



Engineering & Construction



Via Napoli, 363/I - 70132 Bari - Italy
www.bfpgroup.net - info@bfpgroup.net
tel. (+39) 0805046361 - fax (+39) 0805619384
AZIENDA CON SISTEMA GESTIONE
UNI EN ISO 9001:2015
UNI EN ISO 14001:2015
OHSAS 18001:2007

GRE CODE

GRE.EEC.R.25.IT.W.15000.00.029.01

PAGE

1 di/of 55

TITLE: RELAZIONE SISMICA E GEOTECNICA

AVAILABLE LANGUAGE: IT

RELAZIONE SISMICA E GEOTECNICA

SALICE SALENTINO-VEGLIE

File: GRE.EEC.R.25.IT.W.15001.00.029.01.docx

REV.	DATE	DESCRIPTION	PREPARED	VERIFIED	APPROVED
01	08/03/2021	Aggiornamento a seguito di prove in sito	BFP Santopietro	BFP Biscotti	BFP Santopietro
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	FUNCTION	TYPE	ISSUER	COUNTRY	TEC	PLANT	SYSTEM	PROGRESSIVE	REVISION
GRE	EEC	R	25	IT	W	1500000000	00	29	01

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>	7
4. <u>INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO DELL'AREA IN ESAME</u>	7
4.1 Geologia del sito di progetto	7
4.2 Inquadramento geomorfologico	12
5. <u>INDAGINI EFFETTUATE IN SITO</u>	14
5.1 Indagine sismica di tipo MASW	15
5.2 Tomografia sismica a rifrazione (SRT)	20
6. <u>STIMA DEI PARAMETRI GEOTECNICI E CATEGORIA DI SUOLO</u>	26
7. <u>MODELLO GEOLOGICO TECNICO</u>	27
8. <u>INQUADRAMENTO SISMICO</u>	28
8.1 Sismicità storica	28
8.2 Strutture Tettoniche attive	31
8.3 Pericolosità sismica di base	34
8.4 Caratterizzazione sismica	37
9. <u>TRATTAZIONE TEORICA DEI CALCOLI GEOTECNICI</u>	45
9.1 NORMATIVA DI RIFERIMENTO	45
9.2 CAPACITÀ PORTANTE DI FONDAZIONI SUPERFICIALI	45
9.3 CAPACITÀ PORTANTE DI FONDAZIONI SU PALI	48
9.3.1 Q_{punta} : RESISTENZA ALLA PUNTA	49
9.3.2 Q_{later} : RESISTENZA LATERALE	50
9.4 CAPACITÀ PORTANTE DELLE PLATEE	52
9.5 CALCOLO DEI CEDIMENTI	53
10. <u>CONCLUSIONI</u>	55

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>	6
<i>Figura 3: – Schema geologico-strutturale (da Pieri et Al., 1997, mod</i>	9
<i>Figura 4: – Stralcio della Carta Geologica scala 1:100.000 Foglio n° 203 "Brindisi" con ubicazione dell’area di studio.</i>	10
<i>Figura 5: – Stralcio della litologia dell’area di studio (Carta Idrogeomorfologica: www.sit.puglia.it)</i>	12
<i>Figura 6: – Stralcio Carta Idrogeomorfologica (www.sit.puglia.it)</i>	13
<i>Figura 7: –Posizione indagini eseguite e aerogeneratori</i>	14
<i>Figura 8: – Ubicazione indagine (cerchio in blu) consultata da lavori pregressi</i>	26
<i>Figura 9: – Storia sismica del comune di San Pancrazio Salentino 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>	29
<i>Figura 10: – Intensità registrate in seguito al sisma del 1980 dell’Irpinia estratta dal Catalogo parametrico dei terremoti italiani 2015 (CPTI15) dell’INGV</i>	30
<i>Figura 11: – Lista degli eventi di $M \leq 3,3$ avvenuti dal 1985 ad oggi entro un raggio di 30 km dal Comune di San Pancrazio Salentino (LE) da INGV.</i>	31
<i>Figura 12: – Database Ithaca con individuazione delle strutture tettoniche attive in Italia (cerchio in rosso =area di studio)</i>	32
<i>Figura 13: – Database DISS 3.2.1 ubicazione delle sorgenti sismogenetiche più vicine all’area di studio (cerchio in rosso).</i>	33
<i>Figura 14: – Zonazione sismogenetica ZS9 con indicazione dell’area di studio (da www.ingv.it)</i>	34
<i>Figura 15: – Stralcio della classificazione sismica (2020)</i>	35
<i>Figura 16: – Mappa dell’accelerazione massima al suolo con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni riferita a suoli rigidi ($V_{s30} > 800m/s$ Cat. A).</i>	36

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., nei comuni di Salice Salentino e Veglie (LE).

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;
- caratterizzazione geotecnica preliminare e caratterizzazione sismica dei terreni.

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

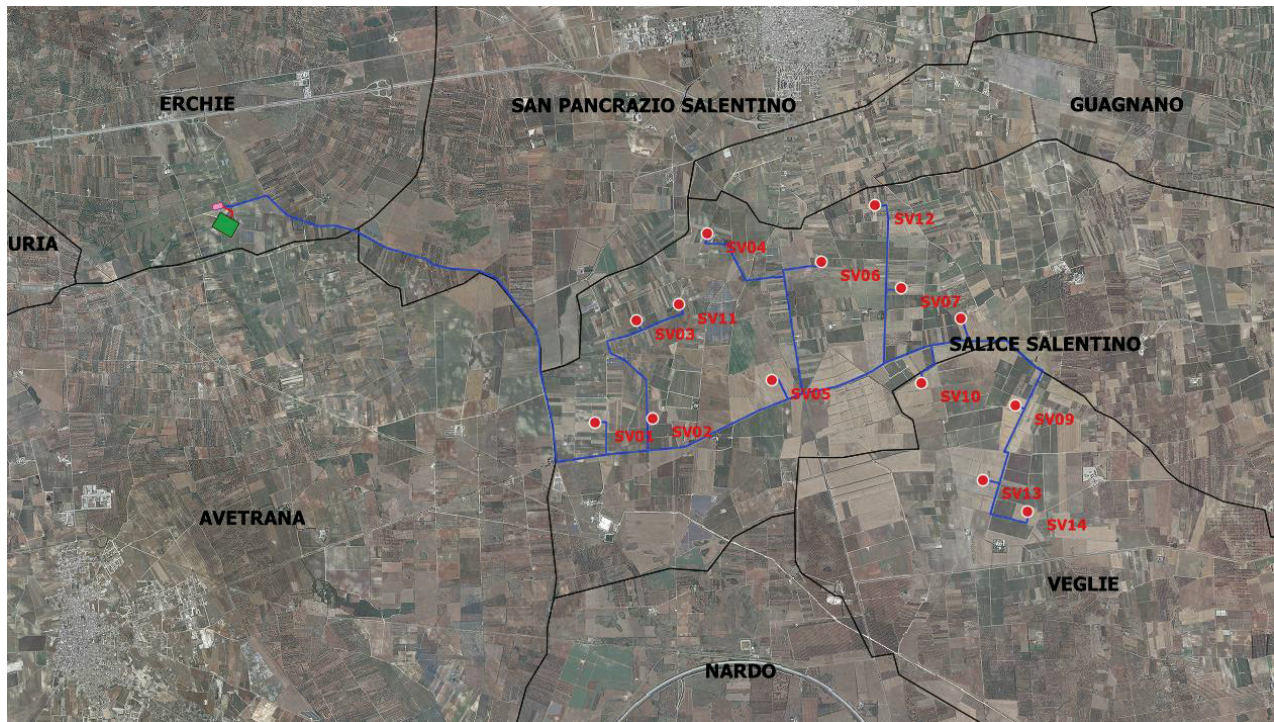


Figura 1: - Localizzazione dell'area di progetto.

Gli aerogeneratori di progetto sono tutti ubicati nei comuni di Salice Salentino e Veglie (LE) alle seguenti coordinate nel sistema di riferimento WGS84 - UTM zone 33N:

N. WTG	E (m)	N (m)
SV01	738253.00	4472996.00

SV02	738992.00	4473053.00
SV03	738773.00	4474305.00
SV04	739689.00	4475417.00
SV05	740516.00	4473539.00
SV06	741152.00	4475057.00
SV07	742181.00	4474721.00
SV08	742938.00	4474335.00
SV09	743642.00	4473212.00
SV10	742437.00	4473506.00
SV11	739319.00	4474507.00
SV12	741801.00	4475758.00
SV13	743222.00	4472263.00
SV14	743800.00	4471859.00

Ad integrazione dello studio geologico e geomorfologico, ai fini della ricostruzione stratigrafica e della caratterizzazione sismica dei terreni, oltre ai rilievi in campagna è stata eseguita una campagna di indagini in sito così articolata:

Indagini in sito

- n°4 Indagine sismica tipo MASW (Multichannel Analysis Surface Waves);
- n°4 Tomografia sismica a rifrazione (SRT – Seismic Refraction Tomography).

I risultati della campagna di indagine sono allegati alla relazione geologica:

- GRE.EEC.R.25.IT.W.15000.00.027.01 – Relazione geologica

2. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

L'area oggetto di studio ricade nel territorio comunale di Salice Salentino e Veglie (LE), su un'area con morfologia pianeggiante posta ad una quota topografica tra 66-74 m.s.l.m, degradando dolcemente verso sud. Il parco dista circa 2 km dall'abitato più vicino di San Pancrazio Salentino (LE).

Il sito è tagliato da due strade provinciali principali e da una fitta rete di strade interpoderali. La prima N-S è SP 109 che collega l'abitato di San Pancrazio Salentino fino alla costa ionica a sud (Torre Lapillo), e poi quella in direzione O-E la SP 107 che unisce Avetrana a Ovest con l'abitato di Salice Salentino a Est.

Non ricade in aree perimetrate dal PAI Puglia. Gli aerogeneratori di progetto, attraverso l'analisi delle ultime perimetrazioni del P.A.I. aggiornate in data 19.11.2019 su cartografia ufficiale (sul sito AdB Puglia), non ricadono in nessuna delle zone classificate a pericolosità geomorfologica ed idraulica. Solo due tratti di cavidotto attraversano aree a media e bassa pericolosità idraulica, uno in prossimità della sottostazione elettrica mentre l'altro tratto lambisce la strada che collega gli aerogeneratori SV08 alla SV09, entrambi i tratti menzionati ricadono su viabilità già esistente, quindi tali interferenze che non aumenteranno il livello di pericolosità idraulica della zona, compatibilmente con le prescrizioni del PAI.

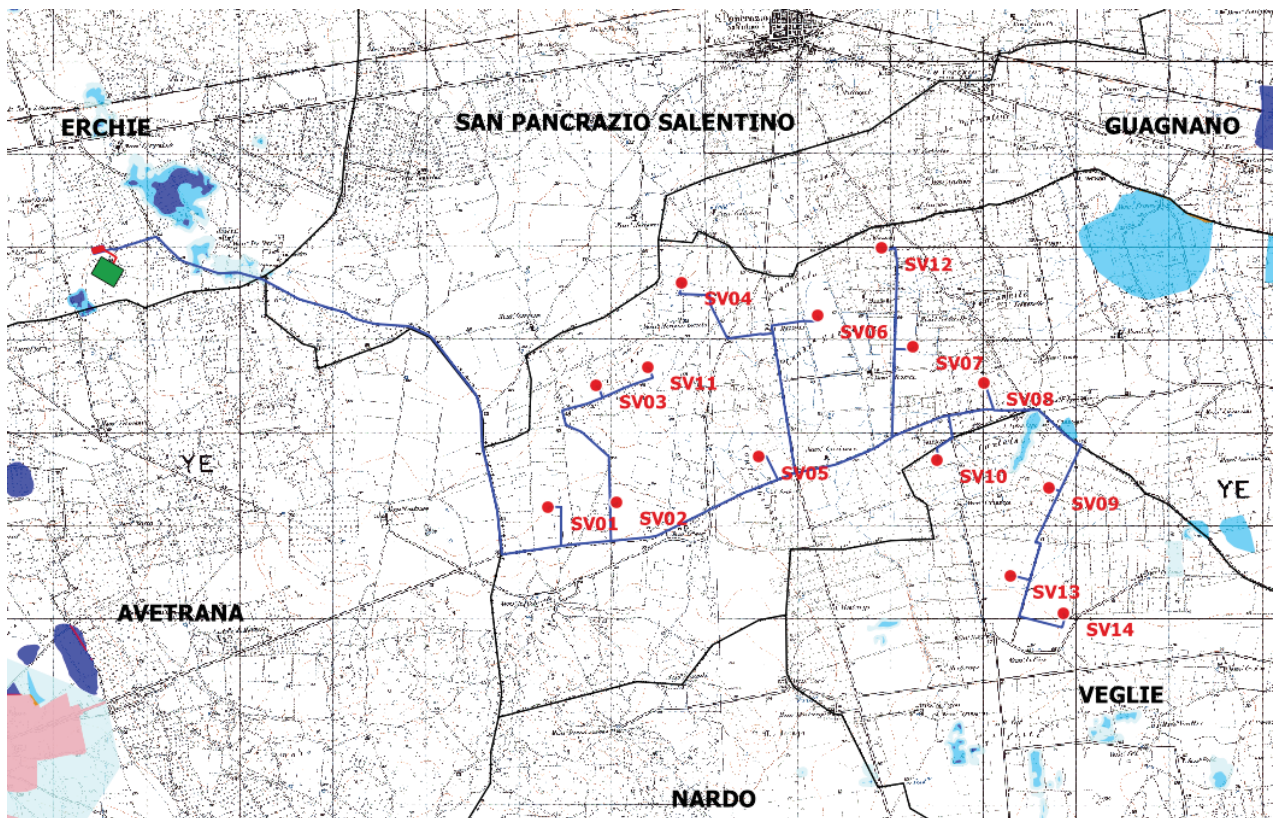








Figura 2: - Stralcio aree perimetrate PAI Puglia (http://webgis.adb.puglia.it/gis/map_default.phtml)

Peric. Geomorf. media e moderata (PG1) elevata (PG3)**Peric. Idraulica** bassa (BP) alta (AP)**Rischio** R1 R3 elevata (PG2) media (MP) R2 R4

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 Salice Salentino (LE) e Veglie (LE), su un'area con morfologia pianeggiante, posta ad una quota topografica tra 66-74 m.s.l.m degradando dolcemente verso sud. E' allocata all'interno del Foglio n. 203 "Brindisi" della Carta Geologica d'Italia in scala 1:100.000.

