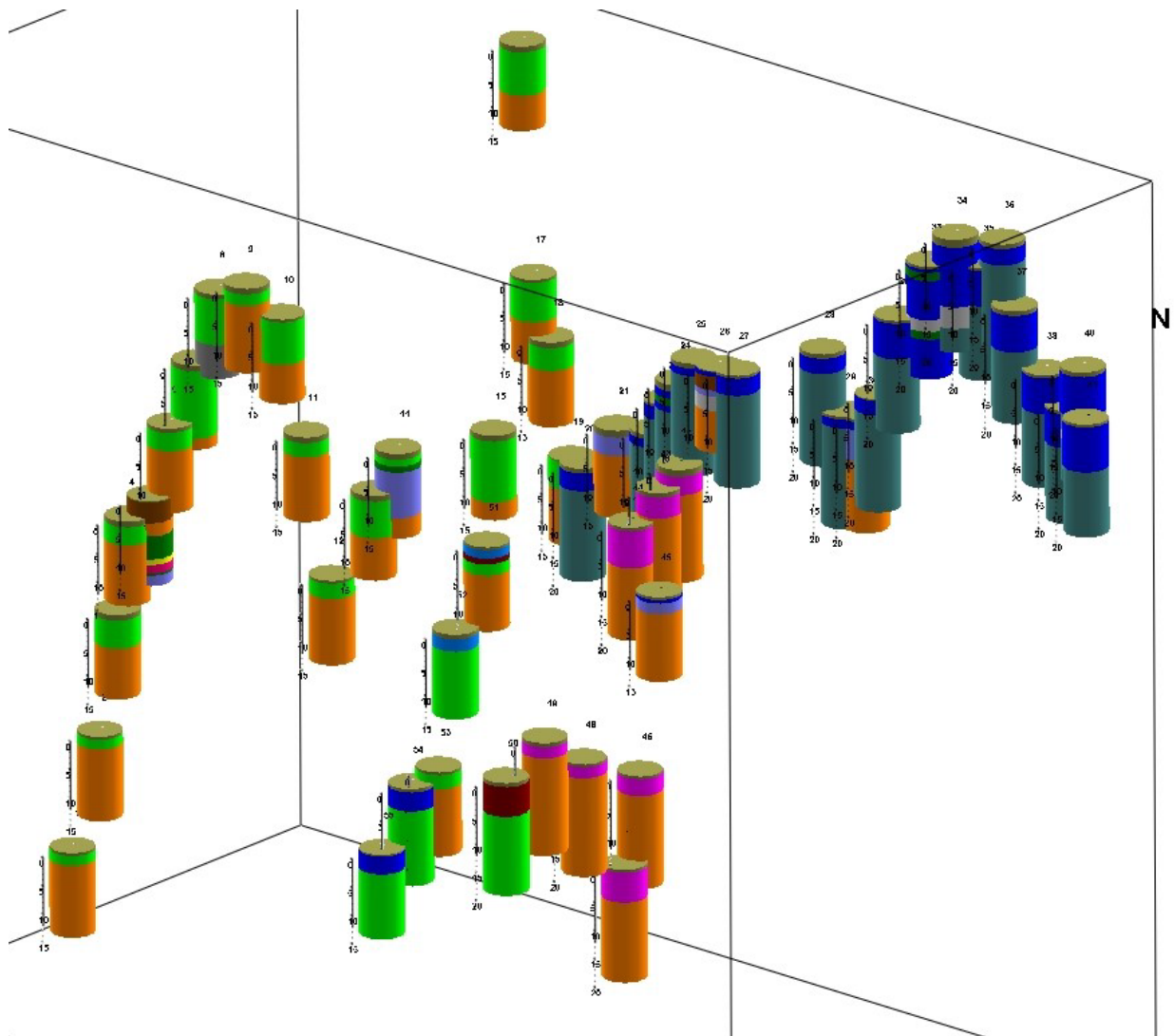


Figura 7-1: Visualizzazione 3D di tutti i carotaggi eseguiti

Di seguito sono proposte le sezioni realizzate

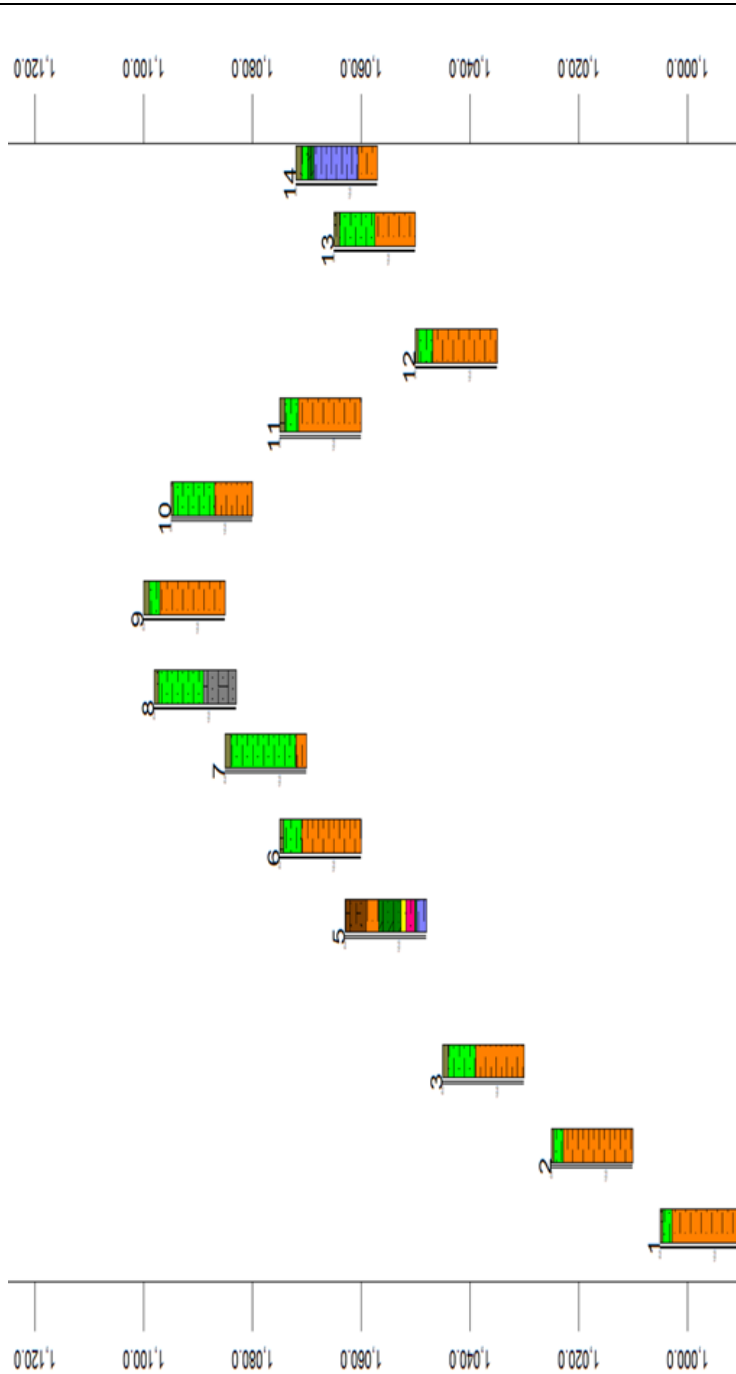
#### 7.1.1. SEZIONE 1-14: ESAGERAZIONE VERTICALE X20





**Stratigraphy Index**

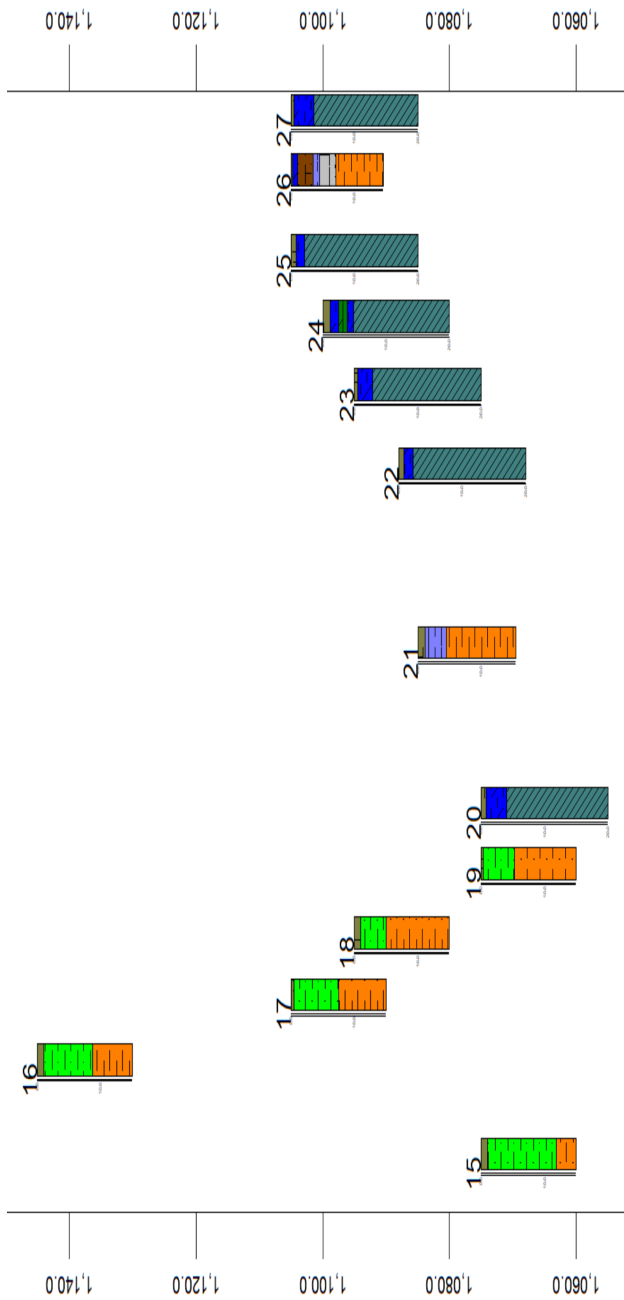
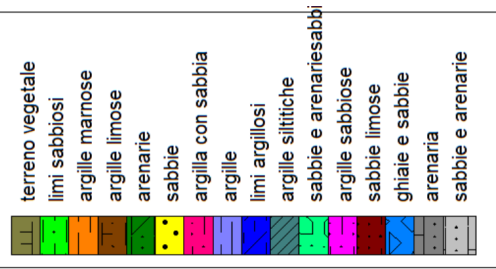
|  |                    |
|--|--------------------|
|  | terreno vegetale   |
|  | limi sabbiosi      |
|  | argille marnose    |
|  | argille limose     |
|  | arenarie           |
|  | sabbie             |
|  | argilla con sabbia |
|  | argille            |
|  | limi argillosi     |
|  | argille siltitiche |
|  | sabbie e arenarie  |
|  | sabbie limose      |
|  | ghiaie e sabbie    |
|  | arenaria           |
|  | sabbie e arenarie  |



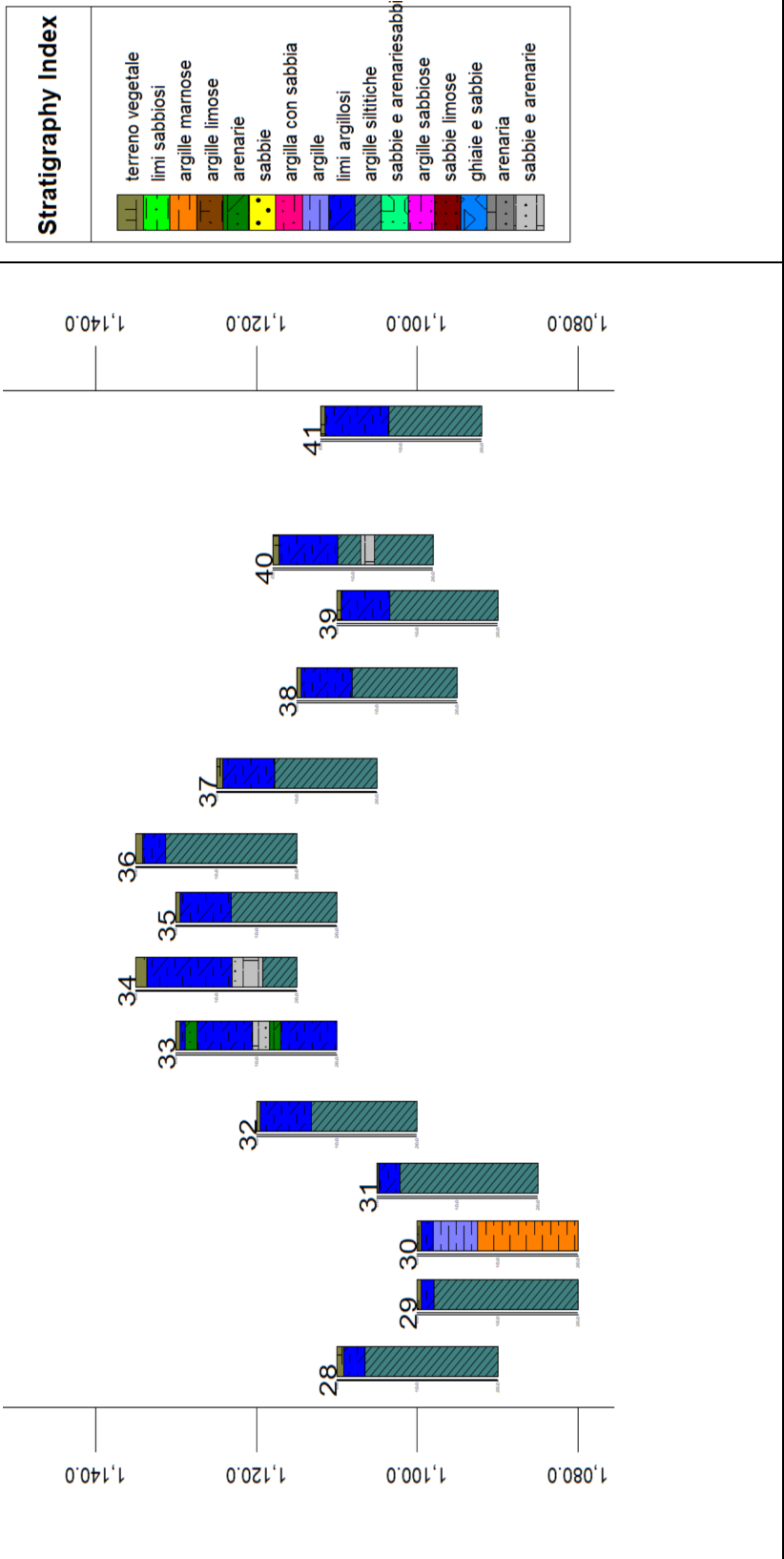
7.1.2. SEZIONE 15-27: ESAGERAZIONE VERTICALE X20



