



Green Power

Engineering &amp; Construction



GRE CODE

GRE.EEC.R.25.IT.W.14670.00.041.00

PAGE

1 di/of 24

TITLE:

AVAILABLE LANGUAGE: IT

## IMPIANTO EOLICO DI CERIGNOLA

Progetto definitivo

Relazione geotecnica-sismica



File: GRE.EEC.R.25.IT.W.14670.00.041.00 - Relazione geotecnica-sismica

REV.	DATE	DESCRIPTION	PREPARED	VERIFIED	APPROVED
00	20/11/2020	Prima emissione	G. Coduri	N. Novati	G. Coduri

## GRE VALIDATION

	Tomassetti	Vigone
COLLABORATORS	VERIFIED BY	VALIDATED BY

PROJECT / PLANT

Cerignola

## GRE CODE

GROUP	FUNCTION	TYPE	ISSUER	COUNTRY	TEC	PLANT	SYSTEM	PROGRESSIVE	REVISION										
GRE	EEC	R	2	5	I	T	W	1	4	6	7	0	0	0	0	4	1	0	0

CLASSIFICATION

PUBLIC

UTILIZATION SCOPE

BASIC DESIGN

This document is property of Enel Green Power Solar Energy S.r.l. 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 Solar Energy S.r.l.



Green Power

Engineering & Construction



GRE CODE

GRE.EEC.R.25.IT.W.14670.00.041.00

PAGE

2 di/of 24

## INDEX

1. INTRODUZIONE.....	3
1.1. DESCRIZIONE DEL PROPONENTE.....	3
1.2. CONTENUTI DELLA RELAZIONE .....	3
2. INQUADRAMENTO TERRITORIALE.....	3
3. STRATIGRAFIA DI DETTAGLIO .....	8
4. SCELTA DEI PARAMETRI GEOTECNICI .....	8
5. SISMICITÀ DEL TERRITORIO.....	9
5.1. Inquadramento Macrosismico.....	9
5.2. Inquadramento sismico dell'area .....	10
5.3. Zonazione Sismogenetica .....	11
5.4. Sismicità storica e pericolosità sismica del territorio Comunale.....	12
6. SISMICITÀ DELL'AREA E MICROZONIZZAZIONE SISMICA.....	14
6.1. Premessa .....	14
6.2. Effetti di amplificazione topografica.....	15
6.3. Categorie di suolo di fondazione .....	15
7. ANALISI SISMICA .....	15
7.1. Introduzione .....	15
7.2. Determinazione dei parametri sismici.....	16
7.3. Pericolosità sismica di sito .....	16
8. VERIFICA DI CAPACITÀ PORTANTE DEL PALO.....	20
8.1. CONSIDERAZIONI SULLA PORTANZA DELLE FONDAZIONI .....	20
8.2. DETERMINAZIONE PORTATA ASSIALE PALO.....	20
9. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE .....	23

## 1. INTRODUZIONE

Stantec S.p.A., in qualità di Consulente Tecnico, è stata incaricata da Enel Green Power Italia S.r.l. ("EGP") di redigere il progetto definitivo per la costruzione di un nuovo impianto eolico denominato "Cerignola" e relative opere di connessione alla RTN, da ubicarsi nei comuni di Cerignola (FG) e Ascoli Satriano (FG).

Il progetto proposto prevede l'installazione di 10 nuove turbine eoliche ciascuna di potenza nominale fino a 6 MW, in linea con gli standard più alti presenti sul mercato, per una potenza installata totale pari a 60 MW.

L'energia prodotta dagli aerogeneratori, attraverso il sistema di cavidotti interrati in media tensione, verrà convogliata alla stazione elettrica di alta tensione di Terna denominata "Camerelle", situata nel comune di Ascoli Satriano. La connessione alla sottostazione esistente sarà effettuata a partire da una nuova stazione di trasformazione 33 kV/150 kV, che sarà connessa in antenna, tramite cavo in alta tensione, alla stazione di Terna denominata "Camerelle".

Il progetto è in linea con gli obiettivi nazionali ed europei per la riduzione delle emissioni di CO<sub>2</sub>, legate a processi di produzione di energia elettrica.

### 1.1. DESCRIZIONE DEL PROPONENTE

Il soggetto proponente dell'iniziativa è Enel Green Power Italia S.r.l., società iscritta alla Camera di Commercio di Roma che ha come Socio Unico la società Enel Green Power S.p.A., 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 28 Paesi nei 5 continenti con una capacità gestita di oltre 46 GW e più di 1200 impianti.

In Italia, il parco di generazione di Enel Green Power è rappresentato dalle seguenti tecnologie rinnovabili: idroelettrico, eolico, fotovoltaico, geotermia. Attualmente nel Paese conta una capacità gestita complessiva di oltre 14 GW.

### 1.2. CONTENUTI DELLA RELAZIONE

La presente relazione ha l'obiettivo di illustrare lo studio geotecnico preliminare finalizzato a fornire una caratterizzazione di massima dei tipi litologici che verranno interessati dagli scavi e dalle opere di fondazione.

L'indagine si è articolata nelle seguenti fasi:

- 1) ricerca bibliografica
- 2) elaborazione dei dati scaturiti dalla ricerca bibliografica e stima dei parametri geotecnici dei terreni.