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.

La Puglia si presenta costituita da rocce sedimentarie di età mesozoica e cenozoica.

La base della successione stratigrafica che caratterizza questa regione, infatti, è costituita da rocce appartenenti al Mesozoico, periodo durante il quale il mare ricopriva l'intera area dell'Italia meridionale.

La geografia dell'epoca vedeva la presenza di un vasto bacino soggetto ad un

abbassamento lento del fondo che si estendeva dalla Puglia fino all'Appennino Settentrionale con condizioni di forte evaporazione delle acque. Ciò provocava una sedimentazione di origine chimica, detta appunto "evaporitica", con formazione di dolomie e di gessi, di cui si conosce in affioramento solo il piccolo lembo diapirico della

Punta delle Pietre Nere (Gargano), appartenenti al Trias Superiore. Lateralmente a questo bacino evaporitico si avevano, nella vicina area appenninica meridionale, condizioni di mare aperto con deposizioni di calcari ricchi di noduli di selce, che si ritrovano oggi in affioramento in Lucania e Calabria.

Nel Giurassico, tutta la parte centro occidentale del Gargano era occupata da un grandioso complesso di scogliere. Oltre il bordo della barriera corallina, nel resto della Puglia, si sviluppava un mare poco profondo, che si estendeva fino al Salento, con sedimentazione di calcari e dolomie. Le prime emersioni, di piccole aree, si hanno nel Cretacico, a chiusura della successione mesozoica alla quale è ascrivibile la maggior parte degli affioramenti del Gargano, delle Murge e delle Serre Salentine. Con il Terziario, ha invece inizio l'era delle grandi emersioni. L'attuale Murgia rimaneva così emersa per tutto il Cenozoico, mentre i blocchi carbonatici degli attuali promontori del Gargano e della Penisola Salentina subivano, in misura differente, ripetute e sempre più vaste subsidenze tettoniche, accompagnate da ingressioni marine.

Nel Paleocene-Oligocene si assisteva alla costituzione di una formazione calcarea (detritico organogena) poco estesa che oggi affiora lungo i bordi orientali del Gargano e del Salento.

Proprio nel Salento, in età Miocenica, andarono a depositarsi spessori di arenarie formate da detriti calcarei che provenivano dallo smantellamento dei depositi mesozoici affioranti, costituendo, così, la formazione ben nota nel Salento con la denominazione di "Pietra Leccese".

Nell'"Infrapliocene" si originarono, infine, le condizioni che hanno portato alla più vasta ingressione marina che l'intera Puglia abbia mai subito e che portò alla conseguente acquisizione dell'assetto geografico-strutturale che oggi la contraddistingue. La storia geologica e le vicende tettoniche e paleogeografiche hanno fatto sì che la Puglia si diversificasse nel suo complesso in varie unità con caratteri geologici, morfologicostrutturali, idrografici ed idrogeologici alquanto diversi fra loro, che geograficamente si identificano nelle seguenti zone:

- Promontorio del Gargano;
- Appennino Dauno;
- Tavoliere di Foggia;
- Murge;
- Conca di Taranto;
- Penisola Salentina.

Questa formazione costituisce il basamento nelle aree del leccese e del brindisino e comprende depositi carbonatici di piattaforma, riferibili alle Dolomie di Galatina e ai Calcari

di Melissano del Cenomaniano-Senoniano.

Tra le Murge Tarantine e le Serre Salentine, si estendono, infine, numerosi lembi di formazioni plioceniche e più spesso pleistoceniche, che costituiscono il residuo di un esteso mantello smembrato di rocce calcareo-arenacee ed argillo-sabbiose, depositatesi in seguito alla nota trasgressione marina, iniziatasi in Puglia al principio del Pliocene. Tali formazioni, sono denominate Calcareniti del Salento. Le Calcareniti del Salento passano verso l'alto a marne argillose grigio-azzurre, a marne argilloso-sabbiose, a sabbie più o meno argillose e ad argille di colore giallastro, talora debolmente cementate e spesso intercalate da banchi arenacei e calcarenitici ben cementati. Questi litotipi costituiscono la Formazione di Gallipoli del Calabriano.

I tre domini del sistema orogenetico sono:

- La Catena rappresentata dell'Appennino Campano-Lucano
- L'Avanfossa rappresentata dall'Avanfossa Adriatica, che corrisponde alla Fossa Bradanica o premurgiana
- L'Avampaese rappresentato dalla regione Apulo-Garganica e nello specifico dalla piattaforma calcarea murgiana e garganella.

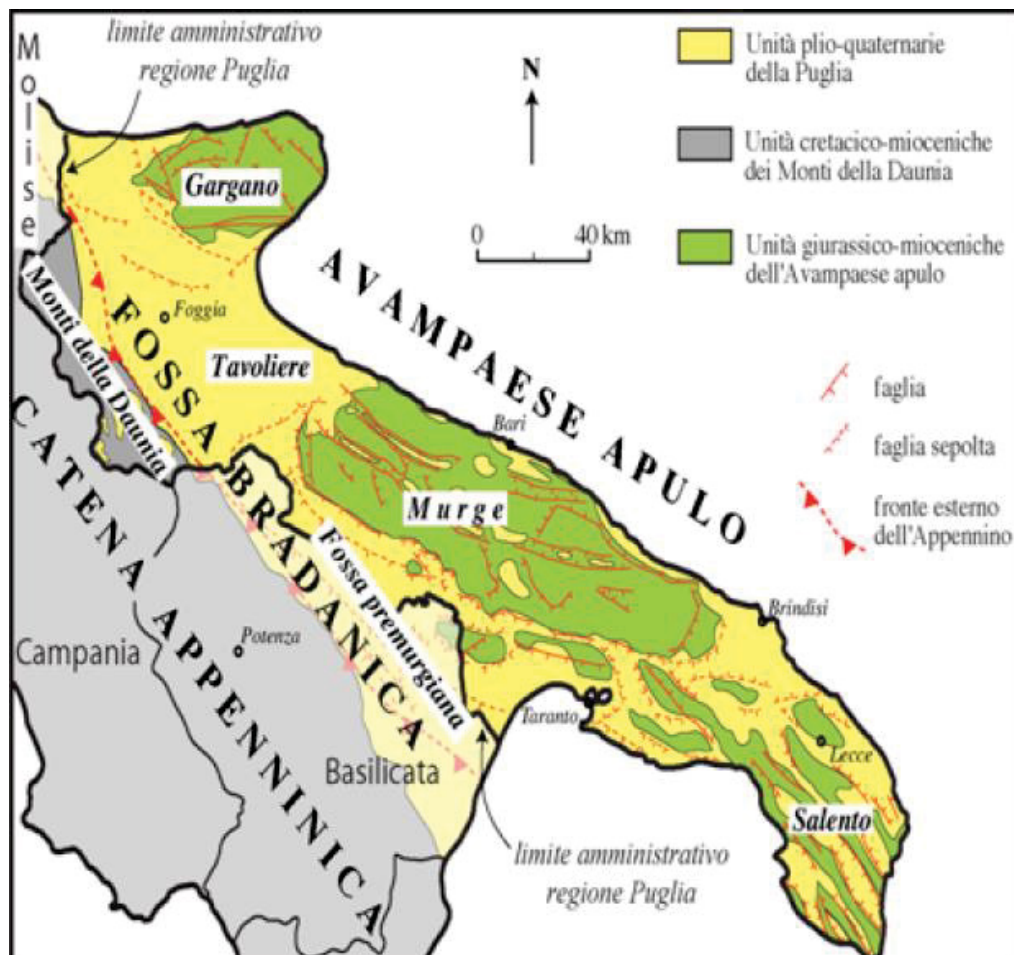


Figura 3: – Schema geologico-strutturale (da Pieri et Al., 1997, mod)

Procedendo dalla linea di costa adriatica verso l'interno, si riconoscono: il settore di avampaese, il settore di avanfossa e il settore di catena.

L'unità carbonatica apulo-garganica mesozoica affiorante in corrispondenza dei rilievi del Gargano, delle Murge e del Salento, costituisce il settore di avampaese Sud appenninico o adriatico. Il settore di avanfossa ospita il Tavoliere delle Puglie e la Fossa Bradanica e fa parte dell'avanfossa Sud appenninica che si estende dal Golfo di Taranto al litorale di Termoli. Questo settore di avanfossa è costituito da una vasta depressione interposta tra la dorsale appenninica ed i rilievi dell'avampaese ove affiorano rocce clastiche Plio-Pleistoceniche senza soluzione di continuità e di potenza apprezzabile.

In particolare, la porzione di territorio investigata è caratterizzata da estese coperture di terreno vegetale e depositi continentali recenti i quali impediscono in più luoghi di compiere delle osservazioni dirette sui depositi sottostanti.

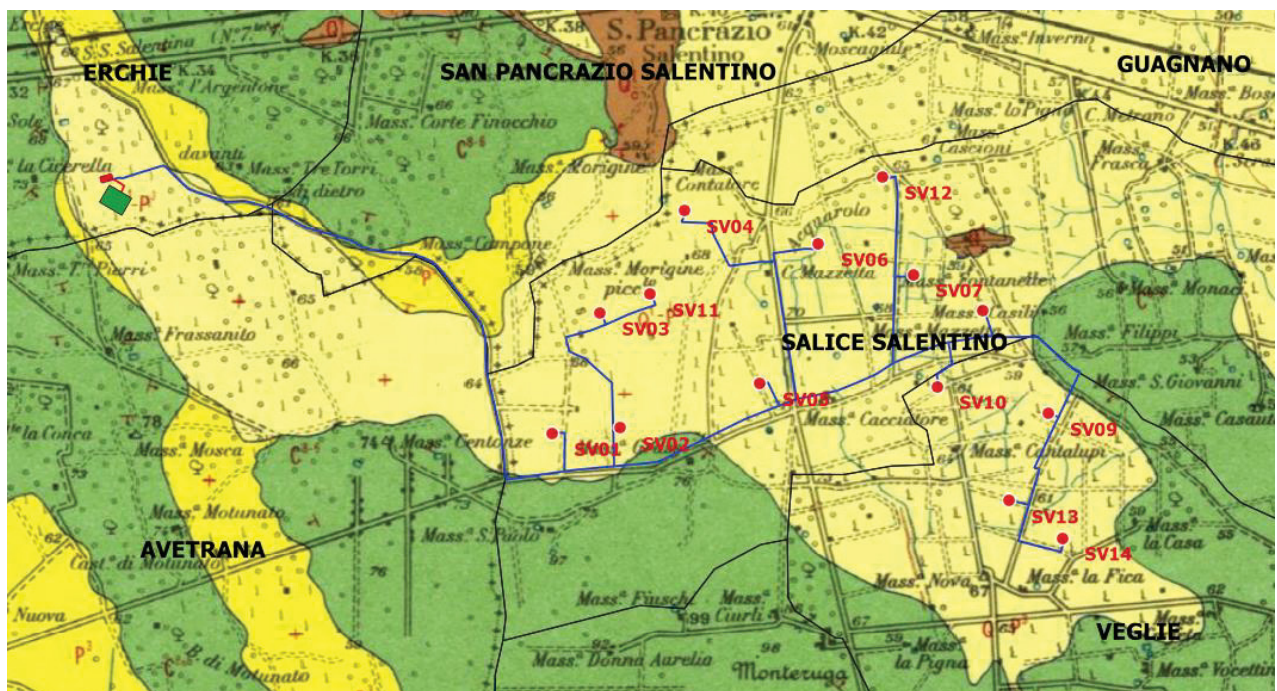
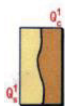
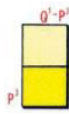


Figura 4: - Stralcio della Carta Geologica scala 1:100.000 Foglio n° 203 "Brindisi" con ubicazione dell'area di studio.



Sabbie argillose giallastre, talora debolmente cementate, in strati di qualche cm. di spessore, che passano inferiormente a sabbie argillose e argille grigio-azzurrestre (Q₁); spesso l'unità ha intercalati banchi arenacei e calcarenitici ben cementati (Q₁). Nelle sabbie più elevate si notano talora *Cassidulina laevigata* D'ORB. *carinata* SILV., *Bulimina marginata* D'ORB., *Ammonia beccarii* (LIN.), *Ammonia perlucida* (HER. ALL. EARL.) (PLEISTOCENE). Nelle sabbie argillose ed argille sottostanti, accanto a *Arctica islandica* (LIN.), *Chlamys septemradiata* MULL. ed altri molluschi, sono frequenti: *Hyalinea balthica* (SCHR.), *Cassidulina laevigata* D'ORB. *carinata* SILV., *Bulimina marginata* D'ORB., *Bolinita catanensis* SEG. (CALABRIANO). FORMAZIONE DI GALLIPOLI.



(Q¹-P³) Sabbie calcaree poco cementate, con intercalati banchi di panchina; sabbie argillose grigio-azzurre. Verso l'alto associazione calabriana: *Hyalinea bathica* (SCHR.), *Cassidulina laevigata* D'ORB. var. *carinata* SILV., *Bulimina marginata* D'ORB., *Ammonia beccarii* (LIN.) (CALABRIANO-PLIOCENE SUP.?) In trasgressione sulle formazioni più antiche.