**Stratigraphy Index**

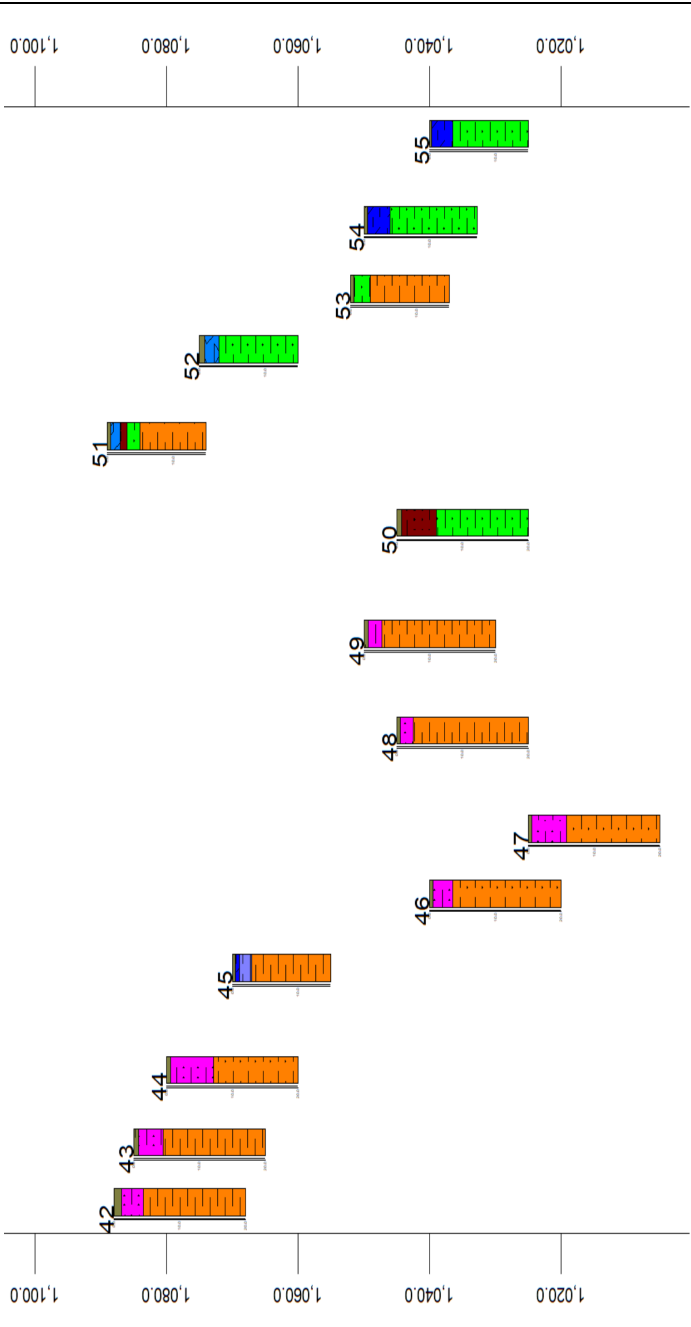
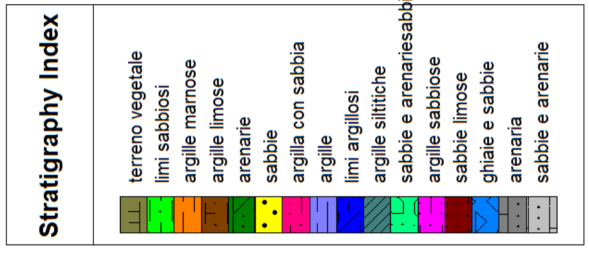
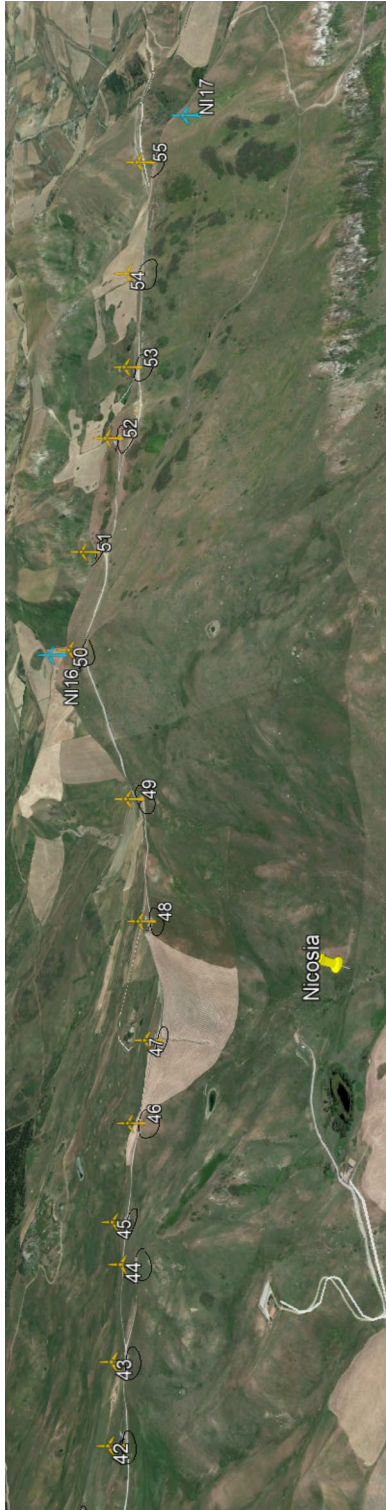


**7.1.3. SEZIONE 28-41: ESAGERAZIONE VERTICALE X20**



**7.1.4. SEZIONE 42-55: ESAGERAZIONE VERTICALE X20**







## **8. ANALISI GEOTECNICHE**

### **8.1. PREMESSA**

La definizione del modello geotecnico di sottosuolo, è stata condotta sulla base delle analisi disponibili, realizzate durante la progettazione dell'attuale parco eolico, ed erano consistite in una campagna di indagini in sito ed in laboratorio, consistente in:

- 1) Sondaggi a carotaggio continuo (profondità max 20 m dal p.c.)
- 2) Prove penetrometriche dinamiche in foro (s.p.t.)
- 3) Prove con *pocket penetrometer*
- 4) Prelievo di campioni indisturbati e rimaneggiati;
- 5) Determinazioni di granulometria e plasticità dei terreni;
- 6) Determinazione delle proprietà fisiche di stato (contenuto d'acqua, peso dell'unità di volume, porosità, ecc.)
- 7) Prove di compressione triassiale non consolidate e non drenate (tx-uu), per la definizione della resistenza non drenata dei terreni a grana fina
- 8) Prove di compressione triassiale consolidate isotropicamente e non drenate (tx-ciu) con misura di sovrappressioni neutre, finalizzate alla definizione dei parametri di resistenza in condizioni drenate ed alla stima dei moduli di deformabilità in condizioni non drenate dei terreni a grana fina;
- 9) Prove di taglio diretto (td) eseguite in condizioni drenate, finalizzate alla determinazione dei parametri di resistenza dei terreni a grana fina (eseguite in alternativa alle precedenti);
- 10) Prove di compressione edometrica, finalizzate alla definizione del grado di sovraconsolidazione dei terreni a grana fina e dei parametri di compressibilità degli stessi.

L'approccio della campagna d'indagini era stato quello di adottare fondazioni superficiali

A questo scopo, nei terreni più superficiali, per evidenziare possibili problematiche per le fondazioni superficiali (ad esempio superfici di scorrimento di eventuali cinatismi di rottura delle fondazioni superficiali) erano state condotte prove finalizzate alla determinazione dei parametri di resistenza e deformabilità dei terreni. Nei terreni più profondi, che non avrebbero dovuto essere interessati da meccanismi di rottura, erano state condotte solo prove di compressione edometrica.

### **8.2. CONSIDERAZIONI SUI DATI GEOTECNICI DISPONIBILI**

In linea generale la caratterizzazione geotecnica appare limitata rispetto alla prassi attuale ma in ogni caso erano state eseguite 48 prove geotecniche, 13 prove di taglio e 25 prove triassiali.

I valori riportati di seguito sono spesso frutto di medie cautelative. Premesso che l'approccio utilizzato in passato è stato giustamente cautelativo, ci sono alcune assunzioni che dovranno essere verificate tramite le indagini in sito previste nella fase esecutiva del progetto;

Stesse considerazioni valgono anche per i valori degli angoli d'attrito necessitano di una ulteriore verifica in fase esecutiva .

I valori ottenuti sono legati al tipo di omogeneizzazione dei dati, ovvero sono stati considerati in generale i valori di laboratorio e, per unità riferibili ad altre già analizzate, sono stati assegnati valori minimi riscontrati nella stessa litologia.

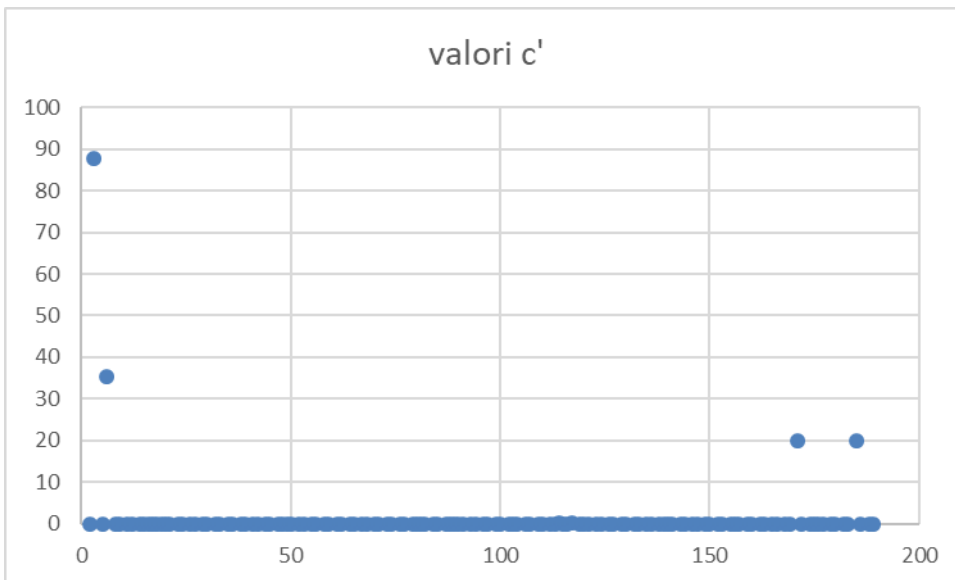
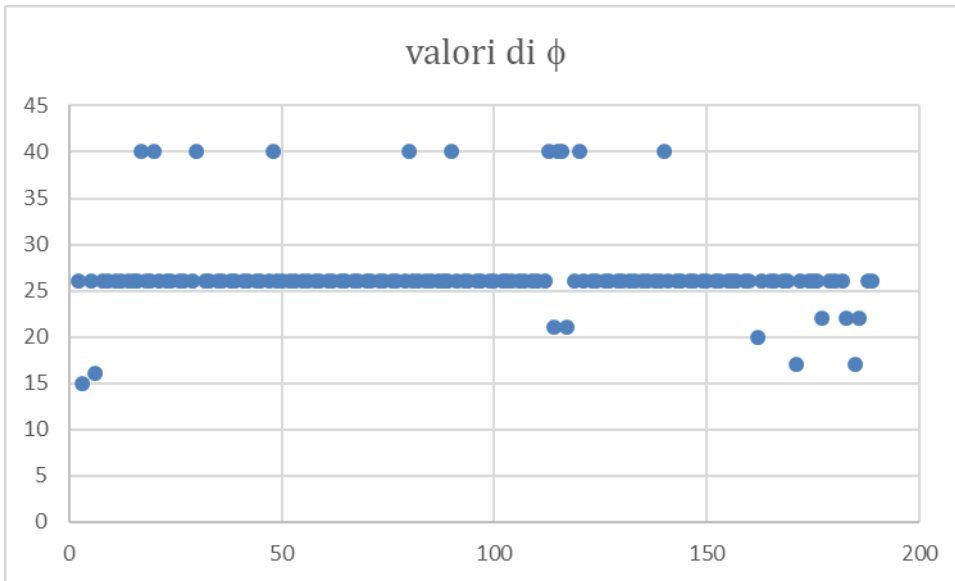
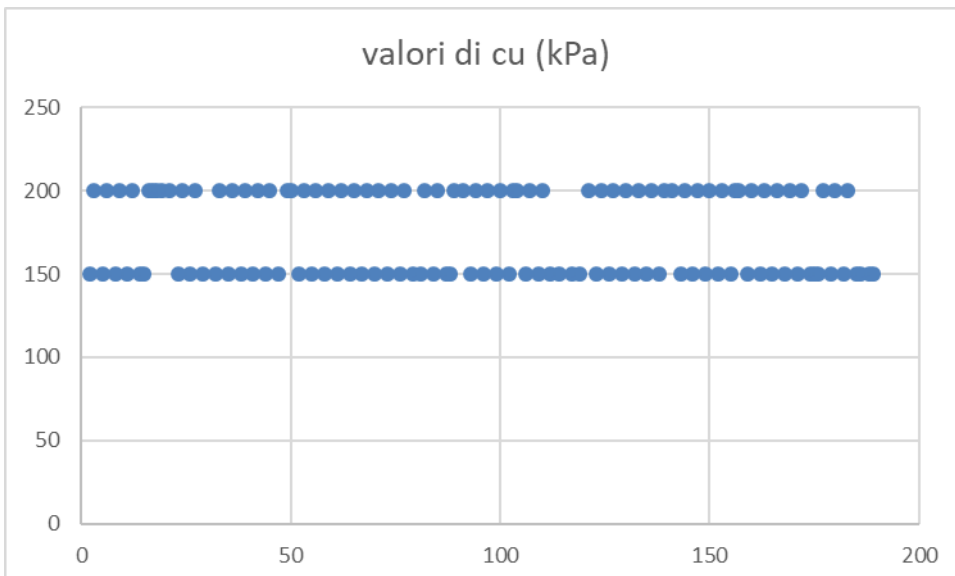
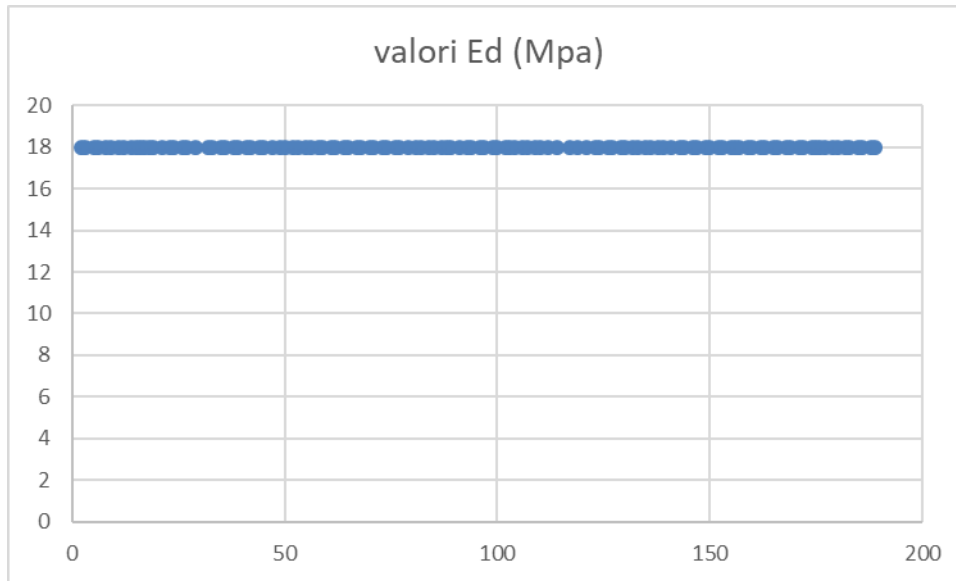