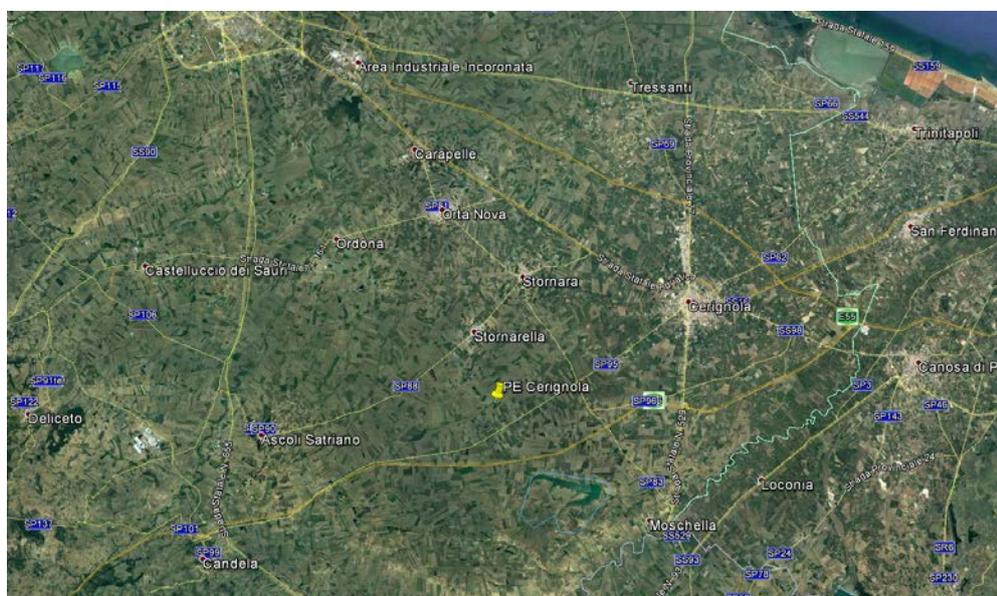
## 2. INQUADRAMENTO TERRITORIALE

L'area di progetto per il nuovo impianto eolico "Cerignola" è identificata dalle seguenti coordinate geografiche:

- Latitudine: 41°12'49.87"N
- Longitudine: 15°44'27.53"E

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

- Fogli di mappa catastale del Comune di Cerignola n° 337, 338, 340, 347, 348, 349, 351 e del Comune di Ascoli Satriano n° 70, 75, 116;
- Fogli I.G.M. in scala 1:25.000, codificati 175-I-SO (Borgo Libertà) e 175-IV-SE (Corleto);
- Fogli della C.T.R. in scala 1:25.000, codificati 422131, 422132, 422133, 434041, 434042, 434043, 434044, 435011, 435014,

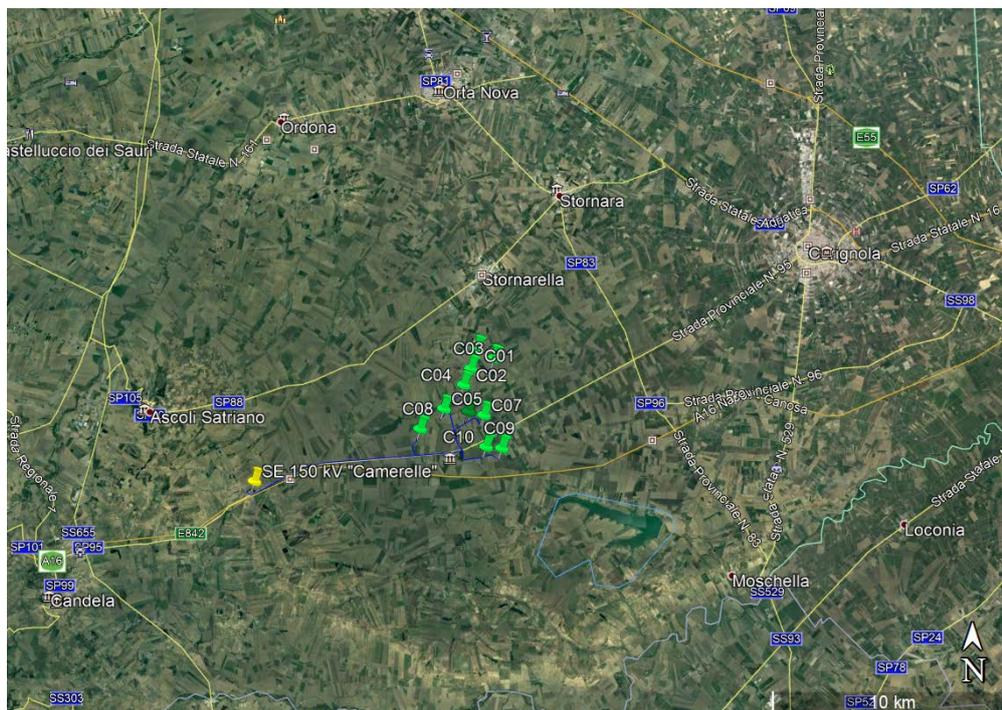


**Figura 2-1: Collocazione geografica impianto eolico "Cerignola (Google Earth)**

L'impianto eolico è ubicato nell'area del comune di Cerignola e Ascoli Satriano in provincia di Foggia, a poco più di 32 km a Sud-Est dal capoluogo di Provincia.

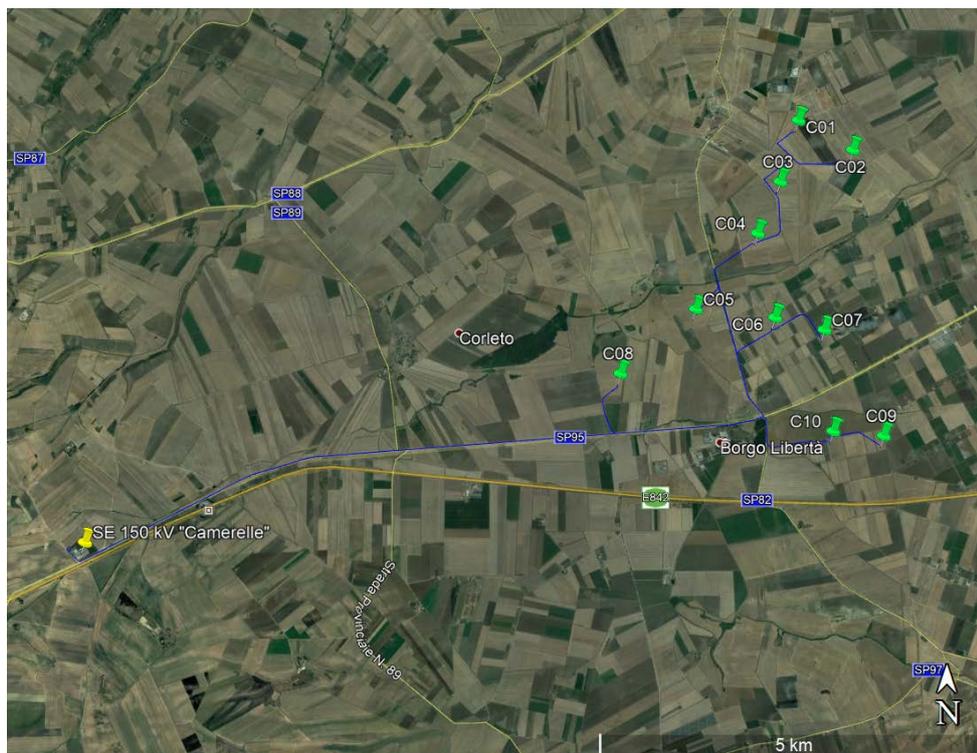
Il sito non presenta particolari complessità dal punto di vista orografico: è infatti caratterizzato da colline di elevazione limitata (massimo 240 m s.l.m.) con pendenze lievi.