(P³) Calcareniti, calcari tipo panchina, calcareniti argillose giallastre. Macrofauna a Coralli, Cirripedi, Molluschi, Echinidi, Crostacei tra cui *Cancer sismondai* MEY. var. *antiatina* MAX. Microfauna ad Ostracodi e foraminiferi: *Bulimina marginata* D'ORB., *Cassidulina laevigata* D'ORB. var. *carinata* SILV., *Discorbis orbicularis* (TERQ.), *Cibicides ungerianus* (D'ORB.), *C. lobatulus* (WALK. e JAC.), *Globigerinoides ruber* (D'ORB.), *G. saeculifer* (BRADY), *Orbulina universa* D'ORB., *Hastigerina aequilateralis* (BRADY) (PLIOCENE SUP.-MEDIO?). In trasgressione sulle formazioni più antiche.



Calcari dolomitici e dolomie grigio-nocciola, a frattura irregolare, calcari grigio-chiaro. Microfossili non molto frequenti: *Thaumatoporella* sp., *Praeglobotruncana stephani stephani* (GAND.), *P. stephani turbinata* (REICH.), *Rotalipora appenninica appenninica* (RENZ), *R. cf. reicheli* (MORN.), *Nummolucina* sp. (CENOMANIANO SUP. e forse TURONIANO). DOLOMIE DI GALATINA con passaggio graduale al CALCARE DI ALTAMURA (verso Nord e verso Ovest).

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

- **Calcari di Altamura - C8-6 (Cretaceo);**
- **Calcareniti del Salento - Calcareniti, calcari - P3 (Pliocene Sup. - Medio)**
- **Calcareniti del Salento - Sabbie Pleistoceniche - Q1-P3 (Pliocene Sup. - Pleist. Medio);**
- **Formazione di Gallipoli - Livelli arenacei e calcarenitici - Q1C (Pleistocene);**

- *Calcari di Altamura*: Questa formazione, non interessa direttamente gli aerogeneratori ma pochi tratti del cavidotto di vettoriamento, costituisce il basamento della penisola salentina e si ritrovano in profondità sotto i depositi plio-pleistocenici. I calcari di Altamura sono interessati da una fratturazione subverticale, che rende la roccia fratturata a blocchi geometrici.

La formazione è caratterizzata da calcari (di natura biochimica) e calcari dolomitici di colore avana o nocciola, compatti e tenaci, in strati e banchi, ricchi di fossili, ai quali si alternano livelli dolomitici di colore grigio-nocciola. Questa formazione costituisce il substrato rigido su cui trasgrediscono i termini più recenti.

- *Calcareniti del Salento (Calcareniti, calcari)*: questi depositi non rientrano direttamente in corrispondenza delle torri, ma intersecano, in alcuni punti, il cavidotto nel tratto di strada che dalla torre SV01 va alla sottostazione. Spesso questa formazione è accostata, per discordanza, ai depositi cretacei più antichi.

Tale affioramento è costituito da calcareniti argillose più o meno compatte, passano a calcari più puri, molto porosi, di colore grigio-chiaro. L'ambiente deposizionale è di mare poco profondo, tra il neritico ed il deposizionale.

- *Calcareniti del Salento (Sabbie Plio-Pleistoceniche)*: La maggior parte dell'area di studio ricade all'interno delle Calcareniti del Salento. Esso sono costituite da Sabbie calcaree poco cementate, con intercalati banchi di panchina, sabbie argillose grigio-azzurre. Si identificano come calcareniti e calcari bioclastici, a grana da finissima a media, di colore dal

grigio chiaro al rossastro, il più delle volte porosi.

Costituiscono il termine di chiusura del ciclo sedimentario post-calabriano.

Nei depositi sabbiosi affioranti nel salentino, si ha una costituzione litologica caratterizzata da livelli arenacei, limosi e/o argillosi, calcarenitici causati dalla frammentazione dei bacini sedimentari.

- *Formazioni di Gallipoli (Livelli arenacei e calcareniti)*: Intercalazioni di banchi arenacei e calcarenitici ben cementati.

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%20tecniche/Carta%20Idrogeomorfologica).

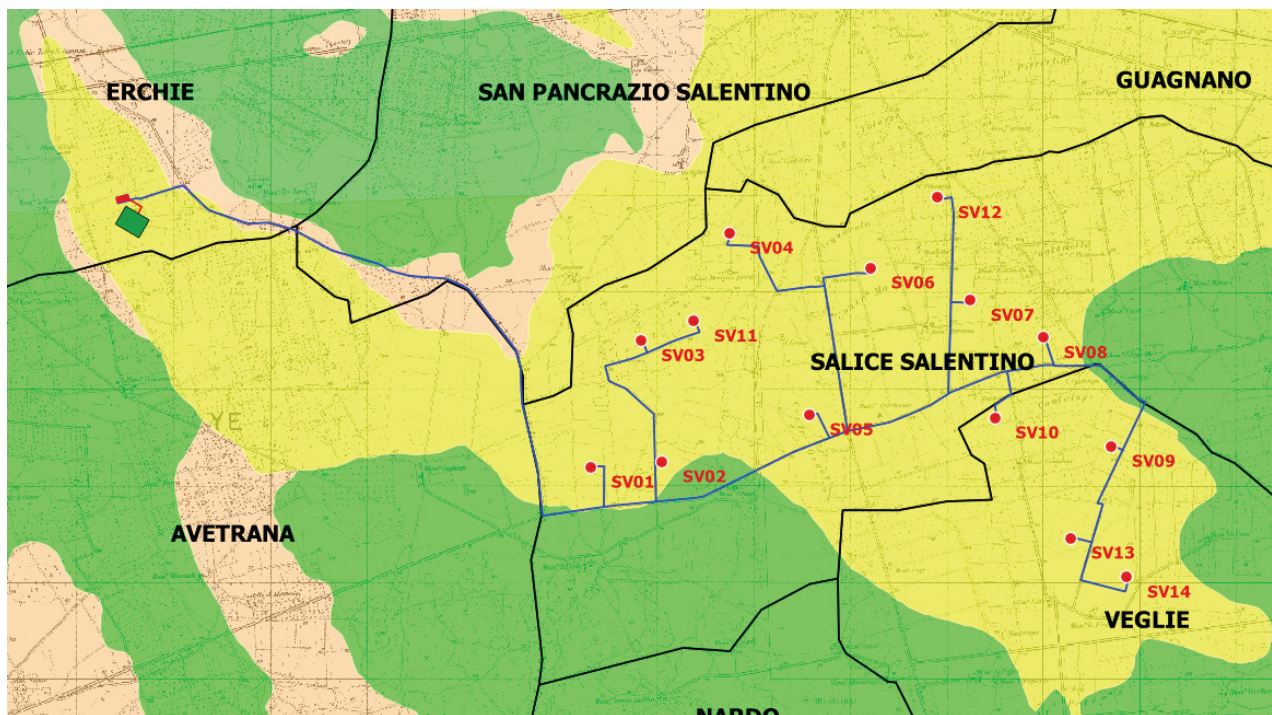


Figura 5: – Stralcio della litologia dell'area di studio (Carta Idrogeomorfologica: www.sit.puglia.it)

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

L'area di studio, ricadente nel territorio comunale di Salice Salentino e Veglie (LE), è ubicato su una morfologia pianeggiante, ad una quota topografica tra 66 e 74 m s.l.m. degradando dolcemente verso sud.

Tutti gli aerogeneratori ricadono sui depositi, aventi una litologia prevalentemente siltoso-sabbiosa e/o arenitica, appartenenti alle Sabbie calcaree (*Plio-Pleistoceniche*) poggianti sul substrato rigido dei calcari e calcari dolomitici del Cretaceo.

Inoltre, dalla Carta Idrogeomorfologica della regione puglia, in prossimità dell'area di studio, è possibile rilevare diverse caratteristiche geomorfologiche.

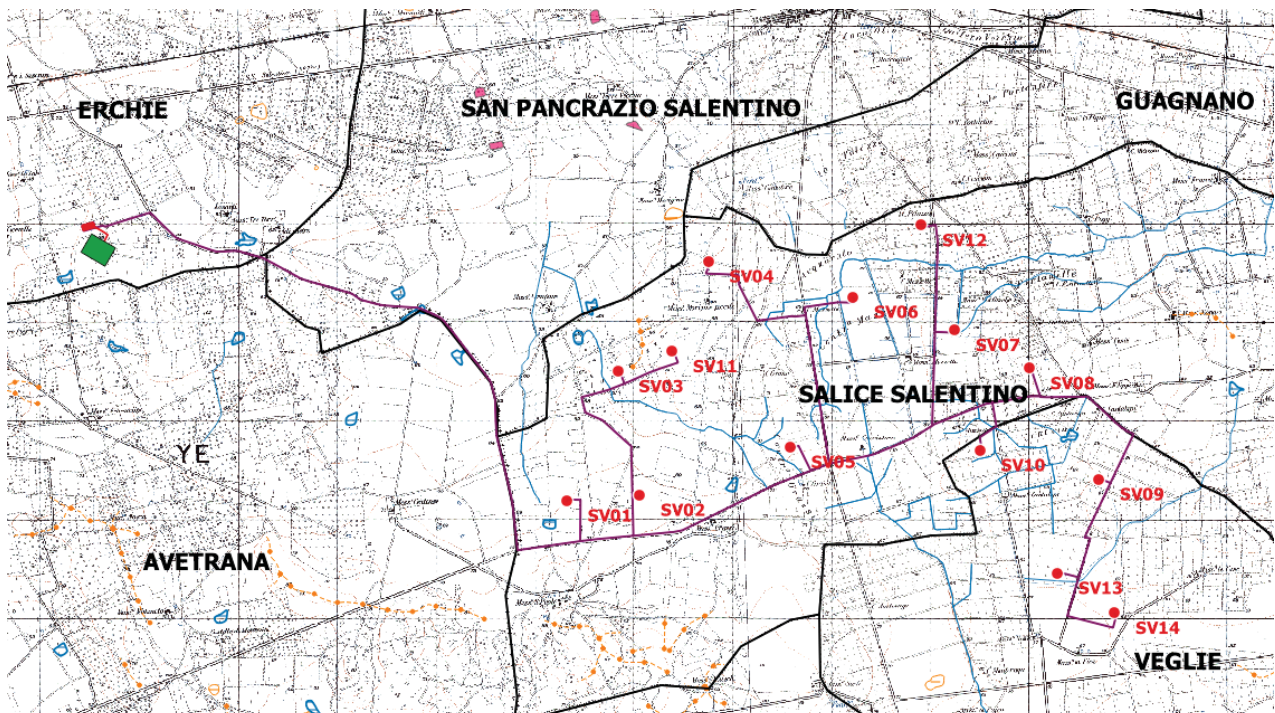


Figura 6: – Stralcio Carta Idrogeomorfologica (www.sit.puglia.it)

- 511_creste
- 511_reticolo
- - - Asse di displuvio
- 511_conche_1ha
- 511_doline
- 511_doline_pnt
- Cava abbandonata

Si possono rilevare nell'area del parco, ma non in corrispondenza degli aerogeneratori, "FORME CARSIICHE" come le doline (poligono e punti in arancio) distano circa 500 m dalla SV04, e circa 1400 dalle SV13. Le "FORME ED ELEMENTI LEGATI ALL'IDROGRAFIA SUPERFICIALE" - reticolo (linee azzurre) è caratterizzato da poche linee dritte e discontinue, e le conche (Recapito finale di bacino endoreico), la cui presenza è diffusa nella zona salentina, si trova a circa 200 di distanza dalla SV01, abbiamo le "FORME DI VERSANTE" - asse di displuvio, inteso come una linea di crinale (linee in arancio). Inoltre, sono presenti, a sud e a est dello stralcio, anche "FORME ED ELEMENTI DI ORIGINE ANTROPICA" come "Cava abbandonata" (poligono magenta) a distanza dagli aerogeneratori.

5. INDAGINI EFFETTUATE IN SITO

La campagna di indagini è stata così articolata:

Campagna di indagini in sito

- n° 4 Indagine sismica tipo MASW (Multichannel Analysis Surface Waves);
- n° 4 Tomografia sismica a rifrazione (SRT - Seismic Refraction Tomography).



Figura 7: -Posizione indagini eseguite e aerogeneratori

5.1 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 V_s , basandosi sulla misura delle onde superficiali fatta in corrispondenza di diversi sensori (accelerometri o geofoni) posti sulla superficie del suolo.

L'indagine Masw per l'analisi delle onde superficiali è stata eseguita utilizzando la strumentazione classica della prospezione sismica a rifrazione disponendo sul terreno 24 geofoni secondo un array lineare con spaziatura pari a 2,5 m (MASW 2 – MASW 3- MASW 4) e di 3,0 m (MASW 1), compatibilmente con le condizioni logistiche e gli spazi disponibili del sito.

RISULTATI

La V_{Seq} espressa è stata calcolata dal piano campagna e non dal piano di posa delle fondazioni.

Le categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato sono definite in Tab. 3.2.II. del D.M. 17.01.2018.

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>

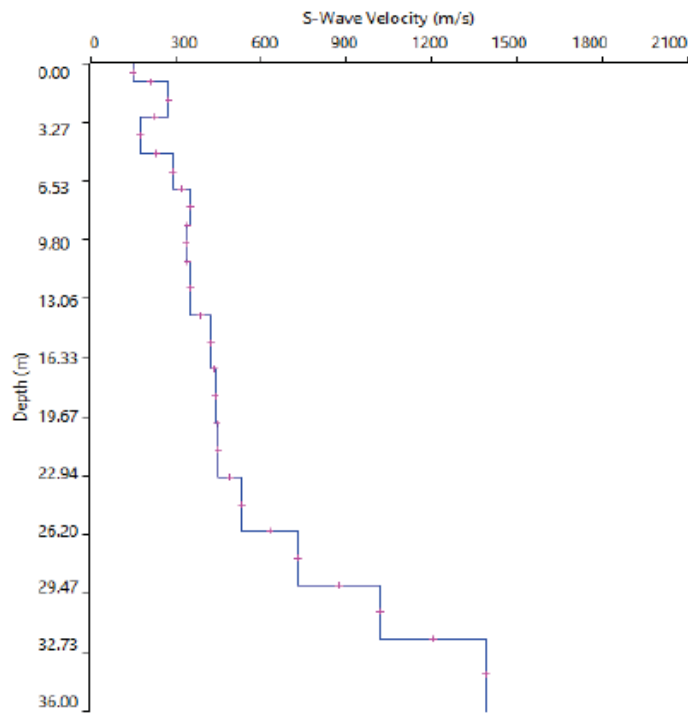
Linea	$V_{s eq}$	Categoria di Sottosuolo (D.M. 17.01.2018)
MASW 1	351	E
MASW 2	395	B
MASW 3	421	B
MASW 4	493	B

MASW 1

Dall'indagine di tipo MASW 1 è risultato che il sottosuolo dell'area in esame è associabile alla categoria di sottosuolo E, poichè V_{Seq} pari a 351 m/s.