Figura 8-1: Tabelle riassuntive dei valori di  $f$  e  $c'$  disponibili per il sito di Nicosia





**Figura 8-2: Tabelle riassuntive dei valori di cu e Ed disponibili per il sito di Nicosia**

In linea generale, sono state eseguite un'analisi di laboratorio per il 75% degli aereogeneratori, e sono stati mediamente considerati i valori più cautelativi.

Le prove eseguite sono taglio, triassiale, limiti, edometriche.

### 8.3. DEFINIZIONE DELLE "STRATIGRAFIE TIPO" PER AREA DI INTERVENTO

In fase di omogeneizzazione dei dati acquisiti, tutti i terreni indagati nell'area di studio, erano di fatto risultati riconducibili alle seguenti unità litotecniche:

- 1) Terreno vegetale (TV) superficiale di modesto spessore;
- 2) Strato 1 (LAS): limi argillosi consistenti, con inclusi e livelli sabbiosi (appartenenti all'unità di Nicosia);
- 3) Strato 2 (AS): argille siltitiche, a tratti marnose, estremamente consistenti (appartenenti all'unità di Nicosia);
- 4) Strato 3 (Ar-S): arenarie cementate fratturate, a tratti poco cementate e friabili, talora associate a sabbie addensate (appartenenti all'unità di Nicosia).

Nell'area a sud del Monte della Grassa, dove sono stati realizzati gli aerogeneratori 50-55 (sondaggi S12, S13, S32, S33, S34 e S35) sono stati rinvenute ulteriori unità litotecniche definite come:

- 1) Strato 4 (SL): Sabbie limose di colore marrone, da poco a mediamente addensate;
- 2) Strato 5 (D): Detrito di natura quarzoarenitica immerso in matrice sabbiosa debolmente limosa;
- 3) Strato 6 (Alt): Alternanze di limi sabbiosi e livelli quarzoarenitici.

A scopo di sintesi ed in ogni caso a favore di sicurezza, alcune unità sono state raggruppate; ad esempio lo strato di detriti (Strato 5 (D)), e lo Strato 6 (Alt) sono stati cautelativamente assimilati allo Strato 1 (LAS) ovvero i limi argillosi consistenti (LAS), che spesso rappresentano la matrice o la parte con peggiori caratteristiche meccaniche.

In sintesi, erano state definite 5 stratigrafie tipo, riportate nell'immagine sottostante:

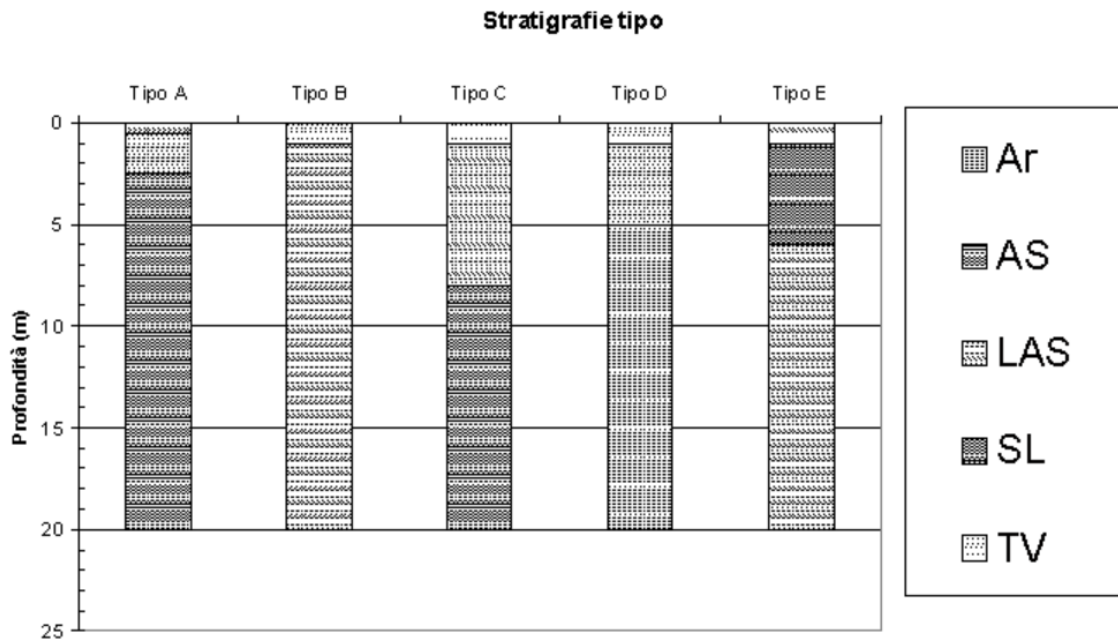


Figura 8-3: Stratigrafie tipo sito di Nicosia

#### Stratigrafia tipo A

Questa situazione si riscontra in corrispondenza dei siti 1,2, 9,14, 29, 30, 48 e 49. La successione stratigrafica può essere schematizzata come segue:

- - 0.50 m: Terreno vegetale (TV);
- 0.50 - 2.50 m: Limo argilloso consistente (LAS);
- 2.50 - 20.00 m: Argilla siltitica (AS)

#### Stratigrafia tipo B

Questa situazione si riscontra in corrispondenza dei siti 7, 8, 15, 16, 33, 34, 52 e 55. La successione stratigrafica può essere schematizzata come segue:

- - 1.00 m: Terreno vegetale (TV);
- - 20.00 m: Limo argilloso consistente (LAS).

#### **Stratigrafia tipo C**

Questa situazione si riscontra in corrispondenza della gran parte dei siti (3, 4, 5, 10, 11, 12, 13, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 26, 27, 28, 31, 32, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 51 e 53). La successione stratigrafica può essere schematizzata come segue:

- -1.00 m: Terreno vegetale (TV);
- - 8.00 m: Limo argilloso consistente (LAS);
- 8.00 - 20.00 m: Argilla siltitica (AS).

#### **Stratigrafia tipo D**

Questa situazione si riscontra in corrispondenza del sito 6. La successione stratigrafica può essere schematizzata come segue:

- - 1,00 m: Terreno vegetale (TV);
- - 5.00 m: Limo argilloso consistente (LAS);
- 5.00 - 20.00 m: Arenaria debolmente cementata o sabbia addensa (Ar-S).

#### **Stratigrafia tipo E**

Questa situazione si riscontra in corrispondenza dei siti 50 e 54. La successione stratigrafica può essere schematizzata come segue:

- - 1,00 m: Terreno vegetale (TV)
- - 6.00 m: Sabbia limosa (SL);
- 6.00 - 20.00 m: Limo argilloso consistente (LAS).

In tutte le stratigrafie si è posta la superficie libera della falda a 8 m dal p.c.

### 8.3.1. TERRENO VEGETALE (TV)

Lo strato non è stato caratterizzato dal punto di vista meccanico. Si è assunto un peso di volume pari a 16 kN/m<sup>3</sup>.

### 8.3.2. LIMO ARGILLOSO CONSISTENTE (LAS)

È un limo con argilla sabbioso ed in alcuni casi come argilla limosa. Si tratta di un terreno di media-alta plasticità e di elevata consistenza. peso dell'unità di volume è mediamente pari a 20 kN/m<sup>3</sup>.

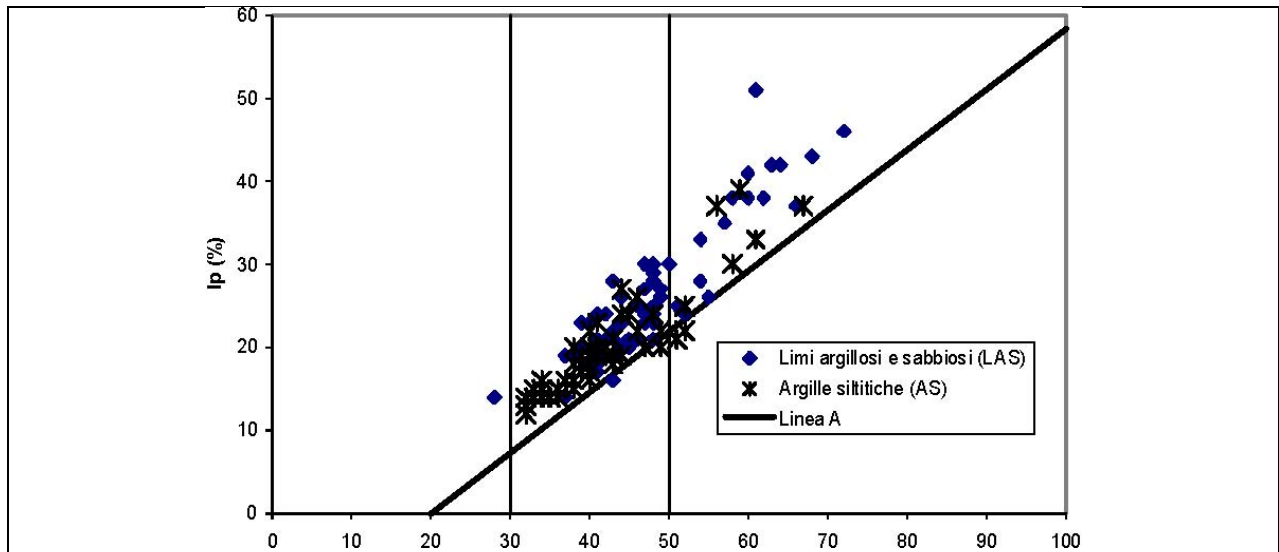
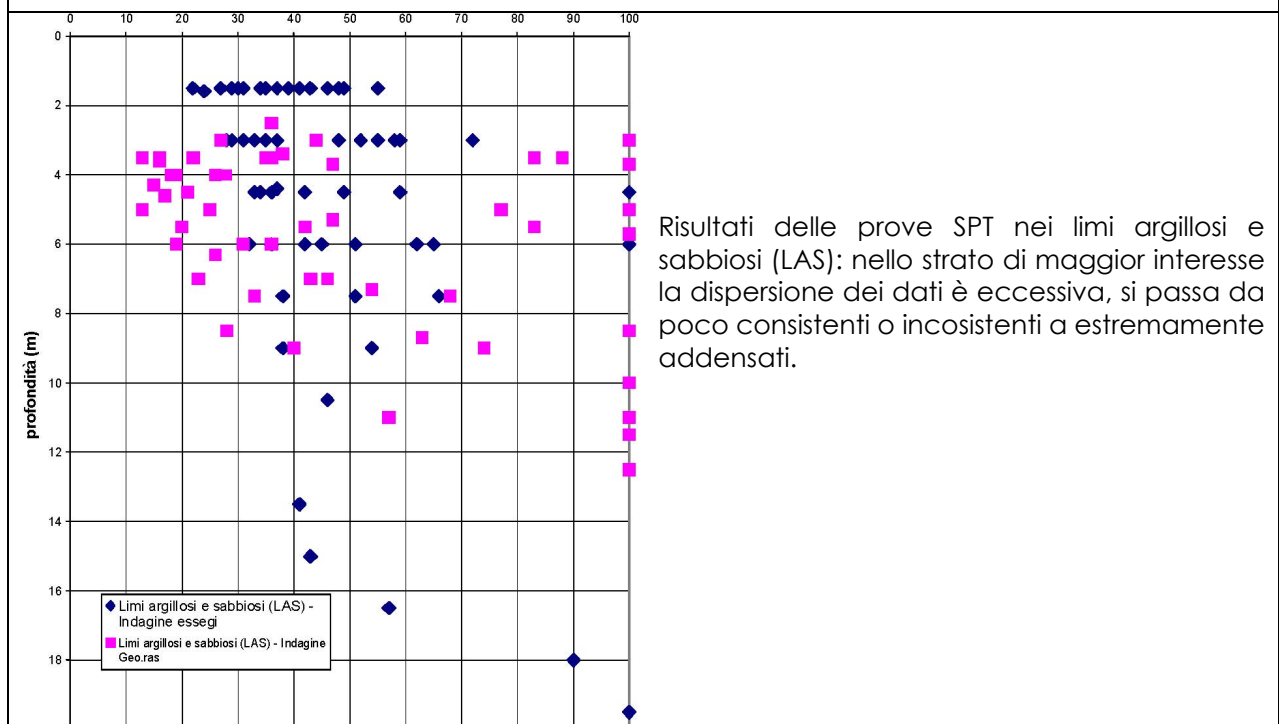


Figura 8-4: Carta di Casagrande: Limi argillosi e sabbiosi e Argille siltitiche



Risultati delle prove SPT nei limi argillosi e sabbiosi (LAS): nello strato di maggior interesse la dispersione dei dati è eccessiva, si passa da poco consistenti o inconsistenti a estremamente addensati.