In Figura 2-2 è riportato il posizionamento previsto per le turbine eoliche del nuovo impianto in progetto.



**Figura 2-2: Inquadramento geografico nuovo impianto eolico “Cerignola” (Google Earth)**

Il successivo inquadramento (Figura 2-3) mostra con maggior dettaglio il posizionamento delle turbine dell’impianto eolico “Cerignola”.



**Figura 2-3: Posizionamento turbine eoliche dell'impianto in progetto (Google Earth)**

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

**Tabella 2-1: Coordinate aerogeneratori**

WTG	Comune	Est [m]	Nord [m]	Altitudine [m s.l.m.]
<b>C01</b>	Cerignola	560715	4563772	199
<b>C02</b>	Cerignola	561427	4563383	197
<b>C03</b>	Cerignola	560465	4562950	206
<b>C04</b>	Cerignola	560164	4562262	206
<b>C05</b>	Cerignola	559342	4561253	216
<b>C06</b>	Cerignola	560378	4561153	215
<b>C07</b>	Cerignola	561021	4560997	214
<b>C08</b>	Cerignola	558352	4560400	244
<b>C09</b>	Cerignola	561772	4559617	224
<b>C10</b>	Cerignola	561115	4559673	230
<b>SSE MT/AT</b>	Ascoli Satriano	551268	4558280	344