Depth		Thickness	Vs	Vp	Poisson	Density
from	to	(m)	(m/s)	(m/s)		(g/cm ³)
0	1	1	150	300	0,333	1,8
1	3	2	272	544	0,333	1,8
3	5	2	178	357	0,333	1,8
5	7	2	291	582	0,333	1,8
7	9	2	351	701	0,333	1,8
9	11	2	334	668	0,333	1,8
11	14	3	353	705	0,333	1,8
14	17	3	423	845	0,333	1,8
17	20	3	442	884	0,333	1,8
20	23	3	452	904	0,333	1,8
23	26	3	535	1070	0,333	1,8
26	29	3	727	1452	0,333	1,8
29	32	3	1020	2039	0,333	1,8
32	36	4	1392	2782	0,333	1,8

Tabella 1 – Modello sismico monodimensionale



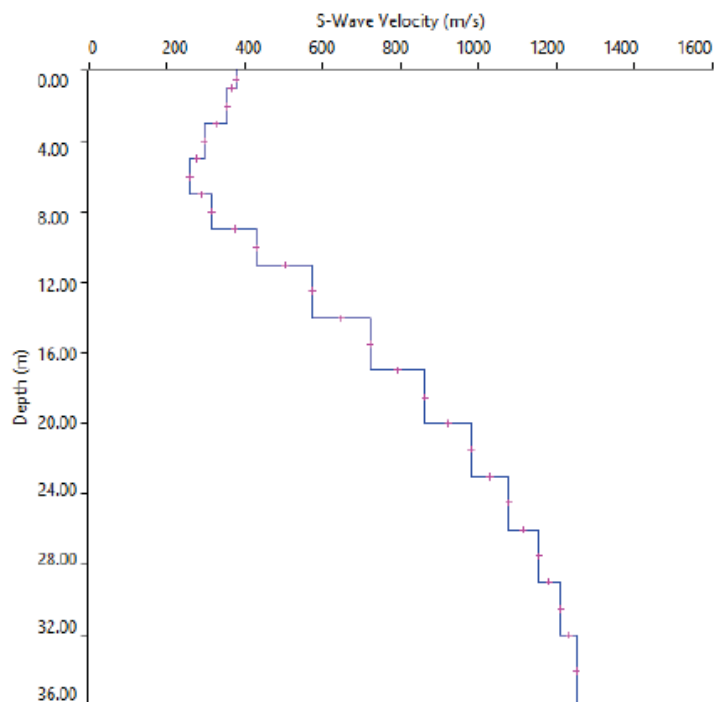
Profilo delle onde di taglio dalla superficie

MASW 2

Dall'indagine di tipo MASW 2 è risultato che il sottosuolo dell'area in esame è associabile alla categoria di sottosuolo B, poichè V_{Seq} pari a 395 m/s.

Depth		Thickness	Vs	Vp	Poisson	Density
from	to	(m)	(m/s)	(m/s)		(g/cm ³)
0	1	1	379	757	0,333	1,8
1	3	2	357	713	0,333	1,8
3	5	2	298	596	0,333	1,8
5	7	2	261	522	0,333	1,8
7	9	2	314	628	0,333	1,8
9	11	2	431	861	0,333	1,8
11	14	3	573	1144	0,333	1,8
14	17	3	722	1443	0,333	1,8
17	20	3	862	1722	0,333	1,8
20	23	3	981	1961	0,333	1,8
23	26	3	1079	2156	0,333	1,8
26	29	3	1154	2307	0,333	1,8
29	32	3	1212	2421	0,333	1,8
32	36	4	1253	2505	0,333	1,8

Tabella 1 – Modello sismico monodimensionale



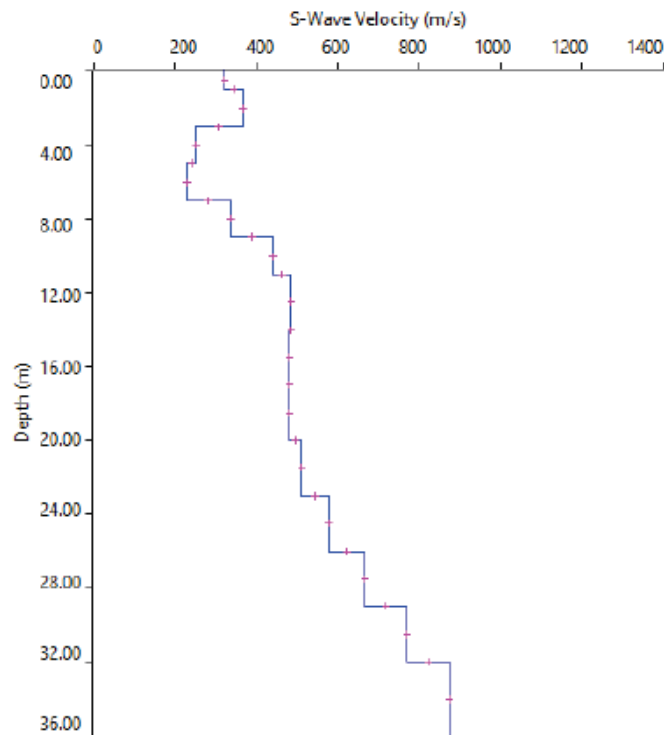
Profilo delle onde di taglio dalla superficie

MASW 3

Dall'indagine di tipo MASW 3 è risultato che il sottosuolo dell'area in esame è associabile alla categoria di sottosuolo B, poichè V_{Seq} pari a 421 m/s.

Depth		Thickness	Vs	Vp	Poisson	Density
from	to	(m)	(m/s)	(m/s)		(g/cm ³)
0	1	1	324	647	0,333	1,8
1	3	2	366	732	0,333	1,8
3	5	2	252	503	0,333	1,8
5	7	2	229	458	0,333	1,8
7	9	2	336	672	0,333	1,8
9	11	2	440	879	0,333	1,8
11	14	3	487	974	0,333	1,8
14	17	3	481	962	0,333	1,8
17	20	3	480	959	0,333	1,8
20	23	3	511	1022	0,333	1,8
23	26	3	577	1153	0,333	1,8
26	29	3	667	1333	0,333	1,8
29	32	3	769	1538	0,333	1,8
32	36	4	875	1749	0,333	1,8

Tabella 1 – Modello sismico monodimensionale



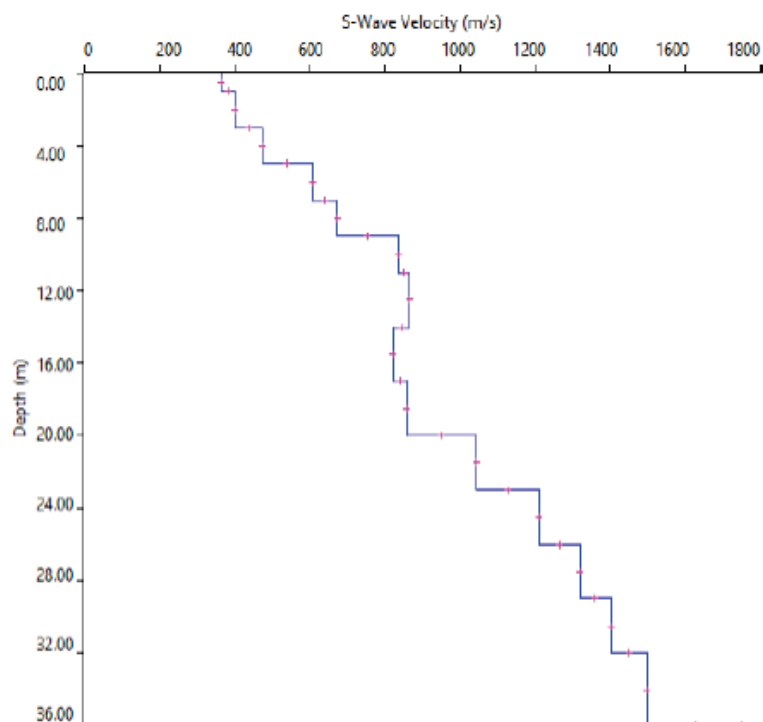
Profilo delle onde di taglio dalla superficie

MASW 4

Dall'indagine di tipo MASW 4 è risultato che il sottosuolo dell'area in esame è associabile alla categoria di sottosuolo B, poichè V_{Seq} pari a 493 m/s.

Depth		Thickness	Vs	Vp	Poisson	Density
from	to	(m)	(m/s)	(m/s)		(g/cm ³)
0	1	1	362	723	0,333	1,8
1	3	2	401	801	0,333	1,8
3	5	2	471	941	0,333	1,8
5	7	2	608	1215	0,333	1,8
7	9	2	672	1343	0,333	1,8
9	11	2	837	1673	0,333	1,8
11	14	3	866	1731	0,333	1,8
14	17	3	822	1643	0,333	1,8
17	20	3	857	1713	0,333	1,8
20	23	3	1042	2082	0,333	1,8
23	26	3	1211	2420	0,333	1,8
26	29	3	1321	2640	0,333	1,8
29	32	3	1402	2802	0,333	1,8
32	36	4	1498	2993	0,333	1,8

Tabella 1 – Modello sismico monodimensionale



Profilo delle onde di taglio dalla superficie

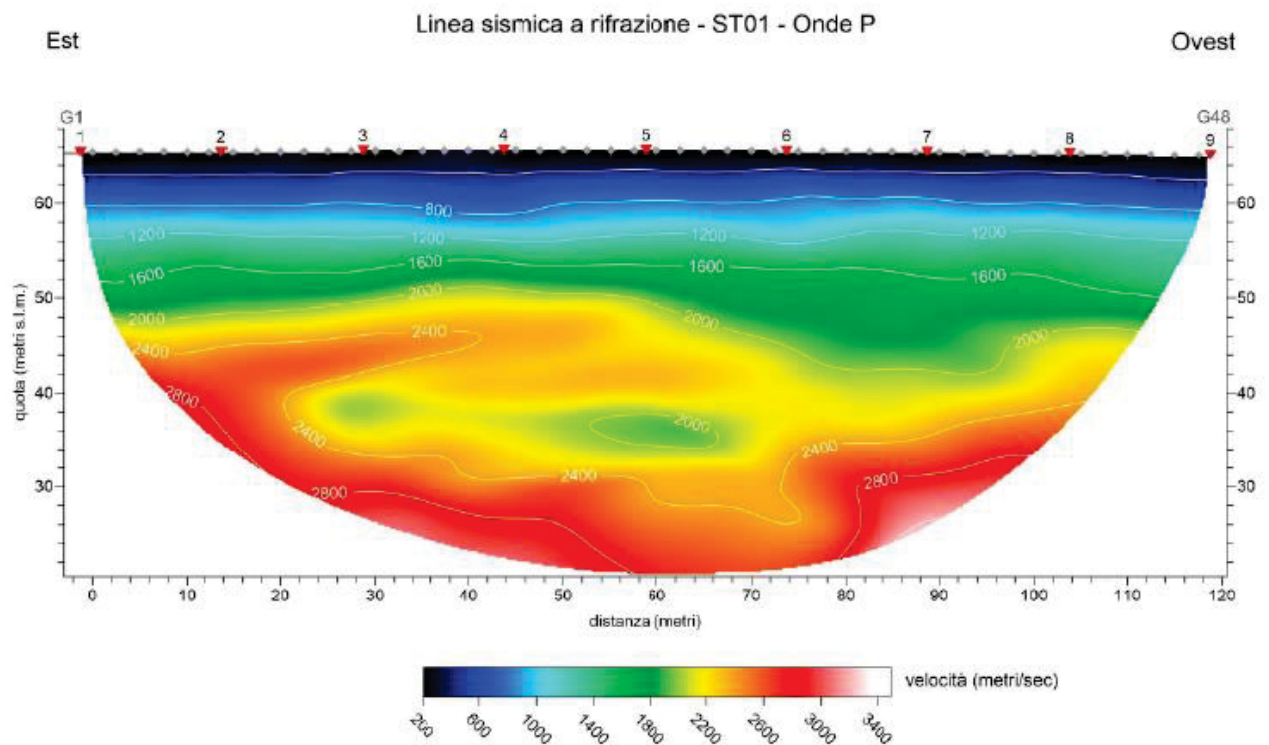
5.2 TOMOGRAFIA SISMICA A RIFRAZIONE (SRT)

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 V_p o V_s di ogni cella sintetica sotto alla linea trattata.