Sono state utilizzate correlazioni empiriche per i valori di resistenza non drenata, ipotizzando che sia pari a 45 MPa (ottenuto per un valore della cu di 150 kPa).

Dalle prove edometriche si è ricavato un valor medio del modulo di compressione edometrico che, varia tra 10 e 40 MPa. Il valore è stato posto uguale a 18 Mpa; Poi è stato ipotizzato un coefficiente di Poisson pari a 0,2, da cui è stato stimato modulo di Young in condizioni

drenate, che risulta pari a 16 MPa. I dati dello strato 1 sono stati quindi valutati in questo modo (stesse caratteristiche per lo Strato 6 costituito da alternanze di Limo argilloso e detriti quarzo-arenitici).

Tabella 1 – Parametri fisico meccanici dello Strato 1 - Limo argilloso (LAS)

| Parametro                                      | Valore |
|--|--------|
| Peso dell'unità di volume (kN/m <sup>3</sup> ) | 20,0   |
| Coesione non drenata, $c_u$ (kPa)              | 150    |
| Coesione efficace, $c'$                        | 0      |
| Angolo d'attrito, $\phi'$ (°)                  | 26     |
| Modulo di Young non drenato, $E_u$ (MPa)       | 45     |
| Modulo di Young drenato, $E'$ (MPa)            | 16     |
| Coefficiente di Poisson, $\nu'$ (-)            | 0,2    |

Figura 8-5: Coesione non drenata

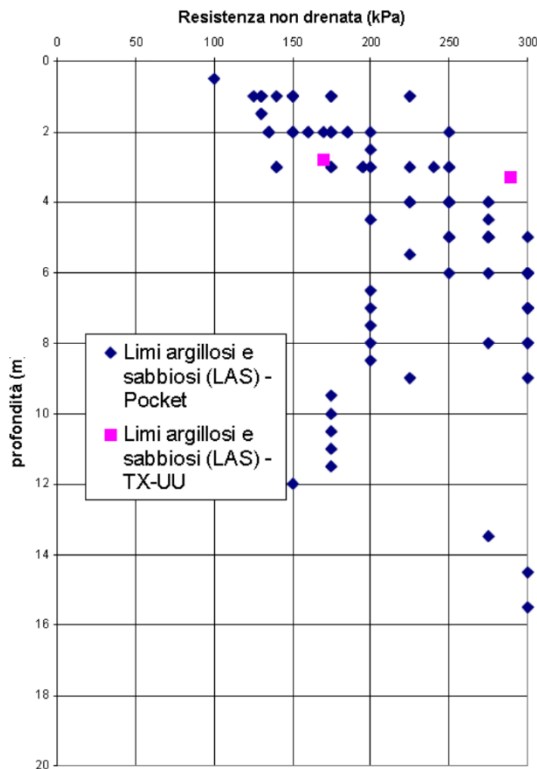


Figura 8-6: Coesione non drenata tratta dal TX-UU e dal Pocket – penetrometer nei Limi argillosi (LAS)

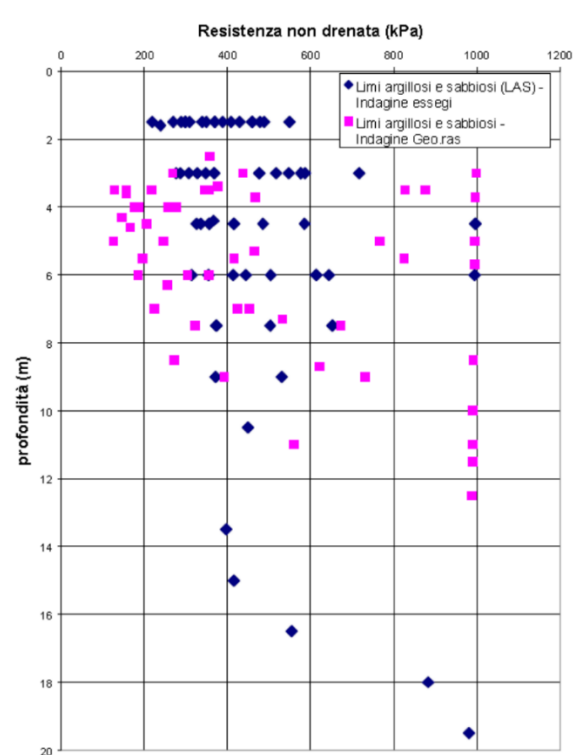


Figura 8-7: Coesione non drenata tratta dal SPT nei Limi argillosi (LAS)

Anche il confronto pocket-triassiali e SPT mostra un range dei valori di coesione non drenata molto ampio

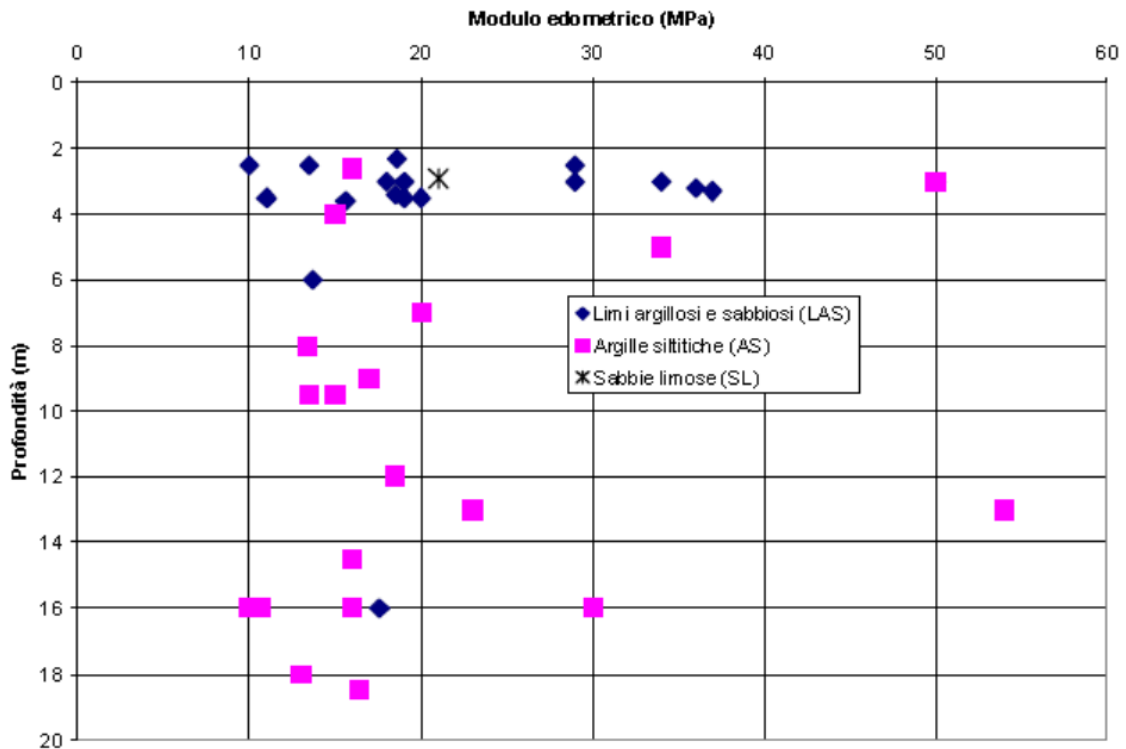


Figura 8-8: Moduli edometrici. Limi argillosi, Argille siltitiche, Sabbie limose

Nei LAS sono state fatte 15 prove di laboratorio, 5 hanno dato valori intorno a 18 Mpa, 5 inferiori e 5 superiori, ma è stato dato come valore di riferimento quello intermedio.

### 8.3.3. ARGILLA SILTITICA (AS)

Classificato come argilla limosa o limo argilloso, con frazioni sabbiose variabili.

Si tratta di un terreno di media-alta plasticità e di elevata consistenza. Il suo peso dell'unità di volume è mediamente pari a 20 kN/m<sup>3</sup>.

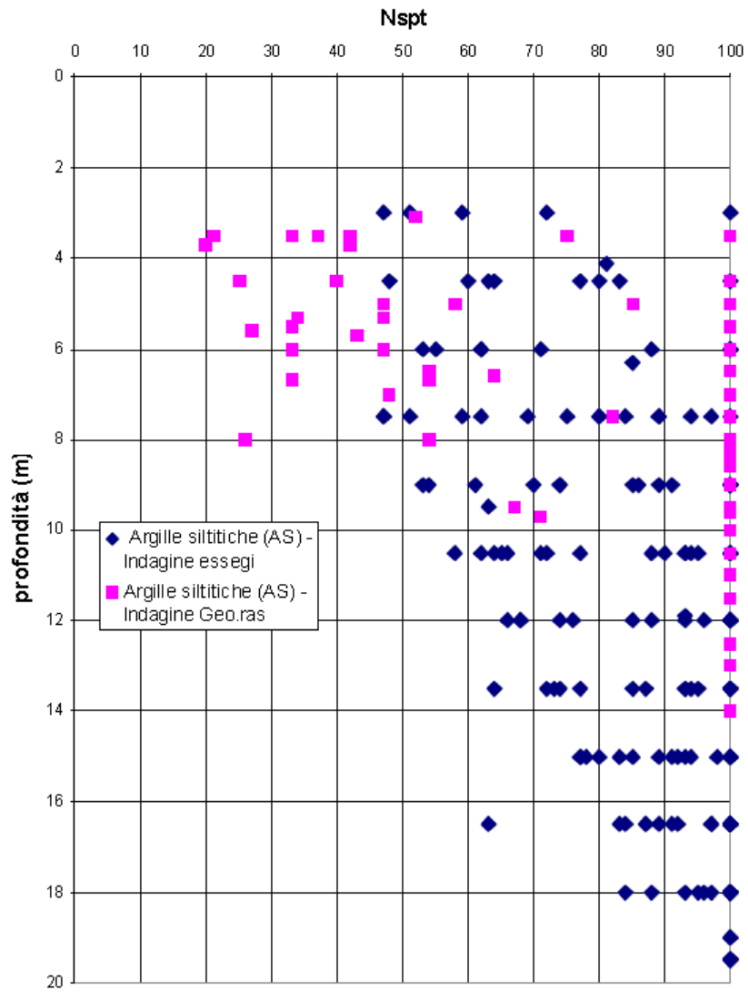
Anche in questo caso si sono tendenzialmente utilizzati i valori più bassi ottenuti, facendo stime dei parametri mancanti

Tabella 2 – Parametri fisico meccanici dello Strato 2 – Argilla siltitica (AS)

| Parametro                                      | Valore |
|--|--------|
| Peso dell'unità di volume (kN/m <sup>3</sup> ) | 20,0   |
| Coesione non drenata, $c_u$ (kPa)              | 200    |
| Coesione efficace, $c'$                        | 0      |
| Angolo d'attrito, $\phi'$ (°)                  | 26     |
| Modulo di Young non drenato, $E_u$ (MPa)       | 60     |
| Modulo di Young drenato, $E'$ (MPa)            | 16     |
| Coefficiente di Poisson, $\nu'$ (-)            | 0,2    |

Figura 8-9: Tabella con dati geotecnici utilizzati





**Figura 8-10: Risultati delle prove SPT nelle Argille slittiche**

Anche in questo caso, i dati delle SPT sono molto variabili negli strati di fondazione.

### 8.3.4. ARENARIE CEMENTATE E FRATTURATE (AR)

Si presenta cementato, debolmente cementato o non cementato. In quest'ultimo caso si tratta di sabbie addensate, con modeste frazioni di ghiaia e di limo. Non è plastico. Questo terreno ha un angolo d'attrito sempre superiore a 40°, che viene scelto come stima cautelativa.

Le prove effettuate non consentono di determinare direttamente un modulo di rigidezza del materiale. In ragione del suo grado di cementazione e della sua densità, si può ritenere accettabile un modulo di Young pari a 100 MPa, con un coefficiente di Poisson pari a 0,2.