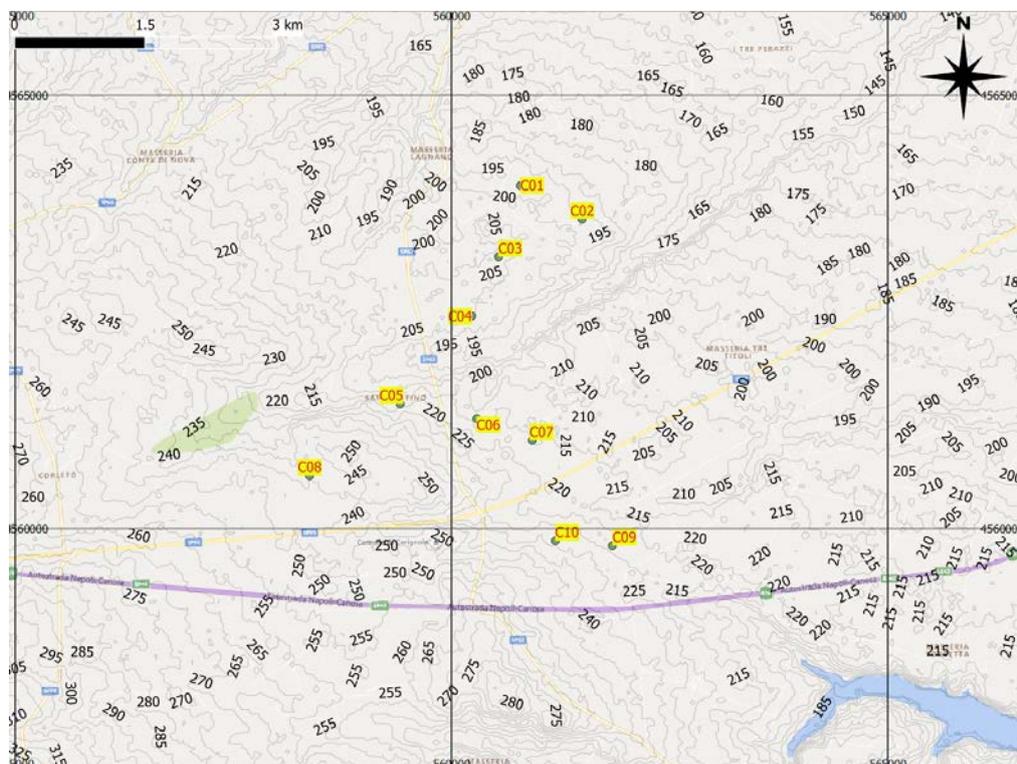


Figura 2-4: Carta 2D dell'area con quote altimetriche

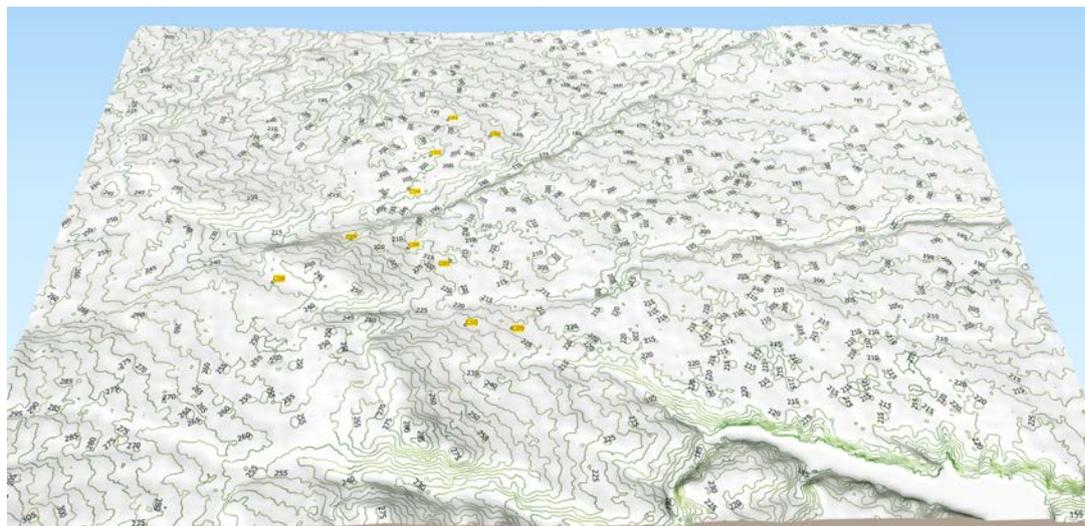


Figura 2-5: Visualizzazione 3D dell'area. Scala verticale esagerata per 5, al fine di evidenziare i cambi di pendenza

### 3. STRATIGRAFIA DI DETTAGLIO

A seguito delle osservazioni e delle considerazioni di cui al documento "GRE.EEC.R.25.IT.W.14670.00.040.00 – Relazione geologica" qui di seguito si sintetizza la stratigrafia e dettaglio ipotizzata e valida in ultima analisi per tutti i siti che saranno oggetto di costruzione. Data l'assenza di dati sito specifici la ricostruzione stratigrafica si è basata sui dati litologici derivanti dalle indagini considerate ed effettuate per l'adiacente campo eolico combaciano alla perfezione con la stratigrafia ricavata a livello cartografico nazionale.

Nel presente testo si fa riferimento alle due indagini eseguite a carotaggio continuo denominate: S 01 – DH1 ed S 02-DH2, sondaggi a carotaggio continuo che hanno raggiunto la profondità massima di 30 m da p.c., in cui sono state eseguite prove S.P.T. e prove geofisiche del tipo Down-Hole.

da 00,00 a 1,00 – TERRENO VEGETALE – costituito da sabbia e limo con rara ghiaia eterometrica  $\varnothing$  max 2-4 cm, poligenica arrotondata, da asciutto a debolmente umido;

da 01,00 a 05,00 – COPERTURA ELUVIO-COLLUVIALE - depositi costituiti da sedimenti fini massivi e clasti eterometrici localmente stratificati, di colore marroncino a luoghi tendenti al rossastro derivanti dal ruscellamento di acque non incanalate e da alterazione in posto di sedimenti sabbioso (Olocene)– si presenta in loco come sabbia media e grossa debolmente limosa ghiaia eterometrica, poligenica ad addensamento e grado di umidità molto variabile;

da 05,00 a 22,00 – CONGLOMERATI DI ORDONA (ODN) Conglomerati clasto sostenuti a matrice sabbiosa massivi, a stratificazione orizzontale ed obliqua, caratterizzati da frequenti lenti sabbiose a stratificazione piano parallela o incrociata; gli elementi sono costituiti da ciottoli eterometrici poligenici di media grandezza in genere a spigoli ben arrotondati e localmente embriciati. La frazione sabbiosa, oltre che dagli elementi litici, è costituita da una componente detritica quarzoso feldspatica e da minerali femici del Vulture. L'ambiente deposizionale è riferibile ad una piana alluvionale (Calabriano)– Presenza di sottili strati di sabbia limosa e di livelli di arenaria;

da 22,00 a 30,00 – SABBIE DI MONTE MARANO (SMN)– sabbie gialle quarzose calcarifere a luoghi cementate con spessore variabile tra i 50 ed i 100 m (Calabriano), si presentano in loco come sabbie limose e limi sabbioso argillosi da nocciola a grigio azzurri.

Quella sopra descritta è da intendersi come stratigrafia di riferimento, valida per tutte le piazzuole in progetto e rappresenta una situazione media soprattutto in termini di spessore dello strato di copertura eluvio-colluviale.

### 4. SCELTA DEI PARAMETRI GEOTECNICI

Data l'assenza di prove sito specifiche per la determinazione dei parametri geotecnici necessari alla progettazione preliminare delle opere, ci si è affidati a dati bibliografici e a prove ed analisi eseguite in terreni e contesti del tutto simili al caso indagato.

La Tabella seguente riporta I principali parametri, suddivisi per litotipo.

Il primo strato, il terreno vegetale (suolo) è stato trascurato perchè sicuramente soggetto a scotico.

TABELLA 1 - SINTESI DEI VALORI GEOTECNICI DI RIFERIMENTO

Parametro	Simbolo	u.m.	ELUVIUM	ODN	FMM
Peso di volume	" $\gamma$ "	[Ton/m <sup>3</sup> ]	17,65	18,71	18,63
Angolo di attrito	" $\phi$ "	[°]	29 da biblio	22,5 -/- 38 da S.P.T.	27 -/- 45 da S.P.T.
Coesione efficace	"c"	[Kg/cm <sup>2</sup> ]	0,0	0,37	0,34
Modulo di confinamento	"M"	[MPa]	32	28	41
Modulo di Young	"E"	[MPa]	800	735	1.250
Modulo di taglio	"G"	[MPa]	650	255	731
Densità relativa	"Dr"	[%]	58	64	77
Coeff. di Poisson	" $\nu$ "	[-]	0.42	0.44	0.43
Coeff. di Winkler	"K <sub>w</sub> "	[Kg/cm <sup>3</sup> ]	12	20	25
Coeff. di Winkler (da densità relativa, pali 120 cm)	"K <sub>h</sub> "	[Kg/cm <sup>3</sup> ]		28.18	63.25
Velocità onde compressione	"V <sub>p</sub> "	[m/sec]	1.000	1.240	1.485
Velocità onde di taglio	"V <sub>s</sub> "	[m/sec]	300	345	450

## 5. SISMICITÀ DEL TERRITORIO

### 5.1. Inquadramento Macrosismico

L'Appennino meridionale presenta una storia sismica tra le più severe dell'Italia, sia in termini di intensità che di frequenza di terremoti.