RISULTATI

SRT1 - Onde P

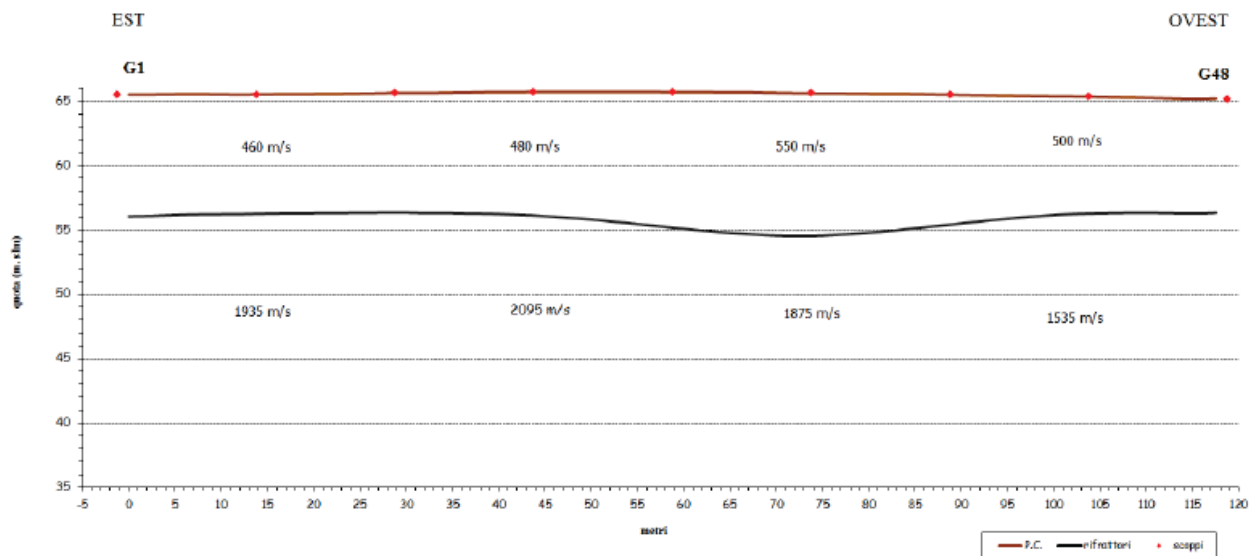


L'indagine sismica SRT1 eseguita con onde P a 48 canali STR 1, ha permesso di ricostruire

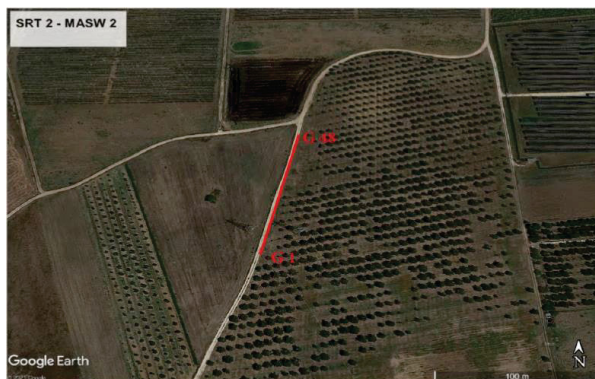
una sezione sismo stratigrafica a 2 strati, raggiungendo una profondità massima di indagine di circa 40 m.

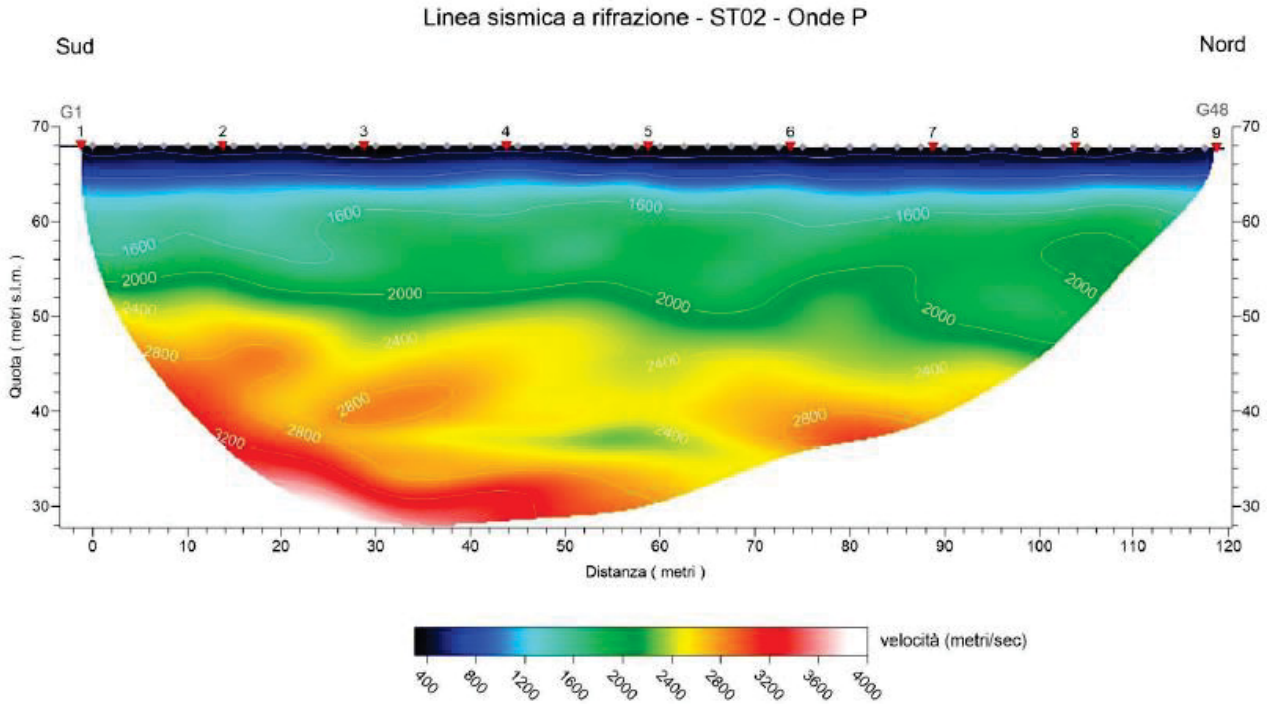
Nel dettaglio i dati indicano la presenza di una superficie rifrangente a una profondità variabile tra 9,50 m e 10,5 m con andamento topografico leggermente arcuato verso il basso nella zona centrale.

Le velocità delle onde P nel primo sismo strato sono di 460-550 m/s, mentre nel sottostante sono da 1500 m/s a oltre 2000 m/s.



SRT2 – Onde P

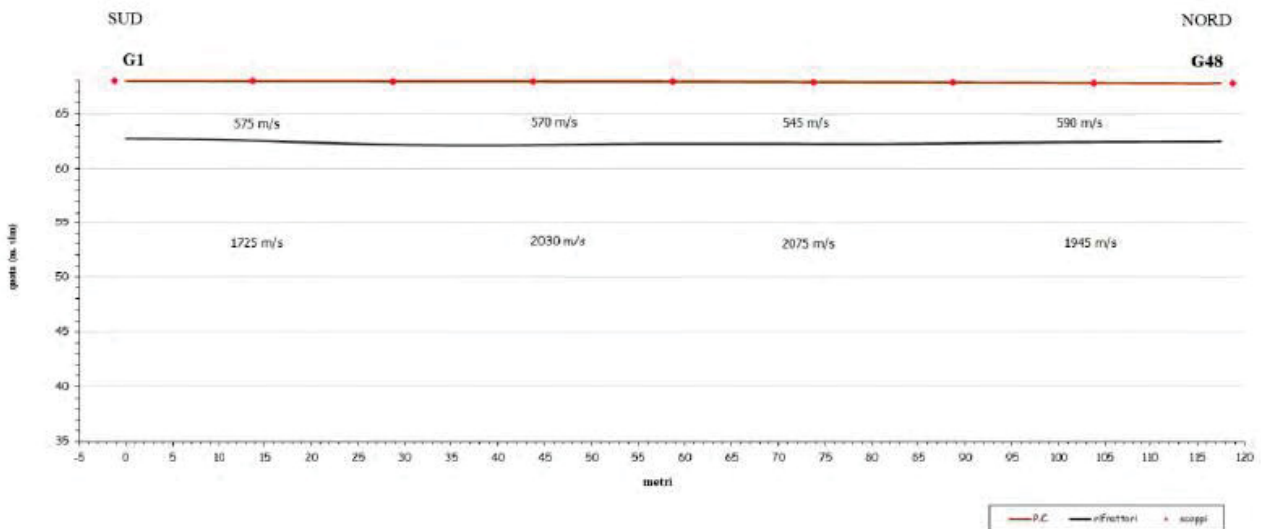




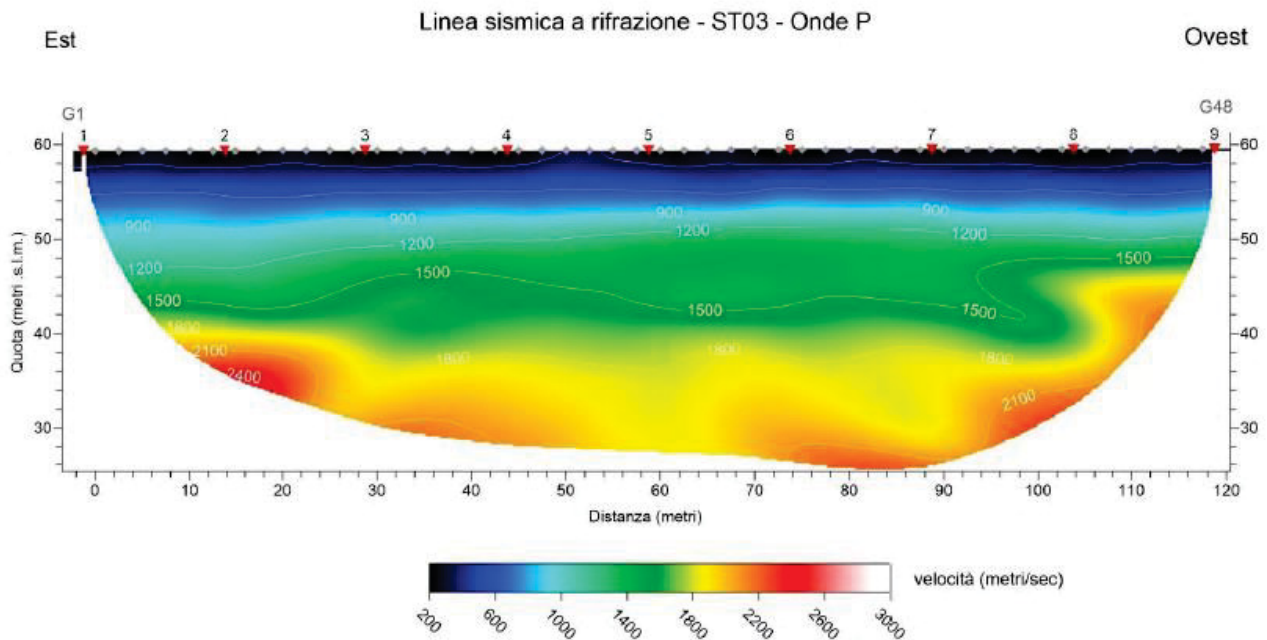
L'indagine eseguita con onde P a 48 canali SRT 2, ha permesso di ricostruire una sezione sismo stratigrafica a 2 strati, raggiungendo una profondità massima di indagine di circa 40 m.

Nel dettaglio i dati indicano la presenza di una superficie rifrangente a una profondità variabile tra 5,0 m e 6,0 m con andamento topografico pressoché parallelo al piano campagna.

Il rifrattore mette a contatto la copertura, che presenta velocità delle onde sismiche di compressione comprese tra 570 - 590 m/s, con un orizzonte costituito dal substrato che presenta velocità delle onde P superiori ai 1700 m/s.



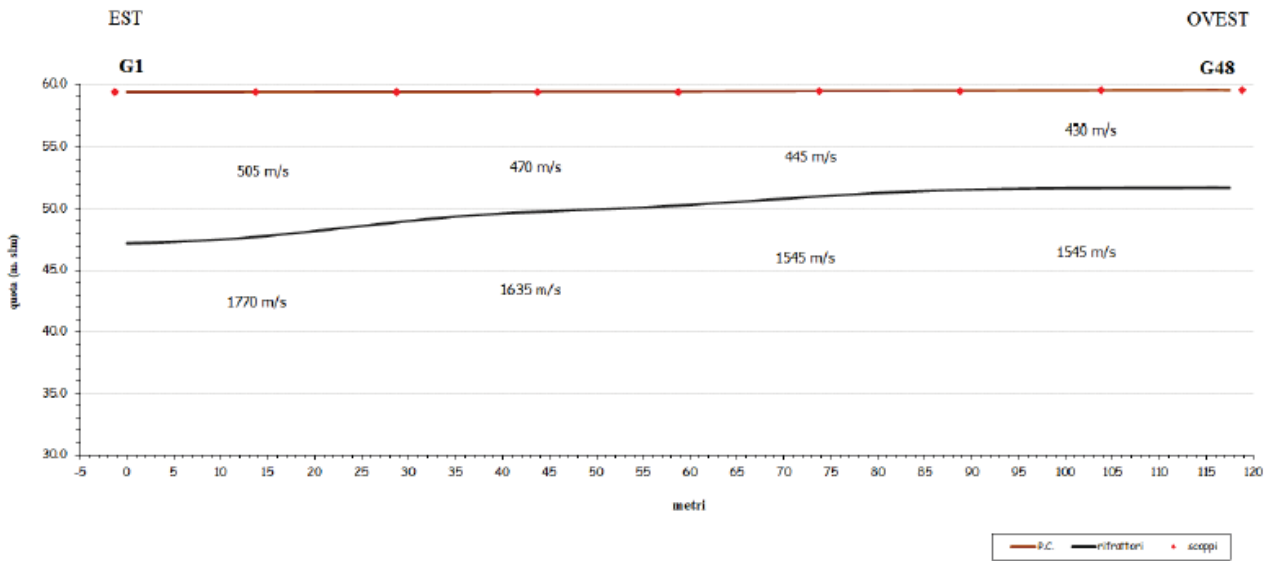
SRT3 - Onde P



L'indagine eseguita con onde P a 48 canali SRT 3, ha permesso di ricostruire una sezione sismo stratigrafica a 2 strati, raggiungendo una profondità massima di indagine di circa 30 m.