Tabella 3 – Parametri fisico meccanici dello Strato 3 – Arenaria

| Parametro                                      | Valore |
|--|--------|
| Peso dell'unità di volume (kN/m <sup>3</sup> ) | 20,0   |
| Coesione non drenata, $c_u$ (kPa)              | -      |
| Coesione efficace, $c'$                        | 0      |
| Angolo d'attrito, $\phi'$ (°)                  | 40     |
| Modulo di Young non drenato, $E_u$ (MPa)       | -      |
| Modulo di Young drenato, $E'$ (MPa)            | 100    |
| Coefficiente di Poisson, $\nu'$ (-)            | 0,2    |

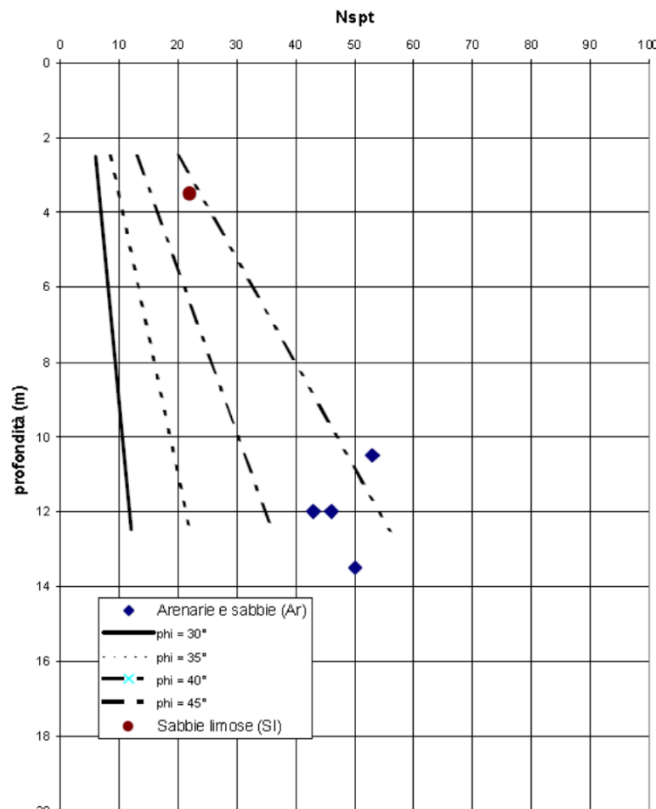


Figura 8-11: Risultati delle prove SPT nelle Arenaria e nelle Sabbie limose

I valori di SPT appaiono congruenti con l'angolo di attrito assegnato

### 8.3.5. SABBIE LIMOSE (SL)

Questo livello è presente solo in alcuni sondaggi, Non è plastico ed è privo di legami interparticellari. Il suo peso dell'unità di volume può essere posto pari a 18 kN/m<sup>3</sup>.

E' stata fatta una sola prova SPT, che ha dato valori di angolo d'attrito superiore a 40° e prossimo a 45°; ma è stato utilizzato un valore più ridotto e pari a 35°.

E' stata condotta un'unica prova edometrica si è ricavato un modulo di compressione edometrico pari a 21 MPa. E si è stimato il modulo di Young pari a 19 MPa.

Tabella 4 – Parametri fisico meccanici dello Strato 4 – Sabbia limosa

| Parametro                                | Valore |
|--|--------|
| Peso dell'unità di volume ( $kN/m^3$ )   | 18,0   |
| Coesione non drenata, $c_u$ (kPa)        | -      |
| Coesione efficace, $c'$                  | 0      |
| Angolo d'attrito, $\phi'$ (°)            | 35     |
| Modulo di Young non drenato, $E_u$ (MPa) | -      |
| Modulo di Young drenato, $E'$ (MPa)      | 19     |
| Coefficiente di Poisson, $\nu'$ (-)      | 0,2    |

### 8.3.6. STRATO DI DETRITO (D)

Detrito di natura quarzoarenitica immerso in matrice sabbiosa debolmente limosa; è stato comunque assimilato cautelativamente allo Strato 1 (LAS).

### 8.3.7. STRATO ALTERNANZE (ALT)

Alternanze di limi sabbiosi e livelli quarzoarenitici è stato assimilato cautelativamente allo Strato 1 (LAS).

### 8.3.8. TABELLA RIASSUNTIVA CARATTERISTICHE GEOTECNICHE



**Stratigrafie tipo**

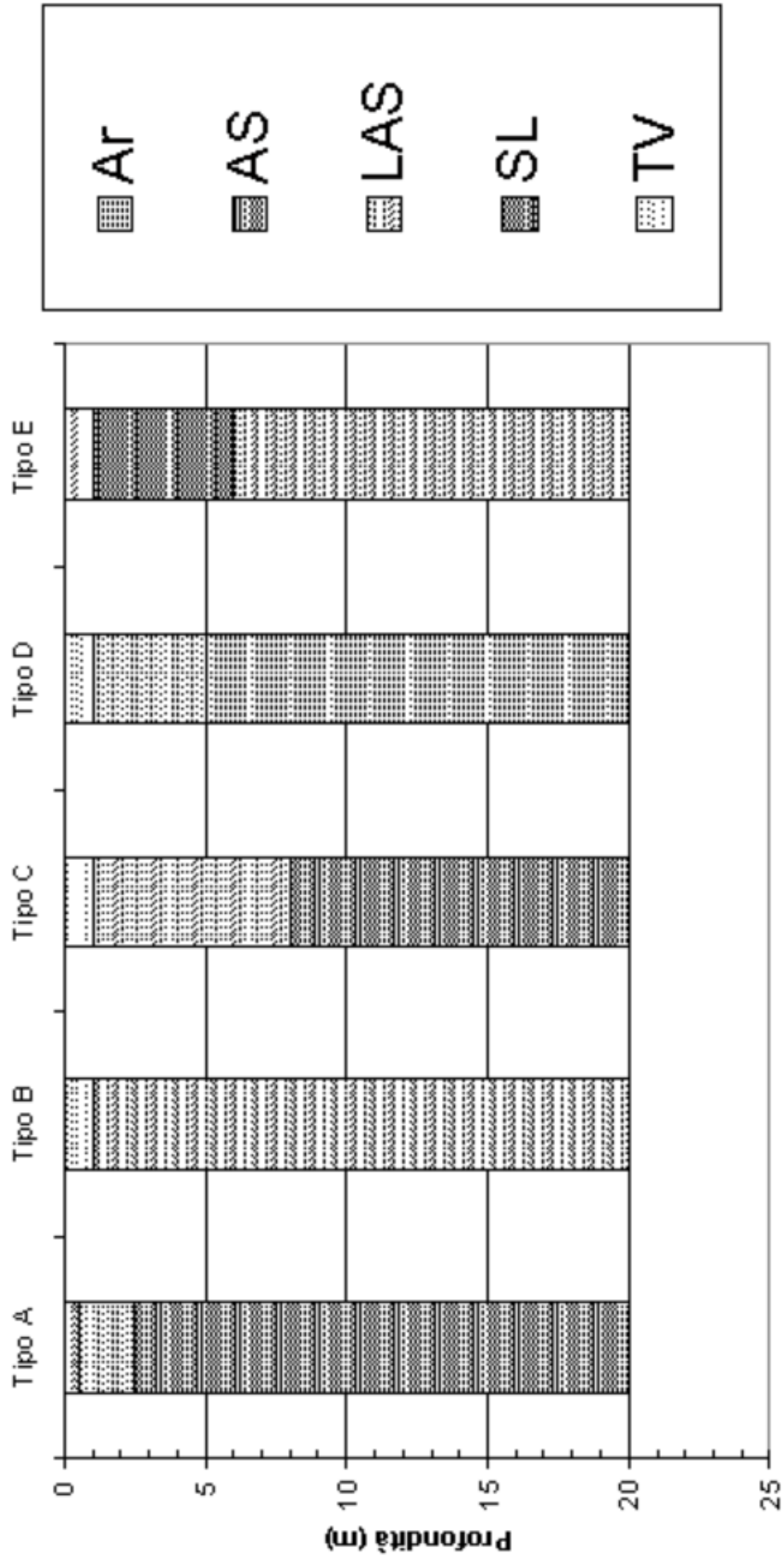


Figura 8-12: Tabella riassuntiva caratteristiche stratigrafiche

1. Terreno vegetale (TV) superficiale di modesto spessore
2. Strato 1 (LAS): limi argillosi consistenti, con inclusi e livelli sabbiosi
3. Strato 2 (AS): argille siltitiche, a tratti marnose, estremamente consistenti
4. Strato 3 (Ar-S): arenarie cementate fratturate, a tratti poco cementate e friabili,
5. Strato 4 (SL): Sabbie limose di colore marrone, da poco a mediamente addensate;

| Parametro                                      | Ar  | AS   | LAS | SL  | TV |
|--|-----|------|-----|-----|----|
| Peso dell'unità di volume (kN/m <sup>3</sup> ) | 20  | 20,0 | 20  | 18  | 16 |
| Coesione non drenata, $c_u$ (kPa)              |     | 200  | 150 |     |    |
| Coesione efficace, $c'$                        | 0   | 0    | 0   | 0   |    |
| Angolo d'attrito, $\phi'$ (°)                  | 40  | 26   | 26  | 35  |    |
| Modulo di Young non drenato, $E_u$ (MPa)       |     | 60   | 45  |     |    |
| Modulo di Young drenato, $E'$ (MPa)            | 100 | 16   | 16  | 19  |    |
| Coefficiente di Poisson, $\nu'$ (-)            | 0,2 | 0,2  | 0,2 | 0,2 |    |

#### 8.4. VALORI GEOTECNICI E SISMICI MEDI PER LE LITOLOGIE PRESENTI

Al fine di confrontare i dati ottenuti in passato soggetti a omogeneizzazioni cautelative, sono stati ricercati i valori medi che si ottengono in queste formazioni (incluse le velocità sismiche) al fine di completare il quadro di conoscenze minime per questa fase di progettazione, rimandando alla fase esecutiva ulteriori approfondimenti.

Tabella 2: Parametri medi per le unità litotecniche presenti in sito

|   | <b>Detrito di falda</b>  | <b>Depositi alluvionali</b>                                     | <b>Facies pelitica del Numidico</b>   | <b>Facies pelitico-areanacea del Flysch Numidico</b>  |
|---|--|---|---|---|
| <b>Parametri geotecnici</b>                           | g=2,1t/mc<br>f= 32° -34°   | g=1,9t/mc<br>f= 30° -32°  | <b>Coltre di alterazione:</b><br>g= 2,2 t/mc<br>f 16° -18°<br>Cu= 2,0 -6,0 t/mq<br><b>Substrato integro:</b><br>g = 2,3 t/mc<br>f= 35° -37°<br>Cu=30 t/mq<br>c' = 1 t/mq                          | <b>Coltre di alterazione:</b><br>g= 2,3 t/mc<br>f= 36° -38°<br><b>Substrato integro:</b><br>g = 2,3 t/mc<br>f= 38° -40°   |
| <b>Caratteristiche meccanico - elastiche</b>          | Vp = 600 m/s<br>Vs = 234 m/s<br>Edin = 332 Mpa<br>Gdin = 118 MPa | Vp = 525 m/s<br>Vs = 214 m/s<br>Edin = 249 MPa<br>Gdin = 89 MPa | <b>Coltre di alterazione:</b><br>Vp = 850 m/s<br>Vs = 332 m/s<br>Edin = 666 MPa<br>Gdin = 236 Mpa<br><b>Substrato integro:</b><br>Vp = 1870 m/s<br>Vs = 794 m/s<br>Edin = 4112 Mpa<br>Gdin = 1479 | <b>Coltre di alterazione:</b><br>Vp = 1680 m/s;<br>Vs = 739 m/s<br>Edin = 3382 MPa<br>Gdin = 1226 Mpa<br><b>Substrato integro:</b><br>Vp = 2630 m/s<br>Vs = 1353 m/s<br>Edin = 11387 MPa<br>Gdin = 4294 Mpa |
| <b>Risposta sismica</b>                               | Incremento macrosismico (Medvedev)<br>= 0,64                     | Incremento macrosismico (Medvedev)<br>= 0,43                    | Incremento macrosismico (Medvedev)<br>= 0,61  | Incremento macrosismico (Medvedev)<br>= 0,25  |
| <b>Spettro di risposta consigliata</b>                | T1 = 0,15<br>T0 = 0,80<br>R0 = 2,2                               | T1 = 0,15<br>T0 = 0,80<br>R0 = 2,2                              | T1 = 0,15<br>T0 = 0,80<br>R0 = 2,2  | T1 = 0,10<br>T0 = 0,35<br>R0 = 2,5  |
| <b>Coefficiente di intensità sismica consigliata:</b> | c = 0,077  | c = 0,07  | c = 0,076   | c = 0,07  |



|                                   |                   |                  |                  |                     |
|-----------------------------------|-------------------|------------------|------------------|---------------------|
| <b>Coefficiente di fondazione</b> | $\epsilon = 1,3$  | $\epsilon = 1,3$ | $\epsilon = 1,2$ | $\epsilon = 1,1$    |
| <b>Frequenza predominante:</b>    | 1,2 -2,2 -18,5 Hz | 1,0 -1,5 -2,2 Hz | 1,0 -1,5 -3,0 Hz | 1,2 - 13,0 -16,5 Hz |
| <b>Rischio di liquefazione:</b>   | Assente           | Assente          | Assente          | Assente             |

## 8.5. CONSIDERAZIONI FINALI

In base ai dati analizzati, le considerazioni sono le seguenti:

### 1. Geotecnica

L'omogeneizzazione delle unità stratigrafiche effettuata è considerata cautelativa. In fase di progetto esecutivo del nuovo impianto, le analisi effettuate durante la realizzazione del progetto originale (anno 2003) dovranno essere integrate da nuove analisi complementari.

### 2. Geofisica

Le indagini svolte in passato non includevano indagini geofisiche. Per ottenere un valore conservativo utilizzabile per la progettazione definitiva sono stati utilizzati quelli tipici per il Flish Numidico nell'area; tali valori indicano una classe B.

## 9. MICROZONAZIONE SISMICA E PERICOLOSITA' SISMICA DEL SITO

### 9.1. PREMESSA

Il Comune di Nicosia ricade nella zona sismica 2 a cui corrisponde un'accelerazione orizzontale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico pari a 0.25 ag/g, mentre dal punto di vista della pericolosità sismica (espressa in termini di accelerazione massima del suolo con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni riferiti a suoli molto rigidi), il territorio comunale rientra per la maggior nella fascia di valori 0,150 - 0,175 g, e per una porzione nella fascia 0.175 - 0.200 g.