Le zone sismogenetiche sono caratterizzate da un'elevata pericolosità sia per il livello di sismicità che per l'elevata attività neotettonica.

Nell'area dell'Appennino meridionale, nella quale è compreso il territorio indagato, le zone maggiormente interessate nel tempo da eventi sismici con magnitudo superiore a 5 sono quelle ubicate in corrispondenza della catena.

L'allineamento degli epicentri di questi eventi sismici è evidentemente collegato con la struttura geologica della regione, in particolare gli epicentri si concentrano prevalentemente a ridosso del confine tra la catena Appenninica e l'Avanfossa Bradanica, mentre il loro numero decresce nei settori interni della catena (prossimi al Mar Tirreno) e nel settore adriatico.

In base alla mappa della zonazione sismogenetica ZS9 di figura 1 redatta dall'INGV (2004) nell'Appennino Meridionale sono state individuate due aree:

-La prima caratterizzata dal massimo rilascio di energia legata ai processi distensivi che hanno interessato l'Appennino Meridionale a partire da 0,7 Ma circa. Tali aree coincidono con il settore assiale della catena. Per queste aree il meccanismo di fagliazione più diffuso è del tipo faglia diretta (in prevalenza sistemi di faglie ad andamento NW-SE), la magnitudo degli eventi sismici non è inferiore a 5 e la profondità epicentrale è compresa tra 8-12 km. I settori occidentali dei bacini del Bradano, Basento; dell'Agri, del Sinni ed il settore orientale del bacino del Noce ricadono in questo tipo di zona sismogenetica;

-La seconda area caratterizzata dal rilascio di energia imputabile a meccanismi di

fogliazione tipici delle faglie trascorrenti. La magnitudo non è inferiore a 5 e la profondità degli epicentri oscilla tra i 12 e 20 km. Queste zone sismogenetiche sono connesse a lineamenti tettonici ad andamento W-E.

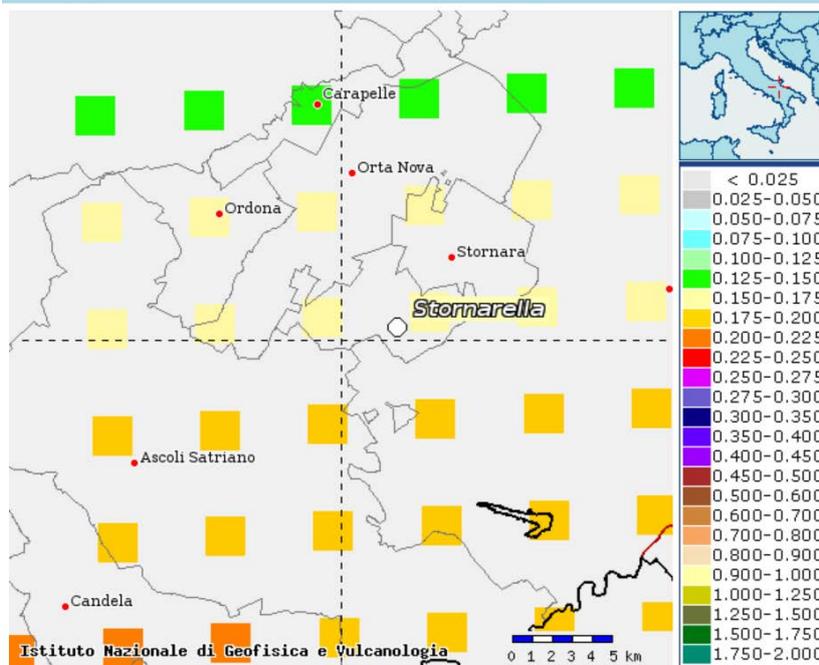
## 5.2. Inquadramento sismico dell'area

Le opere in progetto si trovano nei pressi di Stornarella, ubicato in provincia di Foggia.

Il comune è inserito in zona sismica 2, a cui corrisponde un'accelerazione orizzontale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico compresa tra 0,15 e 0,25 ag/g.

I calcoli sismici sono stati eseguiti come da normativa utilizzando il quadrante di riferimento rispetto all'ubicazione del sito, che come osservabile nella figura sottostante, indica per il sito valori nel range 0,175-0,2 ag/g

### Mappe interattive di pericolosità



Selezione mappa

<input checked="" type="checkbox"/>	Visualizza punti della griglia riferiti a:	Parametro dello scuotimento:	Probabilità in 50 anni:	Percentile:	Periodo spettrale (sec):
<input type="checkbox"/>	Ridisegna mappa	a(g) ▾	10% ▾	50 ▾	▾

Mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale espressa in termini accelerazione massima al suolo con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni riferita a suoli molto rigidi (Ordinanza 3519-06)

### 5.3. Zonazione Sismogenetica

L'area si trova su di una sorgente sismogenetica composta denominata Castelluccio dei Sauri-Trani (ITCS004)