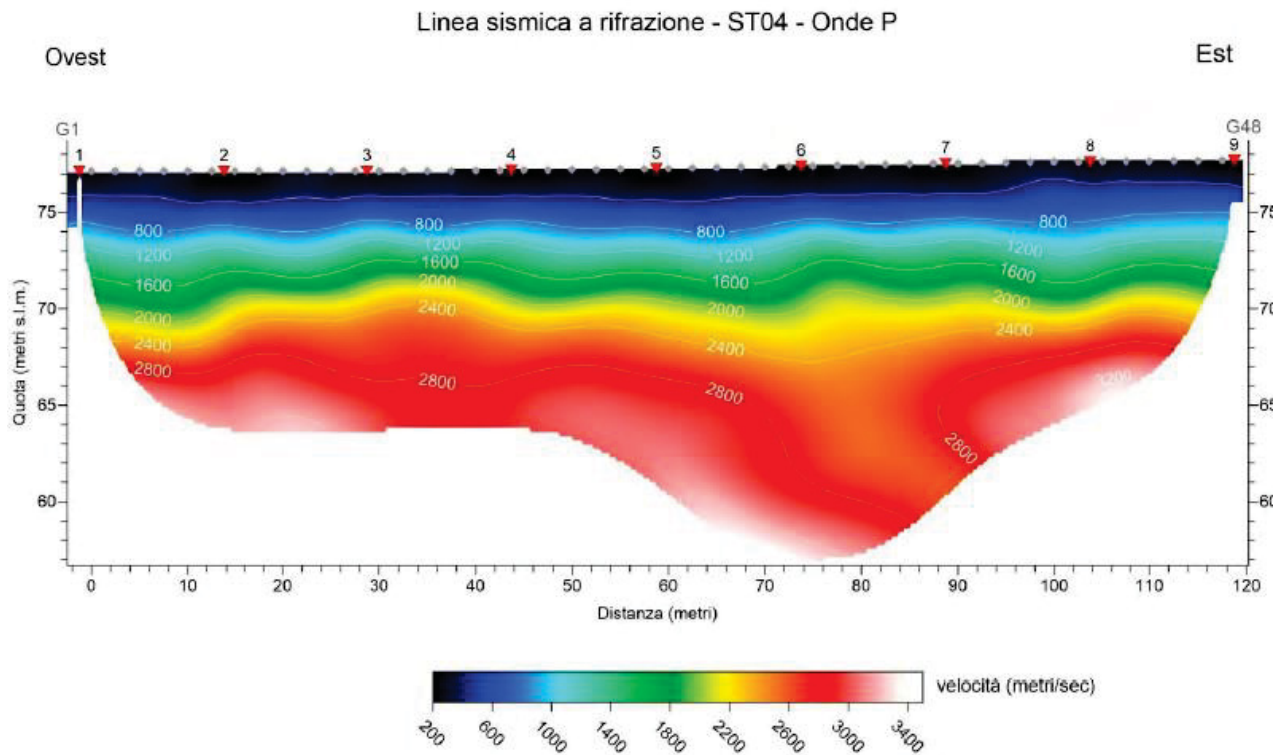
Nel dettaglio i dati indicano la presenza di una superficie rifrangente a una profondità variabile tra 9,0 m e 12,0 m con andamento topografico che mostra un approfondimento da destra verso sinistra della linea.

Il rifratore mette a contatto la copertura, che presenta velocità delle onde sismiche di compressione comprese tra 430 - 500 m/s, con un orizzonte costituito dal substrato che presenta velocità delle onde P superiori ai 1500 m/s.



SRT4 - Onde P

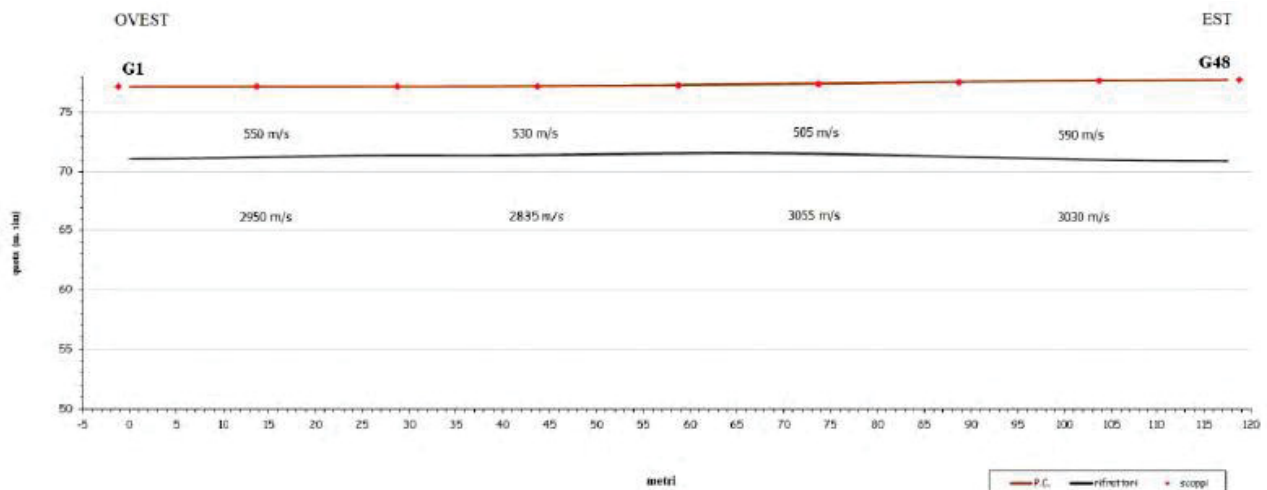




L'indagine eseguita con onde P a 48 canali SRT 4, ha permesso di ricostruire una sezione sismo stratigrafica a 2 strati, raggiungendo una profondità massima di indagine di circa 20 m.

Nel dettaglio i dati indicano la presenza di una superficie rifrangente a una profondità variabile tra 5,60 m e 6,00 m con andamento topografico pressoché parallelo al piano campagna, mentre le velocità delle onde di compressione del primo sismo strato sono di circa 500-600 m/s.

A profondità maggiori le velocità tendono ad aumentare sino oltre i 2800 m/s.



6. STIMA DEI PARAMETRI GEOTECNICI E CATEGORIA DI SUOLO

Da precedenti studi eseguiti nel salentino, in un'area a circa 3 km di distanza dalla SV01 (cerchio in blu), in particolare dalla consultazione di un profilo sismico a rifrazione realizzato su litologie analoghe all'area di studio, è stato possibile attribuire dei range di valori dei principali caratteri geotecnici dei litotipi affioranti.

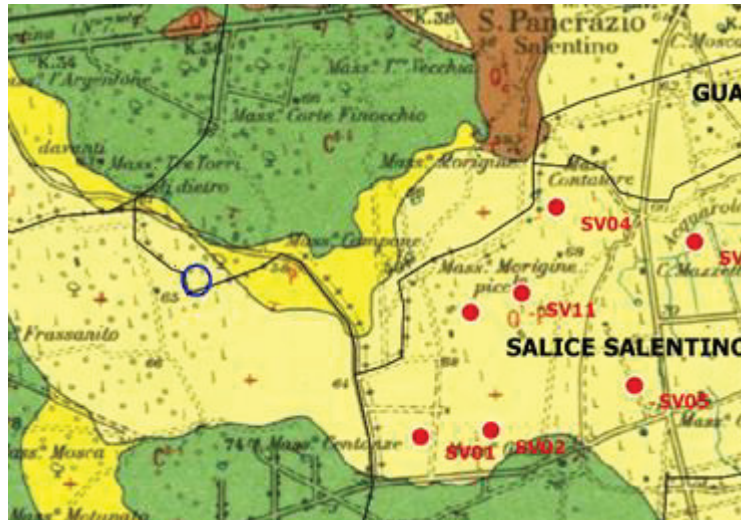


Figura 8: - Ubicazione indagine (cerchio in blu) consultata da lavori pregressi

Spessore (m)	Descrizione	γ (KN/m ³)	ϕ' (°)	c' (kg/cm ²)
0.5	Terreno vegetale	-	-	-
Fino al fondo	Sabbie (Calcareni del Salento)	17-19	29-31	0

Per ciò che concerne le indagini sismiche effettuate in sito esse hanno mirato ad una caratterizzazione dell'area da un punto di vista sismico, utili ai fini del calcolo della capacità portante, rimandando alle successive fasi progettuali ad una mirata e puntuale campagna geognostica.

Il sottosuolo dell'area in esame, in base ai risultati delle indagini sismiche di tipo MASW effettuate in sito, varia dalla categoria di sottosuolo E in corrispondenza della sottostazione e categoria B in area parco.

Linea	Vs m/s	Categoria di Sottosuolo (D.M. 17.01.2018)
MASW 1	351	E
MASW 2	395	B
MASW 3	421	B
MASW 4	493	B

Il report delle indagini è consultabile tra gli allegati a corredo della relazione geologica "GRE.EEC.R.25.IT.W.15000.00.027.00 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 pregresse realizzate su litologie vicine ed analoghe 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.

In una fase successiva, sarà opportuno 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.

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: Sabbie (Calcareni del Salento)**

Da un punto di vista granulometrico si tratta di sabbie calcaree poco cementate

Profondità m	Peso volume γ (KN/m ³)	Coesione C' (kg/cm ²)	Angolo attrito Φ'
Fino al fondo	17-19	0	29-31

La citazione di indagini geognostiche proveniente da lavori pregressi eseguiti nelle vicinanze dell'area di studio e sulla medesima litologia mirano ad una caratterizzazione di massima, utili ai fini del calcolo della capacità portante, rimandando alle successive fasi progettuali ad una mirata e puntale campagna geognostica.

8. INQUADRAMENTO SISMICO

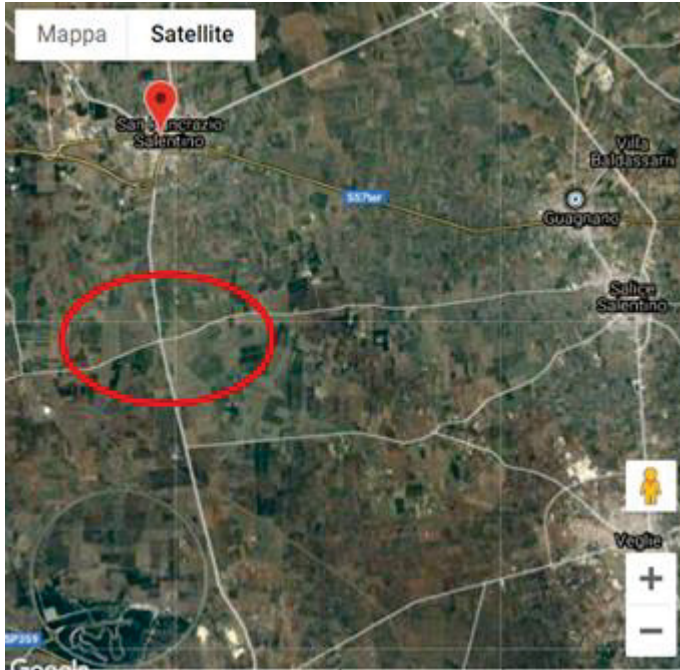
La caratterizzazione sismica di un territorio si basa da un lato sulla conoscenza degli eventi sismici già avvenuti, localizzati all'interno del territorio stesso o risentiti da aree contigue e, dall'altro, sulla conoscenza delle potenziali sorgenti geologiche esistenti e ritenute in grado di produrre 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 dell'area interessata dal parco eolico ricadente nei comuni di Salice Salentino e Veglie (LE), in particolare la zona oggetto di studio (cerchio in rosso nell'immagine sottostante) risulta più vicino all'abitato di San Pancrazio Salentino (LE). A tal proposito, si prende in riferimento la storia sismica di quest'ultimo.

Questo fornisce un set omogeneo di intensità macrosismiche provenienti da diverse fonti relativo ai terremoti con intensità massima ≥ 4 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):



San Pancrazio Salentino

PlaceID	IT_62641
Coordinates (lat, lon)	40.418, 17.838
Municipality (ISTAT 2015)	San Pancrazio Salentino
Province	Brindisi
Region	Puglia
No. of reported earthquakes	2



a)

Effects	Reported earthquakes									
Int.	Year	Mo	Da	Ho	Mi	Se	Epicentral area	NMDP	Io	Mw
NF	1978	09	24	08	07	4	Materano	121	6	4.75
4	1980	11	23	18	34	5	Irpinia-Basilicata	1394	10	6.81

b)

Place name	EQs	Distance (km)
San Donaci	4	8
Erchie	1	9
Guagnano	3	10
Torre Santa Susanna	3	10

c)

Figura 9: - Storia sismica del comune di San Pancrazio Salentino 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)

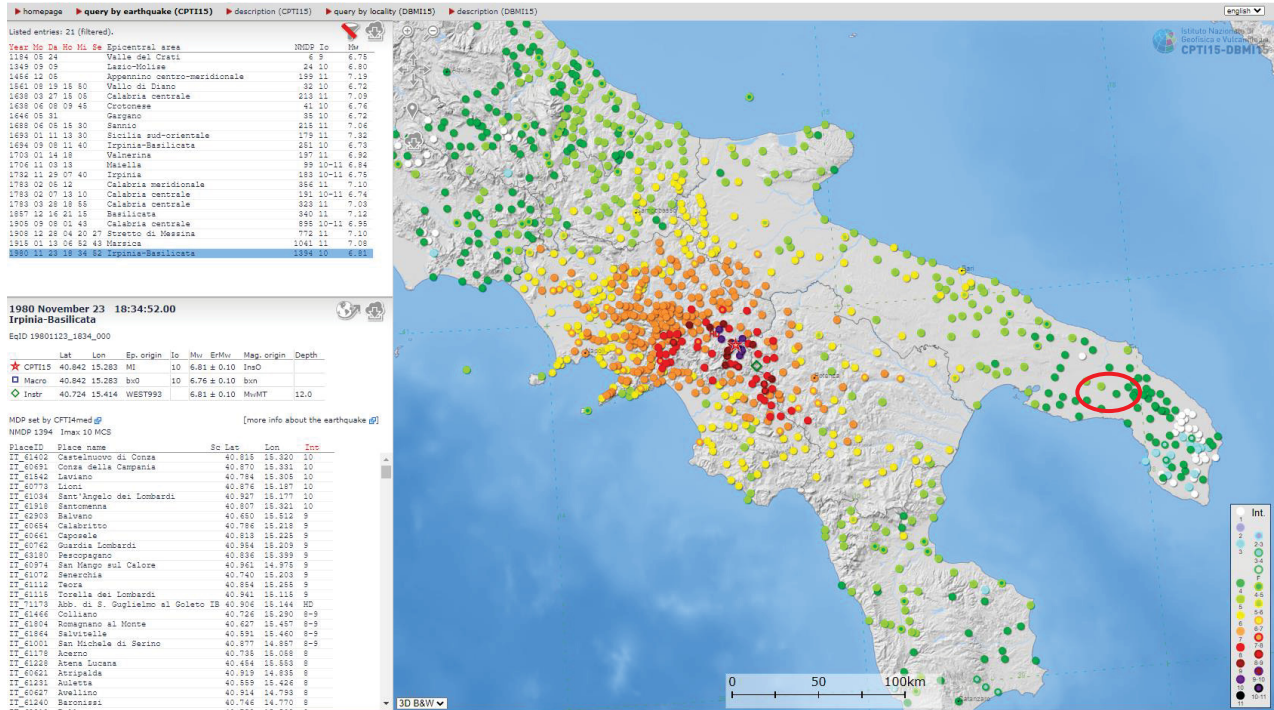


Figura 10: - Intensità registrate in seguito al sisma del 1980 dell'Irpinia estratta dal Catalogo parametrico dei terremoti italiani 2015 (CPTI15) dell'INGV

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 30 km dal Comune di San Pancrazio Salentino (LE).