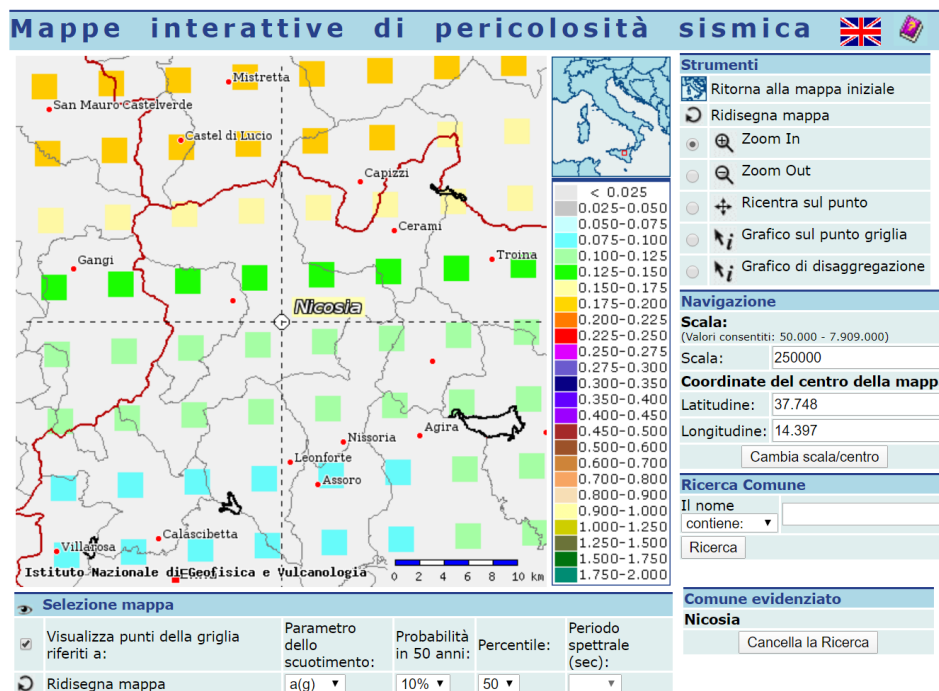


Figura 9-1: Pericolosità sismica

### 9.2. FAGLIE ATTIVE E FONTI SISMOGENETICHE

Per verificare la presenza di faglie attive e capaci (FAC) nel territorio in esame, si è fatto riferimento al Progetto ITHACA (ITaly HAZards from CAPable faults) - Catalogo delle faglie attive e capaci e al DISS 3.2.0 (Database of Individual Seismogenic Sources).

La loro consultazione non ha evidenziato la presenza di tali elementi strutturali nel territorio comunale di Nicosia.

La presenza di faglie già cartografate in letteratura è evidente nel territorio.

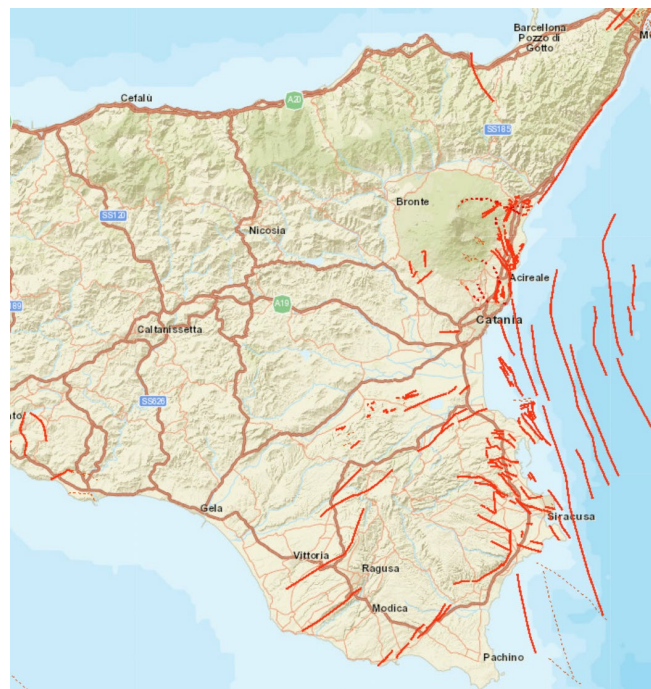
Per la loro definizione si è quindi fatto riferimento alle linee guida regionali, dove una faglia può definirsi "attiva" quando mostra evidenze di almeno un'attivazione negli ultimi 40.000

anni, prescrivendo, in tal caso, le necessarie analisi paleosismologiche per l'accertamento delle sue caratteristiche geometriche e sismogenetiche e l'adozione delle opportune zone di rispetto.

Per la definizione del pericolo derivante dall'eventuale presenza di FAC, sono stati quindi consultati i cataloghi ITHACA-ISPRA e i dati presenti nel DISS dell'INGV. In essi non è stata rilevata la presenza di strutture di tale tipo.

Le evidenti, e visibili, faglie che sono state rilevate durante gli studi pregressi o riscontrate nella consultazione di carte geologiche realizzate nell'area in studio possono pertanto essere classificate come Faglie Potenzialmente attive e Capaci (FPAC).

Le FPAC sono riportate nella Carta Geologica e, per queste faglie, la cui identificazione è stata effettuata essenzialmente con l'ausilio di dati di letteratura, non è prevista alcuna zonazione, come definito nelle Linee Guida.



**Figura 9-2: Progetto ITHACA (ITaly HAZards from CAPable faults) - Catalogo delle faglie attive e capaci (FAC)**



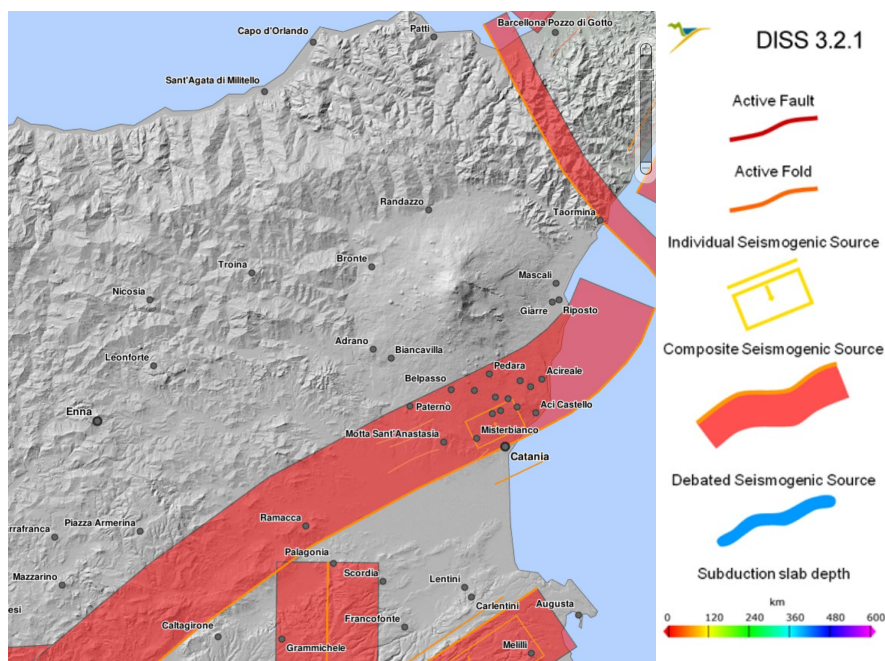


Figura 9-3: Zone sismogenetiche DISS 3.2.0 (Database of Individual Seismogenic Sources)

### 9.3. SISMICITÀ STORICA E PERICOLOSITÀ SISMICA DEL TERRITORIO COMUNALE DI NICOSIA

Numerosi sono i grandi terremoti che hanno colpito la Sicilia in epoca storica, ma per quelli antecedenti al 1600 non si hanno informazioni sufficienti che consentano la ricostruzione accurata degli effetti macrosismici, determinando quindi imprecisione nella definizione della mappa delle massime intensità.

Di seguito sono descritti gli eventi principali che dal XVII secolo hanno avuto effetti macrosismici significativi nella Sicilia Settentrionale.

Nella mappa di sono riportati i punti epicentrali e le massime intensità ivi risentite dei maggiori terremoti verificatisi dopo il 1542.

L'area in esame è stata quindi interessata da una modesta attività sismica generata dalle faglie presenti, caratterizzata da eventi di bassa energia.

L'evento dell'11 gennaio 1693 è storicamente ricordato come uno dei più catastrofici mai avvenuto sul territorio nazionale. Il terremoto rase al suolo la città di Catania, Lentini e Noto. Il terremoto fu avvertito con spavento in tutta l'isola. A Palermo si lamentarono leggeri danni.

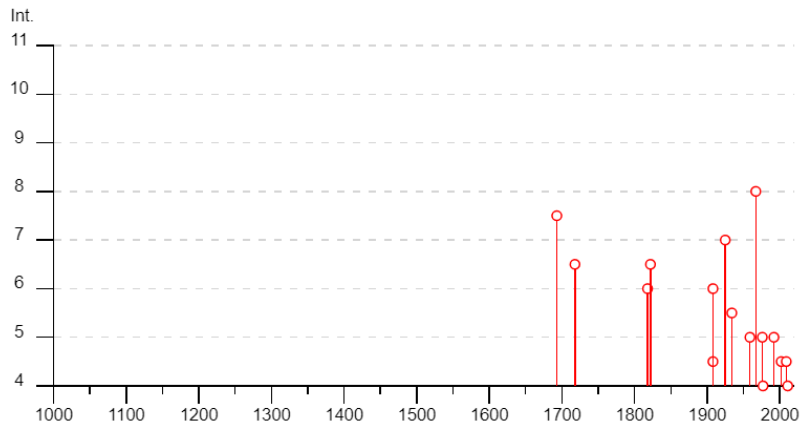
Il terremoto siciliano del 1693, VIII grado della scala Mercalli, rappresenta uno dei pochi eventi per i quali sia stato possibile ricostruire l'intero quadro macrosismico con apprezzabile dettaglio grazie ad una approfondita relazione stesa dal Duca di Camastra indirizzata al Viceré di Sicilia che lo aveva incaricato di una ricognizione nei paesi colpiti dal terremoto.

I dati analizzati suggeriscono un movimento di tipo inverso (thrust) con cinematica trasgressiva (compressione e scorrimento) lungo piani ad andamento NE-SW.

È importante capire la geologia di questo settore: esso costituisce una porzione della Catena Maghrebide Siciliana, che si sviluppa in direzione E-W, sottoposta a processi di assottigliamento crostale, collegata al Bacino Tirrenico, caratterizzato da processi di oceanizzazione.

Questi processi di assottigliamento crostale sarebbero stati accoppiati circa 3,5 milioni di anni fa, nel settore sud-tirrenico prospiciente la costa settentrionale siciliana, ad un regime tettonico trascorrente che ha causato l'attivazione di un'ampia zona di taglio destro orientata circa E-O.

Vista la complessiva pericolosità sismica, il comune di Nicosia risulta inserito in Zona Sismica 2.



**Figura 9-4: Energia e periodo terremoti principali**

| Effetti | In occasione del terremoto del |    |    |    |    |    |                                  |      |       |      |
|---------|--------------------------------|----|----|----|----|----|----------------------------------|------|-------|------|
| Int.    | Anno                           | Me | Gi | Ho | Mi | Se | Area epicentrale                 | NMDP | Io    | Mw   |
| NC      | 1542                           | 12 | 10 | 15 | 15 |    | Sicilia sud-orientale            | 32   | 10    | 6.68 |
| 7-8     | 1693                           | 01 | 11 | 13 | 30 |    | Sicilia sud-orientale            | 179  | 11    | 7.32 |
| 6-7     | 1718                           | 02 | 20 |    |    |    | Sicilia orientale                | 7    | 6-7   | 5.25 |
| 6       | 1818                           | 02 | 20 | 18 | 15 |    | Catanese                         | 128  | 9-10  | 6.28 |
| F       | 1818                           | 09 | 08 | 09 | 50 |    | Monti Madonie                    | 24   | 7-8   | 5.34 |
| F       | 1819                           | 02 | 24 | 23 | 20 |    | Monti Madonie                    | 24   | 7-8   | 5.37 |
| 6-7     | 1822                           | 04 | 06 |    |    |    | Nicosia                          | 7    | 5-6   | 4.34 |
| NF      | 1897                           | 02 | 11 | 23 | 33 | 0  | Ionio meridionale                | 96   | 5     | 5.03 |
| NF      | 1897                           | 05 | 15 | 13 | 42 | 3  | Tirreno meridionale              | 85   | 5     | 4.52 |
| NF      | 1898                           | 05 | 14 | 04 | 45 |    | Etna - S. Maria Licodia          | 35   | 7-8   | 4.03 |
| NF      | 1905                           | 09 | 08 | 01 | 43 |    | Calabria centrale                | 895  | 10-11 | 6.95 |
| 2       | 1907                           | 10 | 23 | 20 | 28 | 1  | Aspromonte                       | 274  | 8-9   | 5.96 |
| 4-5     | 1908                           | 08 | 15 | 09 | 40 |    | Monti Nebrodi                    | 16   | 7     | 5.08 |
| NF      | 1908                           | 12 | 10 | 06 | 20 |    | Monti Peloritani                 | 64   | 7     | 5.11 |
| 6       | 1908                           | 12 | 28 | 04 | 20 | 2  | Stretto di Messina               | 772  | 11    | 7.10 |
| NF      | 1909                           | 07 | 01 | 06 | 24 |    | Stretto di Messina               | 35   | 8     | 5.49 |
| NF      | 1910                           | 06 | 08 | 11 | 49 |    | Monti Madonie ?                  | 13   | 4-5   | 3.90 |
| 3       | 1912                           | 01 | 30 | 21 | 40 |    | Monti Madonie                    | 7    | 5-6   | 4.40 |
| NF      | 1912                           | 12 | 22 | 08 | 05 |    | Stretto di Messina               | 56   | 5-6   | 4.68 |
| 7       | 1925                           | 03 | 08 | 15 | 46 |    | Monti Nebrodi                    | 15   | 6-7   | 4.57 |
| 3-4     | 1925                           | 08 | 21 | 19 | 11 |    | Sicilia centro-settentrionale    | 14   | 6     | 4.51 |
| 5-6     | 1934                           | 09 | 11 | 01 | 19 |    | Sicilia centro-settentrionale    | 28   | 5-6   | 4.84 |
| 3       | 1936                           | 10 | 08 | 08 | 04 |    | Patti                            | 16   | 5-6   | 4.61 |
| 5       | 1959                           | 12 | 23 | 09 | 29 |    | Piana di Catania                 | 108  | 6-7   | 5.11 |
| 8       | 1967                           | 10 | 31 | 21 | 08 | 0  | Monti Nebrodi                    | 60   | 8     | 5.33 |
| 5       | 1976                           | 09 | 17 | 01 | 23 | 5  | Monti Nebrodi                    | 40   | 5-6   | 4.55 |
| 4       | 1977                           | 06 | 05 | 13 | 59 |    | Monti Nebrodi                    | 108  | 6-7   | 4.61 |
| 3-4     | 1978                           | 04 | 15 | 23 | 33 | 4  | Golfo di Patti                   | 330  | 8     | 6.03 |
| 2       | 1980                           | 11 | 23 | 18 | 34 | 5  | Irpinia-Basilicata               | 1394 | 10    | 6.81 |
| 3-4     | 1990                           | 12 | 13 | 00 | 24 | 2  | Sicilia sud-orientale            | 304  |       | 5.61 |
| 5       | 1992                           | 04 | 06 | 13 | 08 | 3  | Monti Nebrodi                    | 23   | 5     | 4.73 |
| NF      | 1992                           | 09 | 27 | 11 | 55 | 1  | Sicilia centro-settentrionale    | 54   |       | 4.16 |
| 3       | 1993                           | 06 | 26 | 17 | 47 | 5  | Monti Madonie ?                  | 47   | 6-7   | 4.92 |
| 3-4     | 1994                           | 05 | 06 | 19 | 09 | 4  | Sicilia centrale                 | 68   | 5     | 4.36 |
| 4-5     | 2002                           | 09 | 06 | 01 | 21 | 2  | Tirreno meridionale              | 132  | 6     | 5.92 |
| NF      | 2004                           | 05 | 05 | 13 | 39 | 4  | Isole Eolie                      | 641  |       | 5.42 |
| NF      | 2005                           | 11 | 03 | 09 | 19 | 0  | Costa siciliana settentrionale   | 61   | 4-5   | 3.30 |
| 3       | 2005                           | 11 | 21 | 10 | 57 | 4  | Sicilia centrale                 | 255  |       | 4.56 |
| 4-5     | 2009                           | 11 | 08 | 06 | 51 | 1  | Monti Nebrodi                    | 28   | 5     | 4.52 |
| 3       | 2009                           | 12 | 19 | 09 | 01 | 1  | Etna - Maletto                   | 64   | 6     | 4.39 |
| 3       | 2011                           | 05 | 06 | 15 | 12 | 3  | Etna - Versante nord-occidentale | 25   | 5-6   | 4.31 |
| 4       | 2011                           | 06 | 23 | 22 | 02 | 4  | Monti Nebrodi                    | 54   | 5-6   | 4.70 |