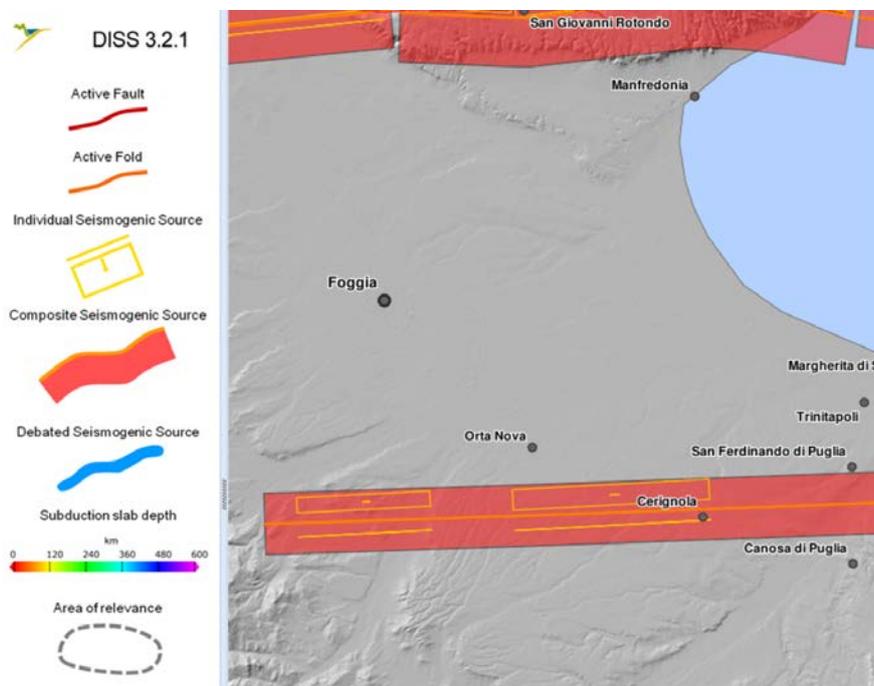
Questa sorgente composta si trova a cavallo della piana meridionale della Capitanata, attraverso la bassa valle dell'Ofanto R. a sud della città di Foggia, e appartiene al sistema di scivolamento obliquo-laterale destro che interessa l'avamposto dell'Adriatico centrale e meridionale.

Questa fonte è quasi verticale, con immersione a N, tagliata a est dell'asse estensionale principale dell'Appennino meridionale.

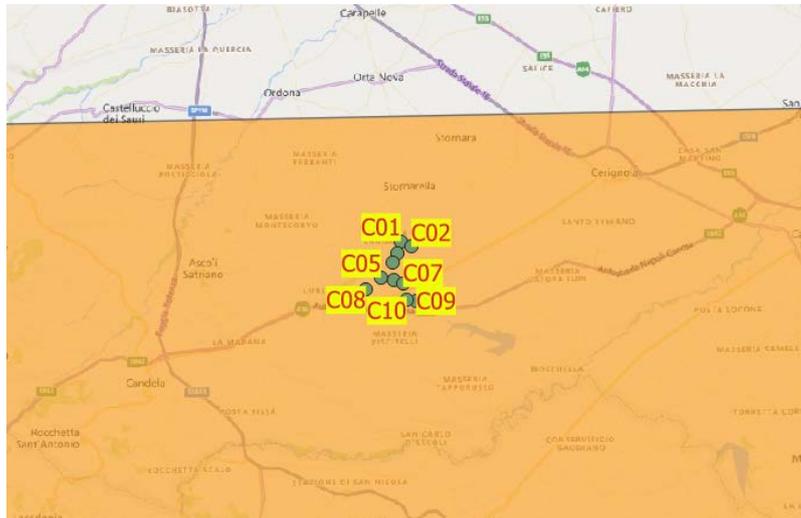
Cataloghi storici e strumentali (Boschi et al., 2000; Gruppo di Lavoro CPTI, 2004; Pondrelli et al., 2006; Guidoboni et al., 2007) mostrano una scarsa sismicità da intermedia a dannosa in questa regione, ma anche tre terremoti distruttivi (elencati da ovest a est): 17 luglio 1361 (Mw 6.1, Ascoli Satriano), 20 marzo 1731 (Mw 6.3, Foggiano) e 11 maggio 1560 (Mw 5.7, Barletta-Bisceglie).

Si pensa che questa sorgente sia un sistema di faglie E-O profondo, una parte del meccanismo tettonico che sembra caratterizzare l'intero dominio sismogenico a est della spina dorsale dell'Appennino meridionale, e forse anche di quelli centrali.

Si pensa che il settore orientale di questa sorgente abbia causato il terremoto del 1560, mentre quello centrale potrebbe aver causato l'evento distruttivo del 1731, mentre quello occidentale avrebbe causato il complesso terremoto del 1361.



Zona sismogenetica di riferimento passante per Cerignola e l'area di studio



Dettaglio con ubicazione aereogeneratori della Zonazione sismogenetica.

#### 5.4. Sismicità storica e pericolosità sismica del territorio Comunale

Di seguito sono descritti gli eventi principali che dal XVII secolo hanno avuto effetti macrosismici significativi nell'area di studio.

L'area di interesse è stata storicamente interessata da sismi anche di media - forte intensità.

Il database macrosismico, utilizzato nel 2004 per la compilazione del catalogo CPTI04 (Gruppo di lavoro CPTI, 2004), permette di visionare la storia sismica delle località italiane presenti almeno tre volte in DBMI04 (5325 località in totale). Le informazioni contenute nel database hanno consentito una prima individuazione dei "centri sismici" rilevanti per il sito in esame e delle relative potenzialità in termini di intensità epicentrali storicamente documentate.

Dalla consultazione del Database Macrosismico Italiano 2015 dell'INGV (DBMI15), sono stati individuati i terremoti storici registrati nel territorio di Stornarella, riportati di seguito.

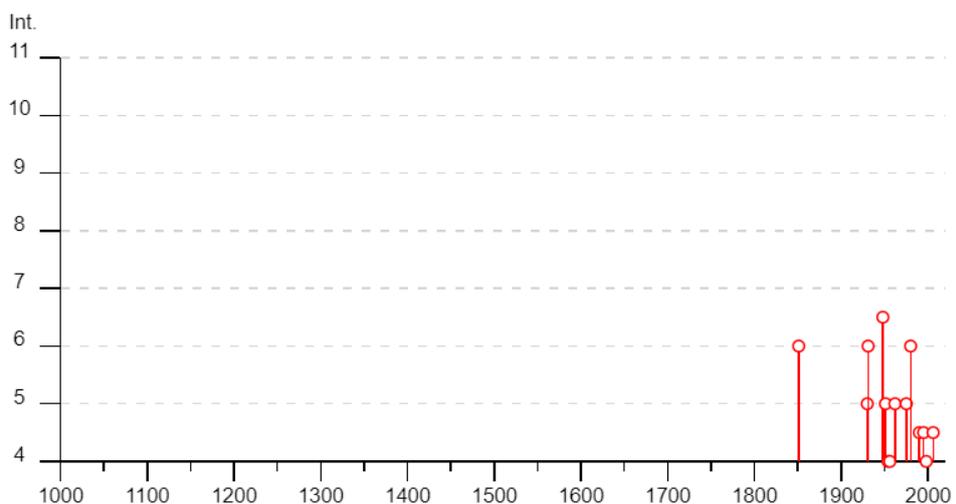


Grafico con i principali sismi avvenuti dal 1850 Loc. Stornarella

## Stornarella



PlaceID IT\_62248  
 Coordinates (lat, lon) 41.256, 15.731  
 Municipality (ISTAT 2015) Stornarella  
 Province Foggia  
 Region Puglia  
 No. of reported earthquakes 22