In particolare nel suddetto periodo si sono verificati n.8 eventi con una magnitudo variabile tra $M=2,5$ e $M=3,3$ di seguito ubicati ed elencati.

Fuso Orario: Italia | Dal 01-01-1985 | Magnitudo: 2+ | Punto: (40.42, 17.84) - Raggio: 30 km | Personalizza Ricerca | Mappa

Visualizzati 9 terremoti (Ordinamento Tempo Decrescente) | Esporta lista (UTC)

Data e Ora (Italia)	Magnitudo	Zona	Profondità	Latitudine	Longitudine
2015-06-25 16:37:47	ML 2.5	2 km S Francavilla Fontana (BR)	3	40.51	17.59
2012-05-05 14:44:02	ML 2.8	4 km W Francavilla Fontana (BR)	5	40.54	17.54
2007-12-23 12:53:33	ML 2.5	Costa Adriatica Brindisina (Brindisi)	5	40.53	18.11
1995-07-05 22:53:55	Md 2.6	4 km W San Donaci (BR)	5	40.45	17.88
1991-12-05 22:55:40	Md 3.3	Costa ionica Leccese (Lecce)	10	40.21	17.80
1991-09-29 07:39:57	Md 2.8	6 km NE Sava (TA)	10	40.46	17.59
1989-01-22 06:41:30	Md 2.7	Costa ionica Leccese (Lecce)	5	40.20	17.79
1985-04-06 09:24:53	Md 2.9	Costa ionica Leccese (Lecce)	10	40.17	17.94
1985-01-17 01:23:08	Md 2.9	8 km W Veglie (LE)	10	40.34	17.88

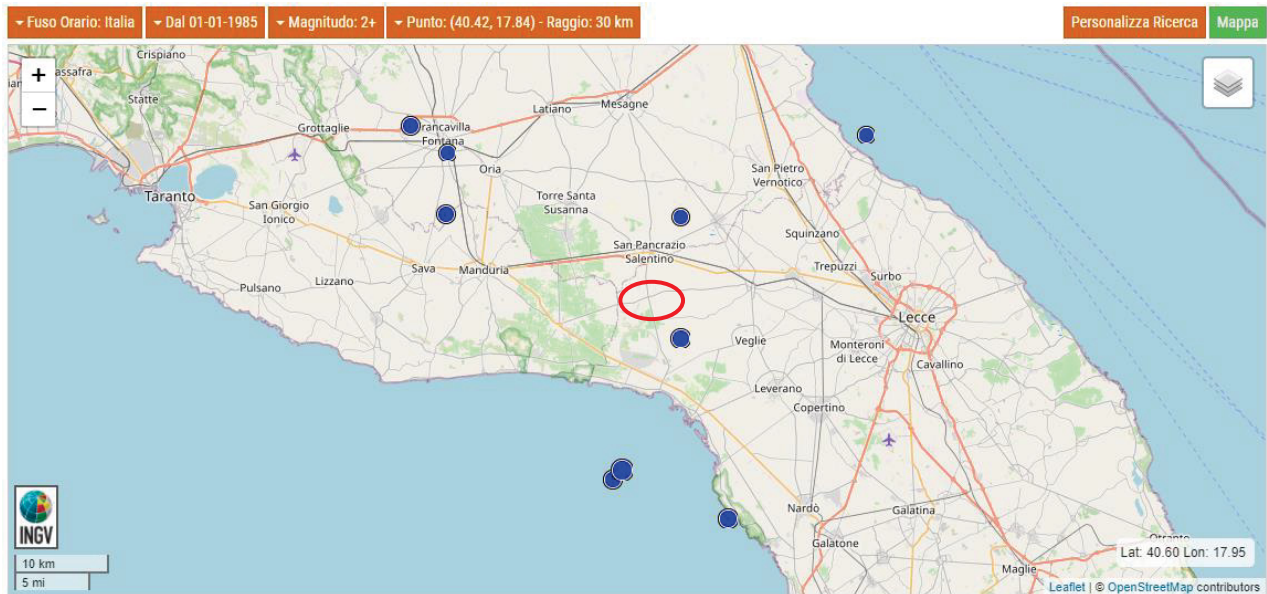


Figura 11: – Lista degli eventi di $M \leq 3,3$ avvenuti dal 1985 ad oggi entro un raggio di 30 km dal Comune di San Pancrazio Salentino (LE) da INGV.

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 come l'area oggetto di studio è distante dalle faglie attive cartografate sul portale dell'ISPRA.



Figura 12: – 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.

Nella penisola salentina, come ben visibile nell'immagine sottostante, non sono cartografate strutture sismogeniche, a conferma della scarsa sismicità dell'area di studio.

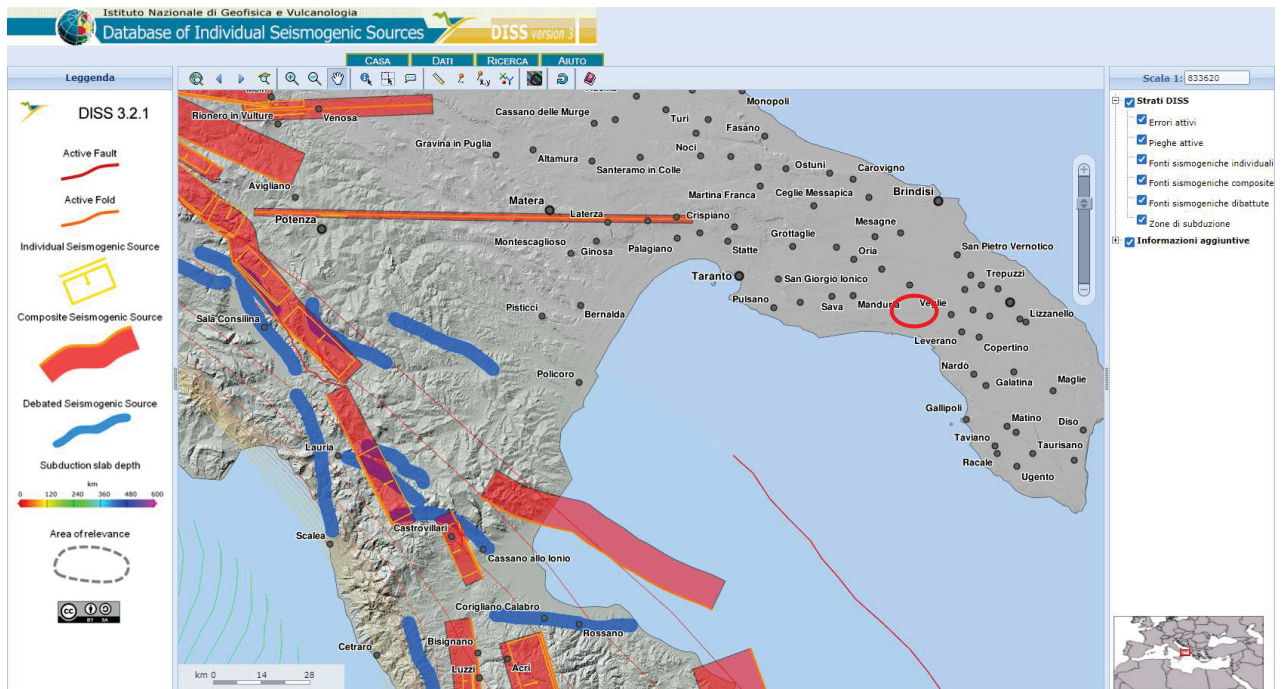


Figura 13: – Database DISS 3.2.1 ubicazione delle sorgenti sismogenetiche più vicine all'area di studio (cerchio in rosso).

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 non ricade in nessuna zona sismogenetica, infatti la probabilità che capiti un terremoto è molto bassa.

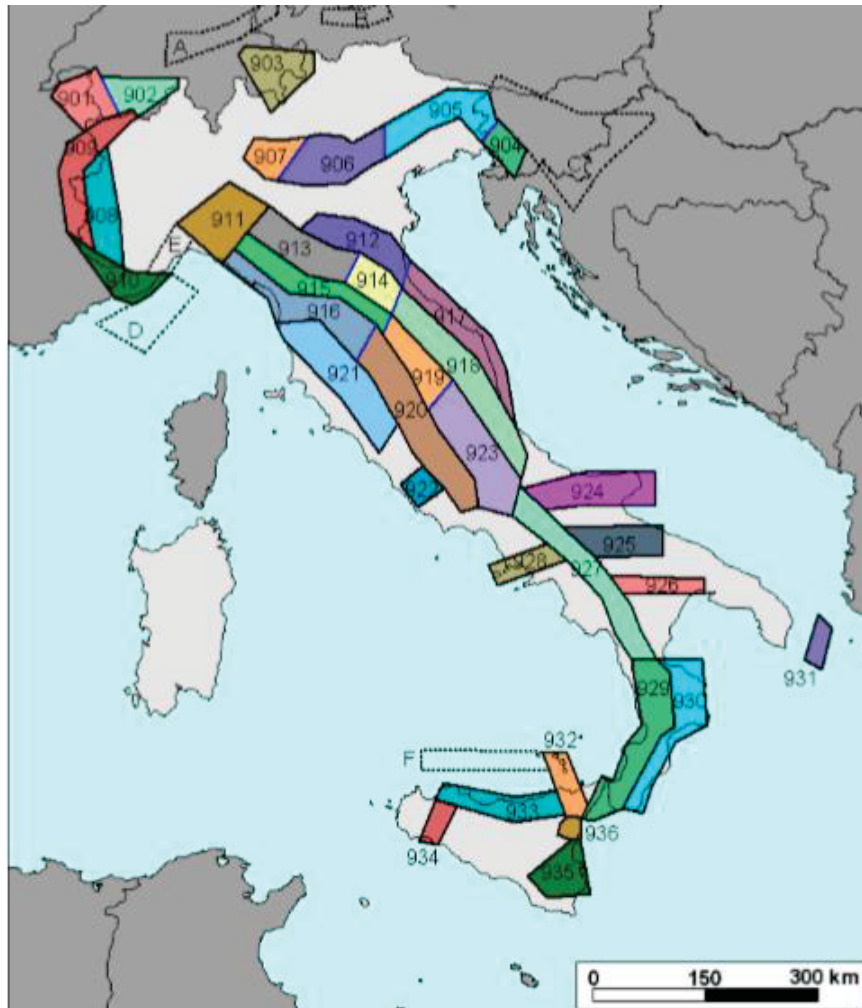


Figura 14: – Zonazione sismogenetica ZS9 con indicazione dell'area di studio (da www.ingv.it)

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.

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).

I comuni di Salice Salentino e Veglie (LE) ricadono in una zona a rischio sismico **4**. E' la zona meno pericolosa: la probabilità che capiti un terremoto è molto bassa.