Figura 9-5: Elenco terremoti storici per il sito di Nicosia

#### 9.4. STIMA CATEGORIA SUOLO

Stima categoria di sottosuolo secondo le norme tecniche per le Costruzioni 17-01-2018 (NTC

2018).

Secondo la normativa vigente la tipologia del suolo di fondazione è dipendente dal valore  $V_{s,eq}$  definito dalla seguente equazione:

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

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  $V_{s,30}$ , ottenuto ponendo  $H=30$  m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

Le velocità sismiche di riferimento provengono da studi eseguiti in zona che evidenziano velocità, per le litologie prese in considerazione, tali da porre le litologie prese in esame nella categoria B ovvero:

“Rocce tenere e depositi a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra i 360 m/s e 800 m/s”

## 9.5. SISMICITÀ DELL'AREA

### 9.5.1. PREMESSA

Come precedente anticipato, la tipologia del suolo di fondazione è dipendente dal valore  $V_s$  calcolabile dall'equazione sopra illustrata.

Inoltre, le verifiche strutturali nei diversi stati limiti vanno condotte adottando le azioni sismiche che sono funzione della “pericolosità sismica” dell'area in esame. La “pericolosità sismica” è definita a partire dall'accelerazione orizzontale massima attesa  $a_g$  in condizioni di campo libero su suolo rigido, con piano campagna orizzontale.

Le azioni di progetto dovute al sisma si ricavano dalle accelerazioni  $a_g$  e dalle relative forme spettrali definite in funzione dei parametri:

- $a_g$  = accelerazione orizzontale massima al sito
- $F_o$  = valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale
- $T_{c^*}$  = periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

I valori di tali parametri sono riportati nella tabella esposta nell'Allegato A del decreto; i parametri dell'area in esame vengono ottenuti per interpolazione lineare tra quattro punti di una griglia di punti prefissati sul territorio.

Utilizzando il software “Geostru PS” si ricavano gli spettri di risposta elastica delle componenti orizzontali di moto, per i diversi periodi di ritorno considerati dal D.M.

### 9.5.2. MICROZONIZZAZIONE SISMICA

La microzonazione sismica ha lo scopo di riconoscere ad una scala sufficientemente piccola (scala comunale o sub comunale) le condizioni di sito che possono modificare sensibilmente le caratteristiche del moto sismico atteso (risposta sismica locale) o possono produrre deformazioni permanenti rilevanti per le costruzioni e le infrastrutture.

In sostanza lo studio di microzonazione restituisce una mappa del territorio nella quale sono indicate:

- Le zone in cui il moto sismico viene modificato rispetto a quello atteso in condizioni ideali di terreno rigido (suolo A della norma nazionale) e pianeggiante, a causa delle caratteristiche litostratigrafiche del terreno e geomorfologiche del territorio.
- Le zone in cui sono presenti o suscettibili di attivazione fenomeni di deformazione permanenti del territorio indotti o innescati dal sisma (instabilità di versante, assestamenti, liquefazioni, fagliazione superficiale).



Nel caso in esame, la copertura superficiale appare superiore alla profondità di posa delle fondazioni, ed il bedrock sismico ( $V_s > 800$  m/sec) non viene raggiunto; si avrà pertanto un'amplificazione sismica locale dovuta alla presenza dello strato superficiale di sedimenti.

### 9.5.3. EFFETTI DI AMPLIFICAZIONE TOPOGRAFICA

Le verifiche sugli effetti di amplificazione topografica si basano puramente su criteri di tipo morfometrico/morfologico; per le sezioni e le misurazioni si è fatto riferimento alla cartografia disponibile.

| Categoria topografica   | Ubicazione opera   | St  |
|---|--------------------|-----|
| T1 (sup. pianeggiante, pendii e rilievi isolati con incl. media $\leq 15^\circ$ )                                 | -                  | 1.0 |
| T2 (pendii con inclinazione media $> 15^\circ$ )  | Sommità del pendio | 1.2 |
| T3 (rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base ed inclinazione media compresa tra $15-30^\circ$ ) | Cresta del rilievo | 1.2 |
| T4 (rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base ed inclinazione media $> 30^\circ$ )               | Cresta del rilievo | 1.4 |

**Figura 9-6: Valori massimi del coeff. di amplificazione topografica (tabella 3.2.IV della N.T.C.):**

Nel caso specifico, a fini cautelativi e vista l'orografia variabile del sito si è deciso di utilizzare una categoria T3, il valore di riferimento è  $St = 1.2$

### 9.6. PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE

Data: 20/03/2020

Vita nominale ( $V_n$ ): 50 [anni]  
 Classe d'uso: II  
 Coefficiente d'uso ( $C_u$ ): 1  
 Periodo di riferimento ( $V_r$ ): 50 [anni]

Periodo di ritorno ( $T_r$ ) SLO: 30 [anni]  
 Periodo di ritorno ( $T_r$ ) SLD: 50 [anni]  
 Periodo di ritorno ( $T_r$ ) SLV: 475 [anni]  
 Periodo di ritorno ( $T_r$ ) SLC: 975 [anni]

Tipo di interpolazione: Media ponderata

Coordinate geografiche del punto:

Latitudine (WGS84): 37,8400078 [°]  
 Longitudine (WGS84): 14,2807274 [°]

Latitudine (ED50): 37,8410645 [°]  
 Longitudine (ED50): 14,2815628 [°]

Coordinate dei punti della maglia elementare del reticolo di riferimento che contiene il sito e valori della distanza rispetto al punto in esame

| Punto | ID | Latitudine (ED50)<br>[°] | Longitudine (ED50)<br>[°] | Distanza<br>[m] |
|-------|----|--------------------------|---------------------------|-----------------|
|-------|----|--------------------------|---------------------------|-----------------|

|   |       |           |           |         |
|---|-------|-----------|-----------|---------|
| 1 | 46521 | 37,832360 | 14,248190 | 3086,41 |
| 2 | 46522 | 37,831900 | 14,311270 | 2800,78 |
| 3 | 46300 | 37,881900 | 14,311900 | 5264,12 |
| 4 | 46299 | 37,882360 | 14,248740 | 5421,07 |

Parametri di pericolosità sismica per TR diversi da quelli previsti nelle NTC, per i nodi della maglia elementare del reticolo di riferimento

**Punto 1**

| Stato limite | Tr<br>[anni] | ag<br>[g] | F0<br>[-] | Tc*<br>[s] |
|--------------|--------------|-----------|-----------|------------|
| SLO          | 30           | 0,047     | 2,364     | 0,259      |
| SLD          | 50           | 0,061     | 2,372     | 0,274      |
|              | 72           | 0,074     | 2,341     | 0,281      |
|              | 101          | 0,087     | 2,340     | 0,288      |
|              | 140          | 0,101     | 2,345     | 0,292      |
|              | 201          | 0,118     | 2,352     | 0,298      |
| SLV          | 475          | 0,166     | 2,398     | 0,312      |
| SLC          | 975          | 0,215     | 2,456     | 0,317      |
|              | 2475         | 0,292     | 2,524     | 0,332      |

**Punto 2**

| Stato limite | Tr<br>[anni] | ag<br>[g] | F0<br>[-] | Tc*<br>[s] |
|--------------|--------------|-----------|-----------|------------|
| SLO          | 30           | 0,047     | 2,367     | 0,260      |
| SLD          | 50           | 0,062     | 2,378     | 0,275      |
|              | 72           | 0,074     | 2,344     | 0,283      |
|              | 101          | 0,087     | 2,341     | 0,290      |
|              | 140          | 0,101     | 2,344     | 0,294      |
|              | 201          | 0,118     | 2,349     | 0,305      |
| SLV          | 475          | 0,165     | 2,408     | 0,314      |
| SLC          | 975          | 0,214     | 2,466     | 0,320      |
|              | 2475         | 0,291     | 2,531     | 0,334      |

**Punto 3**

| Stato limite | Tr<br>[anni] | ag<br>[g] | F0<br>[-] | Tc*<br>[s] |
|--------------|--------------|-----------|-----------|------------|
| SLO          | 30           | 0,050     | 2,353     | 0,260      |
| SLD          | 50           | 0,066     | 2,347     | 0,273      |
|              | 72           | 0,080     | 2,337     | 0,280      |
|              | 101          | 0,094     | 2,331     | 0,286      |
|              | 140          | 0,109     | 2,334     | 0,290      |
|              | 201          | 0,127     | 2,337     | 0,295      |
| SLV          | 475          | 0,179     | 2,394     | 0,309      |
| SLC          | 975          | 0,231     | 2,453     | 0,316      |
|              | 2475         | 0,311     | 2,528     | 0,333      |

**Punto 4**

| Stato limite | Tr<br>[anni] | ag<br>[g] | F0<br>[-] | Tc*<br>[s] |
|--------------|--------------|-----------|-----------|------------|
| SLO          | 30           | 0,050     | 2,343     | 0,258      |
| SLD          | 50           | 0,066     | 2,338     | 0,272      |
|              | 72           | 0,079     | 2,335     | 0,278      |
|              | 101          | 0,094     | 2,331     | 0,284      |
|              | 140          | 0,109     | 2,331     | 0,288      |
|              | 201          | 0,128     | 2,333     | 0,294      |
| SLV          | 475          | 0,179     | 2,386     | 0,307      |
| SLC          | 975          | 0,231     | 2,446     | 0,314      |
|              | 2475         | 0,312     | 2,524     | 0,331      |

**Punto d'indagine**

| Stato limite | Tr<br>[anni] | ag<br>[g] | F0<br>[-] | Tc*<br>[s] |
|--------------|--------------|-----------|-----------|------------|
| SLO          | 30           | 0,048     | 2,359     | 0,259      |
| SLD          | 50           | 0,063     | 2,364     | 0,274      |
| SLV          | 475          | 0,170     | 2,399     | 0,311      |

|     |     |       |       |       |
|-----|-----|-------|-------|-------|
| SLC | 975 | 0,221 | 2,457 | 0,317 |
|-----|-----|-------|-------|-------|

## 9.7. PERICOLOSITÀ SISMICA DI SITO

Coefficiente di smorzamento viscoso  $\xi$ : 5%

Fattore di alterazione dello spettro elastico  $\eta=[10/(5+\xi)]^{(1/2)}$ : 1,000

Categoria sottosuolo: B

Categoria topografica:

T3: Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media compresa tra 15° e 30°