Effects	Reported earthquakes									
Int.	Year	Mo	Da	Ho	Mi	Se	Epicentral area	NMDP	Io	Mw
6	1851	08	14	13	20		Vulture	103	10	6.52
NF	1893	08	10	20	52		Gargano	69	8	5.39
NF	1913	10	04	18	26		Molise	205	7-8	5.35
5	1930	07	23	00	08		Irpinia	547	10	6.67
6	1931	12	03	09	32		Tavoliere delle Puglie	12	6	4.59
6-7	1948	08	18	21	12	2	Gargano	58	7-8	5.55
5	1951	01	16	01	11		Gargano	73	7	5.22
4	1954	10	26	02	25		Gargano	8	4-5	4.72
NF	1955	02	09	10	06		Gargano	31	6-7	5.05
4	1956	09	22	03	19	3	Gargano	57	6	4.64
5	1962	08	21	18	19		Irpinia	562	9	6.15
5	1975	06	19	10	11		Gargano	61	6	5.02
6	1980	11	23	18	34	5	Irpinia-Basilicata	1394	10	6.81
4-5	1990	05	05	07	21	2	Potentino	1375		5.77
3	1991	05	26	12	25	5	Potentino	597	7	5.08
NF	1992	11	05	13	34	2	Gargano	32	5	4.34
4-5	1995	09	30	10	14	3	Gargano	145	6	5.15
3	1996	04	03	13	04	3	Irpinia	557	6	4.90
4	1998	04	07	21	36	5	Valle dell'Ofanto	45	5	4.31
3-4	2002	11	01	15	09	0	Molise	638	7	5.72
NF	2003	06	01	15	45	1	Molise	501	5	4.44
4-5	2006	05	29	02	20	0	Gargano	384		4.64

Tabella con i principali sismi avvenuti dal 1850

## 6. SISMICITÀ DELL'AREA E MICROZONIZZAZIONE SISMICA

### 6.1. Premessa

Di seguito viene fornito un inquadramento generale sulla classificazione sismica dell'area in esame nel rispetto delle disposizioni delle Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni del Decreto Ministeriale del 17/01/2018.

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 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

$F_0$  = 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, grazie alla quale 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 dedicato si ricavano gli spettri di risposta elastica delle componenti orizzontali di moto, per i diversi periodi di ritorno considerati dal D.M. Microzonazione 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).

## 6.2. 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

Valori massimi del coeff. di amplificazione topografica (tabella 3.2.IV della N.T.C.):

## 6.3. Categorie di suolo di fondazione

Le nuove Norme Tecniche per le Costruzioni, ai fini della definizione della azione sismica di progetto, definiscono le seguenti categorie di profilo stratigrafico del suolo di fondazione (le profondità si riferiscono al piano di posa delle fondazioni, i valori da utilizzare per  $V_s$ , NSPT e  $C_u$  sono valori medi):

Dai dati disponibili, derivati da indagini eseguite nelle immediate vicinanze, la categoria sismica del terreno prevalente è C

Categoria C -Depositi di sabbie e ghiaie mediamente addensate, o di argille di media consistenza, con spessori variabili da diverse decine fino a centinaia di metri, caratterizzati da valori di  $V_{s30}$  compresi tra 180 e 360 m/s ( $15 < NSPT < 50$ ,  $70 < C_u < 250kPa$ ).

## 7. ANALISI SISMICA

### 7.1. Introduzione

Per quanto riguarda gli aspetti sismici la Normativa prende atto della classificazione fornita in prima approssimazione dalla O.P.C.M. N. 3274/03 ed impone l'obbligo della progettazione antisismica per i comuni che ricadono nelle zone 2, 3 e 4 esclusivamente per gli edifici considerati strategici e/o rilevanti di uso pubblico.

Per quanto riguarda i Comuni nel territorio dei quali ricadono le torri in progetto i Comuni di Cerignola e Ascoli Satriano sono classificati di Categoria 2.

Si segnala anticipatamente che i dati elencati sono stati stimati su base bibliografica, e come tali sono validi solo per una valutazione di progettazione preliminare, come d'altra parte tutti i contenuti e le indicazioni del presente documento. Per una valutazione propedeutica ad una progettazione esecutiva si

ritiene indispensabile l'esecuzione di una serie di prove in sito, utili alla determinazione precisa e reale dei parametri da utilizzare in corso di progettazione costruttiva. La tipologia, il numero e l'ubicazione delle prove necessarie saranno oggetto di specifica progettazione da parte del Progettista incaricato.

Per garantire anche in questo caso una rapida consultazione dei dati stimati gli stessi verranno editati in schede che conterranno una parte generale su base comunale ed una parte di dettaglio relativa alle torri.

Per quanto riguarda invece le N.T.C. 2018 gli edifici e le strutture vengono suddivisi in 4 categorie al § 2.4.3 come nel caso precedente. La classificazione delle N.T.C. riveste importanza, per quanto concerne la valutazione sismica, in quanto la stessa fa esplicito riferimento a dette classificazioni per quanto riguarda il "livello di valutazione" da adoperare nella assegnazione dei parametri sismici.