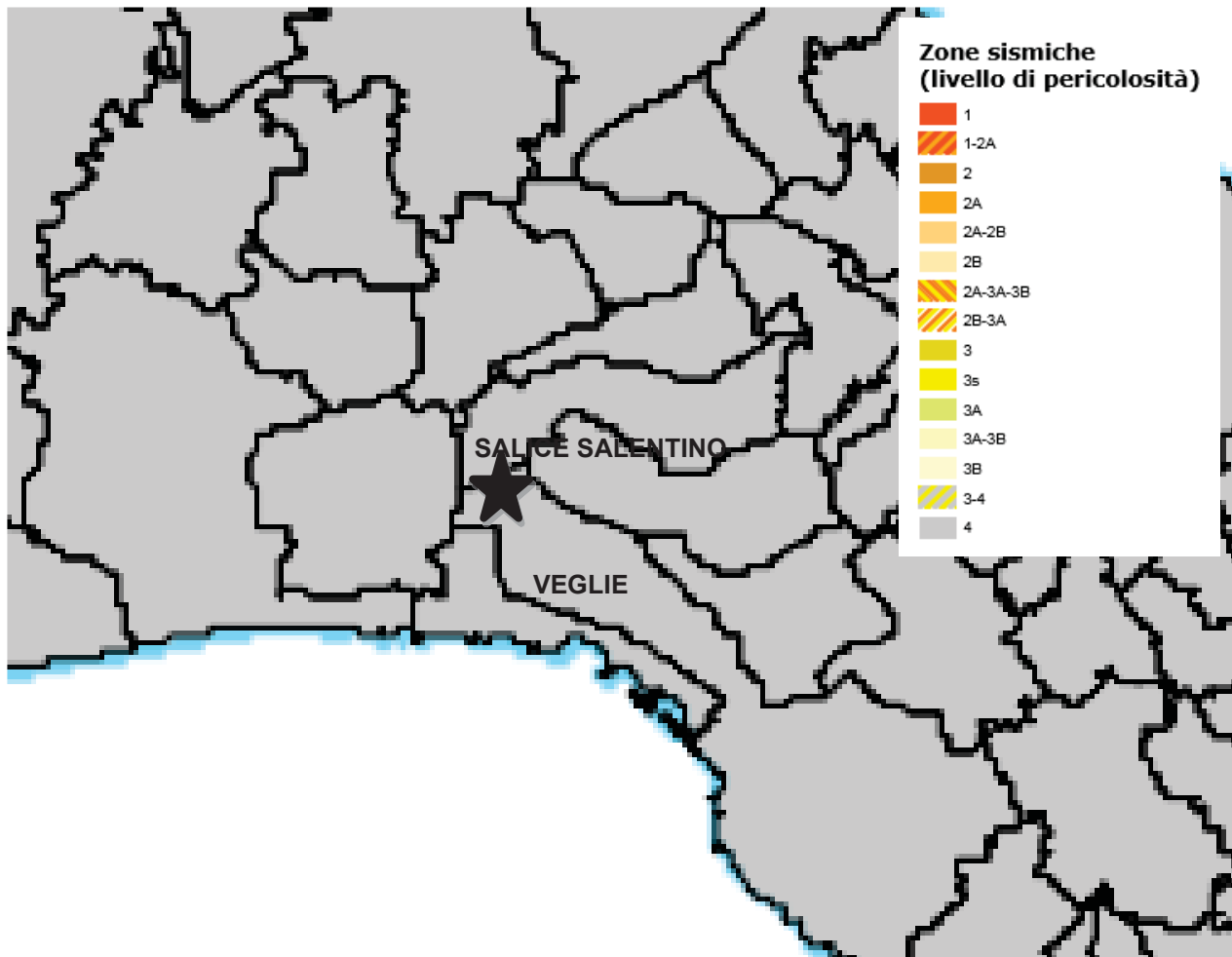


Figura 15: - Stralcio della classificazione sismica (2020)

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 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).

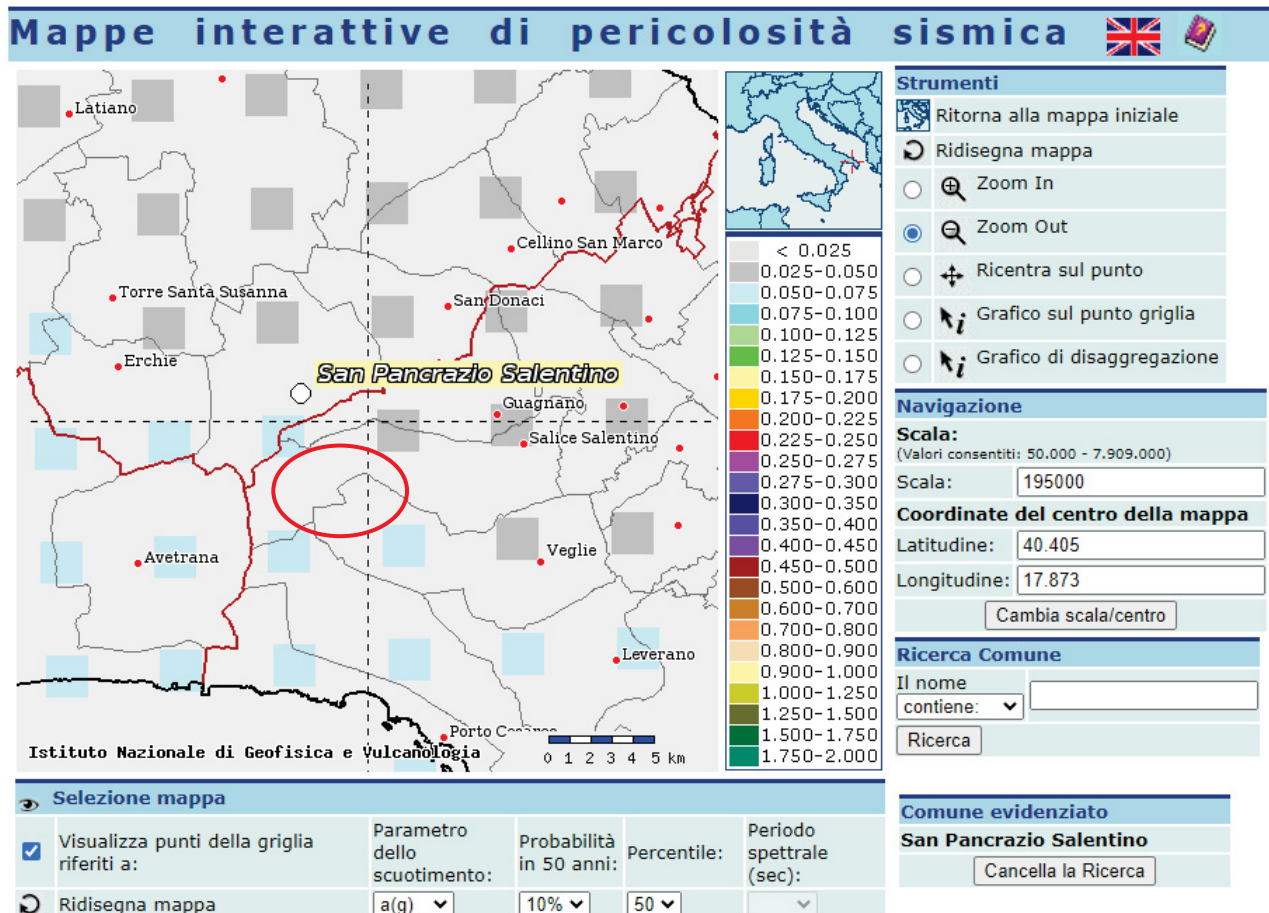


Figura 16: - Mappa dell'accelerazione massima al suolo con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni riferita a suoli rigidi ($V_{s30} > 800\text{m/s}$ Cat. A).

In particolare, il nuovo studio di pericolosità, allegato all'Opdm n. 3519 del 2006, ha fornito alle Regioni uno strumento aggiornato per la classificazione del proprio territorio, introducendo degli intervalli di accelerazione (ag) (pericolosità di base), con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni, da attribuire alle 4 zone sismiche.

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 la pericolosità sismica del sito, l'area di studio ricade nel punto del reticolo di riferimento definito da longitudine 17.854 e latitudine 40.368, nella maglia elementare l'accelerazione orizzontale con probabilità di superamento del 10% in 50 anni è compresa tra 0,050 e 0,075 (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 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.

Dai dati ricavati dalle prospezioni sismiche effettuate in sito, si sono ottenuti i valori differenti di $V_{s,eq}$ MASW1 351 m/s, MASW2 395 m/s, MASW3 421 m/s e MASW4 493 m/s,

di conseguenza la categoria di suolo varia tra E e 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 consultate 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/quaranta 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;

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.

Di seguito sono forniti i valori di **ag F_o e T_c*** 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 paramenti sismici (es. GEOSTRU parametri sismici).

Parametri sismici ricavati da GEOSTRU I° reticolo di riferimento a Ovest



Siti di riferimento ED 50

Sito 1	ID: 34808	Lat: 40,4039	Lon: 17,7579	Distanza: 4885,726
Sito 2	ID: 34809	Lat: 40,4013	Lon: 17,8234	Distanza: 2647,159
Sito 3	ID: 35031	Lat: 40,3514	Lon: 17,8201	Distanza: 3471,431
Sito 4	ID: 35030	Lat: 40,3539	Lon: 17,7546	Distanza: 5374,773

Coordinate Punto WGS84: **lat: 40.380020long: 17.806363**

Litologia prevalente: **Sabbie calcaree poco cementate appartenenti alle calcareniti del Salento, sabbie argillose grigio azzurre.**

Classe d'uso edificio: **4**

Coefficiente d'uso: **2**

Vita Nominale: **50 anni**

Categoria topografica: **T1**

Periodo di riferimento: **100 anni**

Categoria di Sottosuolo: **B**

	Probab. Sup. (%)	TR (anni)	ag (g)	F ₀	Tc* (s)
SLO	81	60	0.024	2.313	0.271
SLD	63	101	0.030	2.365	0.340
SLV	10	949	0.060	2.714	0.512
SLC	5	1950	0.072	2.857	0.534

	S _s	C _c	S _t	K _h	K _v	A _{max}	Beta
SLO	1.200	1.430	1.000	0.006	0.003	0.282	0.200
SLD	1.200	1.360	1.000	0.007	0.004	0.357	0.200
SLV	1.200	1.260	1.000	0.014	0.007	0.710	0.200
SLC	1.200	1.250	1.000	0.017	0.009	0.841	0.200

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

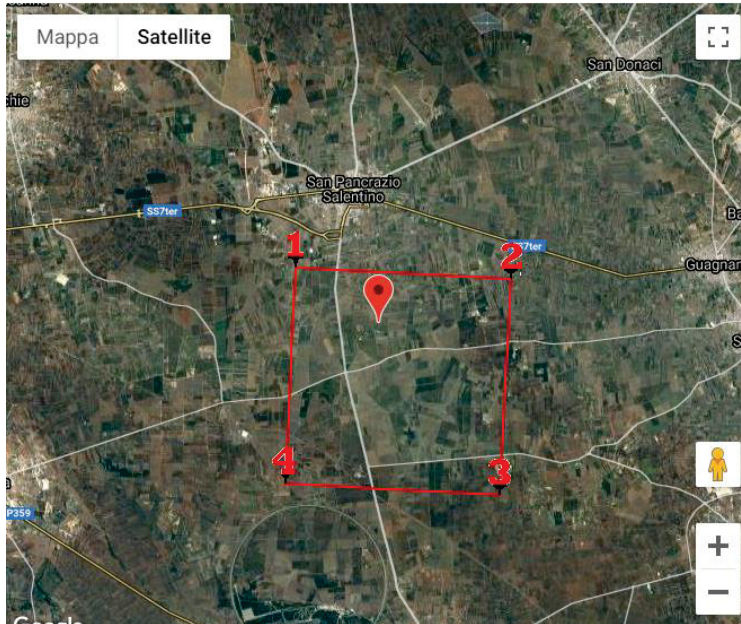
$$a_{gmax} = S_s * S_t * a_g$$

$$S_s = 1,200 \quad S_t = 1,000 \quad a_g = 0,060$$

$$a_{gmax} = 0.072$$

con **K_h = 0.014** (coeff. azione sismica orizzontale) **K_v = 0.007** (coeff. azione sismica verticale)

Paramenti sismici ricavati da GEOSTRU II° reticolo di riferimento a Est



Siti di riferimento ED 50

Sito 1	ID: 34809	Lat: 40,4013	Lon: 17,8234	Distanza: 2109,961
Sito 2	ID: 34810	Lat: 40,3988	Lon: 17,8890	Distanza: 5263,528
Sito 3	ID: 35032	Lat: 40,3488	Lon: 17,8856	Distanza: 6036,675
Sito 4	ID: 35031	Lat: 40,3514	Lon: 17,8201	Distanza: 3630,224

Coordinate Punto WGS84: **lat: 40.3876 long: 17.8479**

Litologia prevalente: **Sabbie calcaree poco cementate appartenenti alle calcareniti del Salento, sabbie argillose grigio azzurre.**

Classe d'uso edificio: **4**

Coefficiente d'uso: **2**

Vita Nominale: **50 anni**

Categoria topografica: **T1**

Periodo di riferimento: **100 anni**

Categoria di Sottosuolo: **B**

Parametri Sismici

	Probab. Sup. (%)	TR (anni)	ag (g)	F ₀	Tc* (s)
SLO	81	60	0.023	2.312	0.265
SLD	63	101	0.030	2.353	0.338
SLV	10	949	0.060	2.660	0.518
SLC	5	1950	0.072	2.796	0.541

	S _s	C _c	S _t	K _h	K _v	A _{max}	Beta
SLO	1.200	1.430	1.000	0.006	0.003	0.274	0.200
SLD	1.200	1.370	1.000	0.007	0.004	0.349	0.200
SLV	1.200	1.250	1.000	0.015	0.007	0.711	0.200
SLC	1.200	1.240	1.000	0.017	0.009	0.847	0.200

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

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

$$S_s = 1,200 \quad S_t = 1,000 \quad a_g = 0,060$$

$$a_{gmax} = 0.072$$

con **K_h = 0.015** (coeff. azione sismica orizzontale) **K_v = 0.007** (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.15000.00.103.0C_CALCOLI PRELIMINARI Edificio SS", "GRE.EEC.R.25.IT.W.15000.00.102.0C_CALCOLI PRELIMINARI Fondazioni Aerogeneratori" e "GRE.EEC.R.25.IT.W.15000.00.104.0C_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 adotteranno 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):

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

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

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 "QP" e del carico limite verticale lungo la superficie laterale del palo "QL" 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

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

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

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 alle categorie di suolo E** (area sottostazione) **e B** (area parco) della nuova classificazione sismica, ossia rispettivamente trattasi di "Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C e D, con profondità del substrato superiore a 30 m" e "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 0,060g, con probabilità di superamento del 10% (SLV), ed il valore del coefficiente di amplificazione sismica $S_s = 1,2$ da cui si ottiene **un'accelerazione massima attesa al sito pari a $A_{gmax} = 0.072 g$.**

I parametri geotecnici utilizzati in questa relazione, provengono da studi pregressi effettuati in zona vicine, sulla medesima litologia. I parametri riportati sono 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