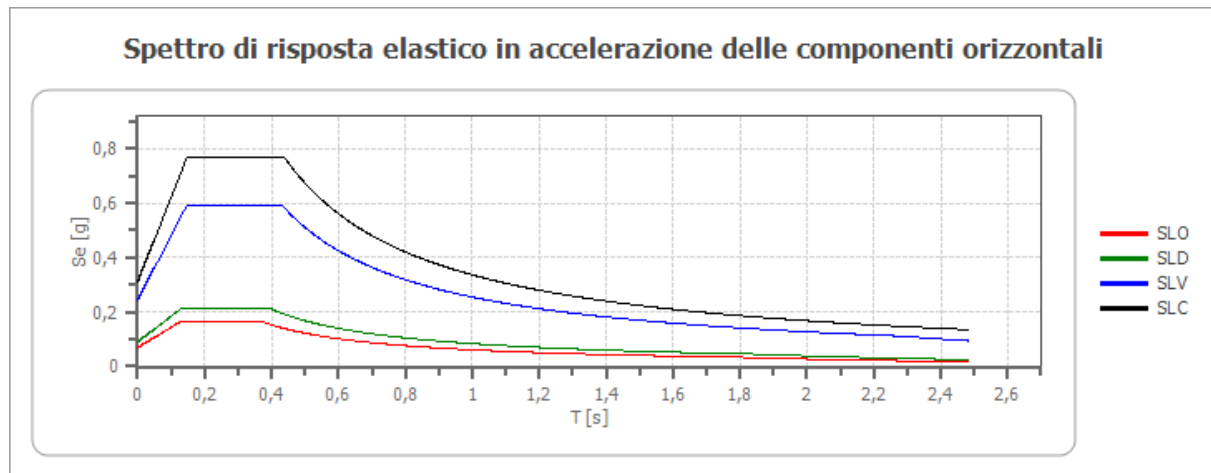
### Stabilità di pendii e fondazioni

| Coefficienti             | SLO   | SLD   | SLV   | SLC   |
|--------------------------|-------|-------|-------|-------|
| kh                       | 0,014 | 0,018 | 0,059 | 0,087 |
| kv                       | 0,007 | 0,009 | 0,029 | 0,044 |
| amax [m/s <sup>2</sup> ] | 0,680 | 0,891 | 2,407 | 3,062 |
| Beta                     | 0,200 | 0,200 | 0,240 | 0,280 |

### Fronti di scavo e rilevati

| Coefficienti             | SLO   | SLD   | SLV   | SLC   |
|--------------------------|-------|-------|-------|-------|
| kh                       | --    | 0,043 | 0,093 | --    |
| kv                       | --    | 0,021 | 0,047 | --    |
| amax [m/s <sup>2</sup> ] | 0,680 | 0,891 | 2,407 | 3,062 |
| Beta                     | --    | 0,470 | 0,380 | --    |

### Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti orizzontali



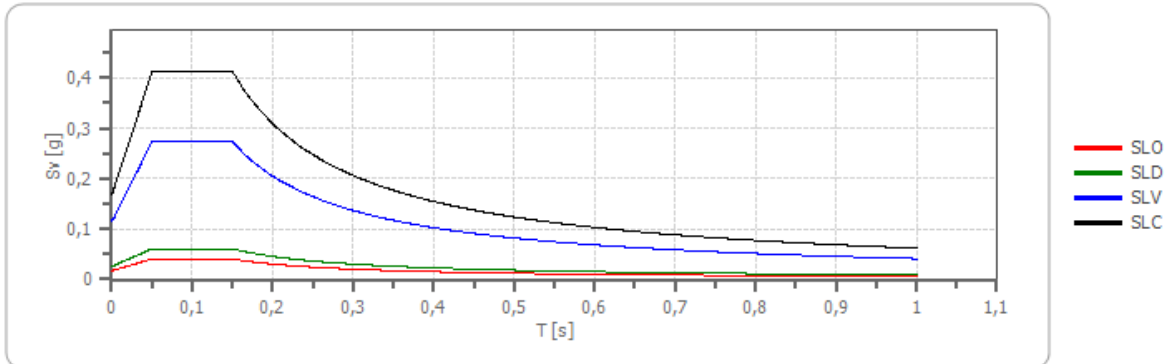
|     | cu  | ag [g] | F0 [-] | Tc* [s] | Ss [-] | Cc [-] | St [-] | S [-] | $\eta$ [-] | TB [s] | TC [s] | TD [s] | Se(0) [g] | Se(T B) [g] |
|-----|-----|--------|--------|---------|--------|--------|--------|-------|------------|--------|--------|--------|-----------|-------------|
| SLO | 1,0 | 0,048  | 2,359  | 0,259   | 1,200  | 1,440  | 1,200  | 1,440 | 1,000      | 0,125  | 0,374  | 1,793  | 0,069     | 0,164       |
| SLD | 1,0 | 0,063  | 2,364  | 0,274   | 1,200  | 1,430  | 1,200  | 1,440 | 1,000      | 0,131  | 0,392  | 1,852  | 0,091     | 0,215       |
| SLV | 1,0 | 0,170  | 2,399  | 0,311   | 1,200  | 1,390  | 1,200  | 1,440 | 1,000      | 0,144  | 0,433  | 2,282  | 0,245     | 0,589       |
| SLC | 1,0 | 0,221  | 2,457  | 0,317   | 1,180  | 1,380  | 1,200  | 1,416 | 1,000      | 0,146  | 0,438  | 2,482  | 0,312     | 0,767       |

### Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti verticali

Coefficiente di smorzamento viscoso  $\xi$ : 5%

Fattore di alterazione dello spettro elastico  $\eta=[10/(5+\xi)]^{(1/2)}$ : 1,000

### Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti verticali



|     | cu  | ag [g] | F0 [-] | Tc* [s] | Ss [-] | Cc [-] | St [-] | S [-] | $\eta$ [-] | TB [s] | TC [s] | TD [s] | Se(0) [g] | Se(T B) [g] |
|-----|-----|--------|--------|---------|--------|--------|--------|-------|------------|--------|--------|--------|-----------|-------------|
| SLO | 1,0 | 0,048  | 2,359  | 0,259   | 1      | 1,440  | 1,200  | 1,200 | 1,000      | 0,050  | 0,150  | 1,000  | 0,017     | 0,040       |
| SLD | 1,0 | 0,063  | 2,364  | 0,274   | 1      | 1,430  | 1,200  | 1,200 | 1,000      | 0,050  | 0,150  | 1,000  | 0,026     | 0,061       |
| SLV | 1,0 | 0,170  | 2,399  | 0,311   | 1      | 1,390  | 1,200  | 1,200 | 1,000      | 0,050  | 0,150  | 1,000  | 0,114     | 0,273       |
| SLC | 1,0 | 0,221  | 2,457  | 0,317   | 1      | 1,380  | 1,200  | 1,200 | 1,000      | 0,050  | 0,150  | 1,000  | 0,168     | 0,412       |

### Spettro di progetto

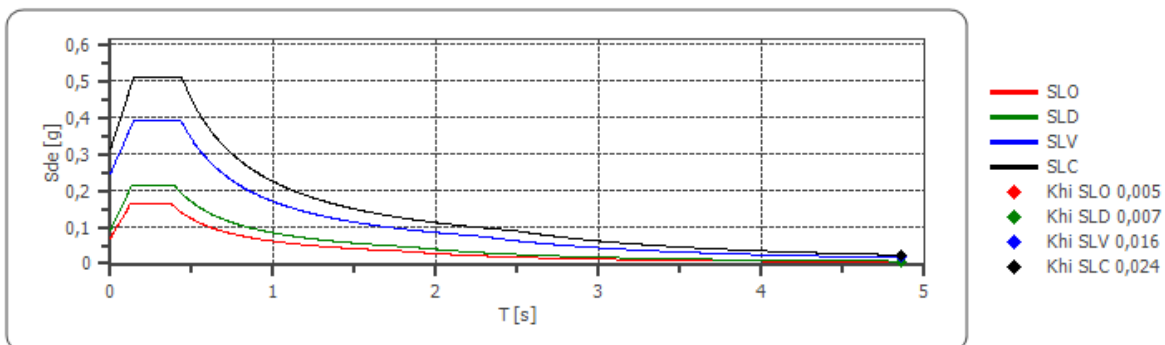
Fattore di struttura spettro orizzontale q: 1,50

Fattore di struttura spettro verticale q: 1,50

Periodo fondamentale T: 4,86 [s]

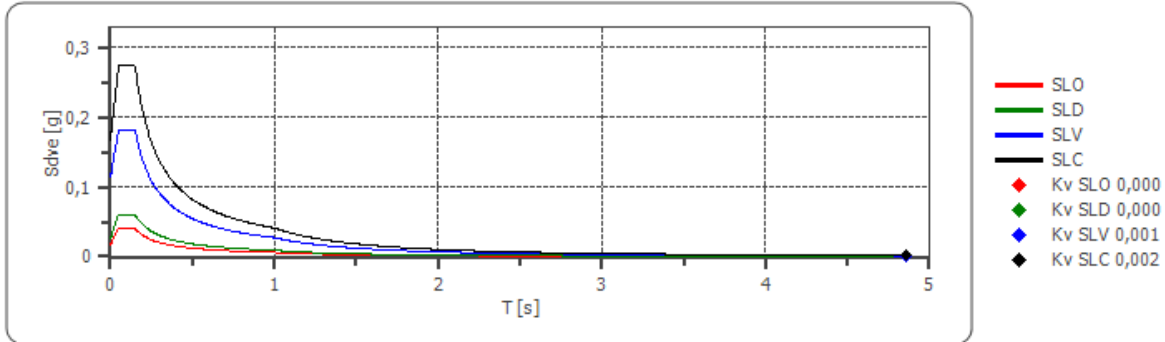
|                              | SLO   | SLD   | SLV   | SLC   |
|------------------------------|-------|-------|-------|-------|
| khi = Sde(T) Orizzontale [g] | 0,005 | 0,007 | 0,016 | 0,024 |
| kv = Sdve(T) Verticale [g]   | 0,000 | 0,000 | 0,001 | 0,002 |

### Spettro di progetto delle componenti orizzontali





### Spettro di progetto delle componenti verticali



|                 | cu  | ag [g] | F0 [-] | Tc* [s] | Ss [-] | Cc [-] | St [-] | S [-] | q [-] | TB [s] | TC [s] | TD [s] | Sd(0) [g] | Sd(TB) [g] |
|-----------------|-----|--------|--------|---------|--------|--------|--------|-------|-------|--------|--------|--------|-----------|------------|
| SLO orizzontale | 1,0 | 0,048  | 2,359  | 0,259   | 1,2    | 1,440  | 1,2    | 1,440 | 1,0   | 0,125  | 0,374  | 1,793  | 0,069     | 0,164      |
| SLO verticale   | 1,0 | 0,048  | 2,359  | 0,259   | 1,2    | 1,440  | 1,2    | 1,200 | 1,0   | 0,050  | 0,150  | 1,000  | 0,017     | 0,040      |
| SLD orizzontale | 1,0 | 0,063  | 2,364  | 0,274   | 1,2    | 1,430  | 1,2    | 1,440 | 1,0   | 0,131  | 0,392  | 1,852  | 0,091     | 0,215      |
| SLD verticale   | 1,0 | 0,063  | 2,364  | 0,274   | 1,2    | 1,430  | 1,2    | 1,200 | 1,0   | 0,050  | 0,150  | 1,000  | 0,026     | 0,061      |
| SLV orizzontale | 1,0 | 0,170  | 2,399  | 0,311   | 1,2    | 1,390  | 1,2    | 1,440 | 1,5   | 0,144  | 0,433  | 2,282  | 0,245     | 0,392      |
| SLV verticale   | 1,0 | 0,170  | 2,399  | 0,311   | 1,2    | 1,390  | 1,2    | 1,200 | 1,5   | 0,050  | 0,150  | 1,000  | 0,114     | 0,182      |
| SLC orizzontale | 1,0 | 0,221  | 2,457  | 0,317   | 1,18   | 1,380  | 1,2    | 1,416 | 1,5   | 0,146  | 0,438  | 2,482  | 0,312     | 0,511      |
| SLC verticale   | 1,0 | 0,221  | 2,457  | 0,317   | 1,18   | 1,380  | 1,2    | 1,200 | 1,5   | 0,050  | 0,150  | 1,000  | 0,168     | 0,275      |

## 10. CONCLUSIONI

Come riportato nell'incipit al report, questa relazione è stata redatta ricorrendo in parte a materiale disponibile in letteratura ed alle indagini svolte in passato. Ulteriori indagini sono rimandate alla fase esecutiva del progetto.

Sono stati controllati tutti i dati disponibili e sono state condotte elaborazioni stratigrafiche e modellistica 2D e 3D finalizzate ad avere un modello del sottosuolo.

Ovviamente molte considerazioni dovranno essere verificate con le indagini geognostiche previste in fase esecutiva ma, in sintesi, in base alle verifiche condotte per questo report, si riportano di seguito le principali evidenze:

1. I versanti pur presentando forme morfologiche influenzate da processi erosivi, risultano stabili. Le numerose verifiche di stabilità condotte, in funzione delle caratteristiche geotecniche e stratigrafiche ottenute dai sondaggi ed analisi eseguite nell'ambito del presente lavoro, non hanno evidenziato situazioni di instabilità nei lavori precedenti. Si riserva di effettuare ulteriori analisi di stabilità in fase esecutiva del progetto;
2. Sulle verticali su cui sono state edificate le turbine attuali, non risultano ad oggi processi morfogenetici importanti in atto. Si ricorda però che sono stati osservati piccoli dissesti (erosione accelerata) in prossimità delle WTG, quindi è fondamentale una corretta gestione delle acque;
3. La successione stratigrafica è stata omogeneizzata al fine da definire 5 stratigrafie tipo, a seconda dell'area del campo eolico in progetto. Le caratteristiche geotecniche di queste "stratigrafie tipo" sono riportate nel paragrafo di riferimento. Inoltre, i dati geotecnici sono stati integrati da altri dati, sempre ottenuti nelle stesse formazioni, in modo da definire un range cautelativo dei parametri geotecnici;
4. Si ritiene che in fase di progetto esecutivo sia necessaria una nuova verifica considerando le diverse ipotesi fondazionali;
5. Geofisica: Al fine di ottenere un valore utilizzabile per la progettazione preliminare, sono stati utilizzati quelli tipici per il Flish Numidico nell'area, che indicano una classe B
6. Acque sotterranee: l'esecuzione dei sondaggi ha evidenziato la presenza di falde a profondità variabili tra -7 e -10 m dal p.c. in 4 punti. Inoltre, in un carotaggio è stata intercettata una falda in pressione, risalita fino a p.c., probabilmente inclusa nel livello di argille marnose.