## 7.2. Determinazione dei parametri sismici

Date le considerazioni sopra effettuate a questo punto si può procedere con la valutazione dei parametri da applicare. Il calcolo va effettuato su base normativa e sarà finalizzato a fornire al Signor Progettista informazioni il più complete possibile sui parametri sismici da applicare in sede di progetto. La categoria sismica di appartenenza dei terreni di fondazione è definita di tipo "C" sia sulla base della stratigrafia, sia come confronto con le prove DPSH sopra citate. Qui di seguito si allegano i tabulati relativi al calcolo dei vari parametri eseguiti con software specifico.

## 7.3. Pericolosità sismica di sito

Vita nominale (Vn): 50 [anni]  
 Classe d'uso: IV  
 Coefficiente d'uso (Cu): 2  
 Periodo di riferimento (Vr): 100 [anni]  
 Periodo di ritorno (Tr) SLO: 60 [anni]  
 Periodo di ritorno (Tr) SLD: 101 [anni]  
 Periodo di ritorno (Tr) SLV: 949 [anni]  
 Periodo di ritorno (Tr) SLC: 1950 [anni]

Tipo di interpolazione: Media ponderata

Coefficiente di smorzamento viscoso  $\xi$ : 5 %

Fattore di alterazione dello spettro elastico  $\eta = [10/(5+\xi)]^{(1/2)}$ : 1.000

Categoria sottosuolo: C

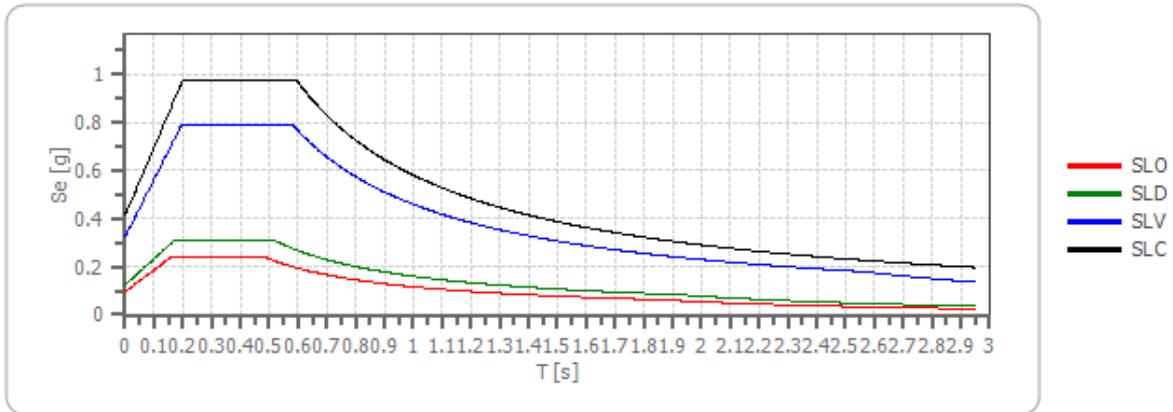
Categoria topografica: T1: Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media minore o uguale a 15°

### Stabilità di pendii e fondazioni

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0.019	0.025	0.091	0.116
kv	0.010	0.012	0.046	0.058
amax [m/s <sup>2</sup> ]	0.939	1.221	3.188	4.061
Beta	0.200	0.200	0.280	0.280

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

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



	cu	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	S [-]	η [-]	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [g]	Se(TB) [g]
SL O	2. 0	0.06 4	2.51 5	0.31 3	1.50 0	1.54 0	1.00 0	1.50 0	1.00 0	0.16 1	0.48 2	1.85 5	0.09 6	0.241
SLD	2. 0	0.08 3	2.49 5	0.34 6	1.50 0	1.49 0	1.00 0	1.50 0	1.00 0	0.17 2	0.51 6	1.93 2	0.12 4	0.310
SLV	2. 0	0.24 1	2.42 0	0.41 7	1.35 0	1.40 0	1.00 0	1.35 0	1.00 0	0.19 5	0.58 4	2.56 3	0.32 5	0.787
SLC	2. 0	0.33 7	2.35 0	0.42 9	1.23 0	1.39 0	1.00 0	1.23 0	1.00 0	0.19 9	0.59 6	2.94 7	0.41 4	0.973

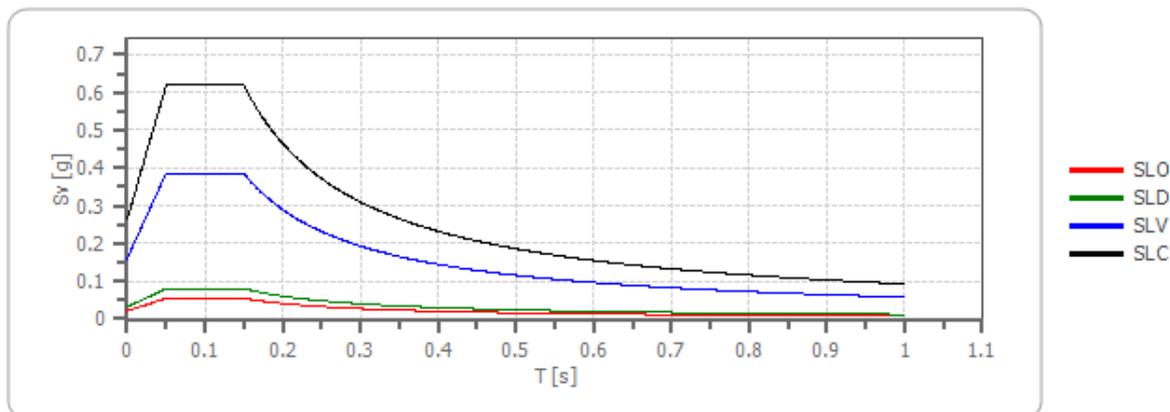
**Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti verticali**

Coefficiente di smorzamento viscoso ξ:

5 %

Fattore di alterazione dello spettro elastico  $\eta = [10/(5+\xi)]^{(1/2)}$ : 1.000

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



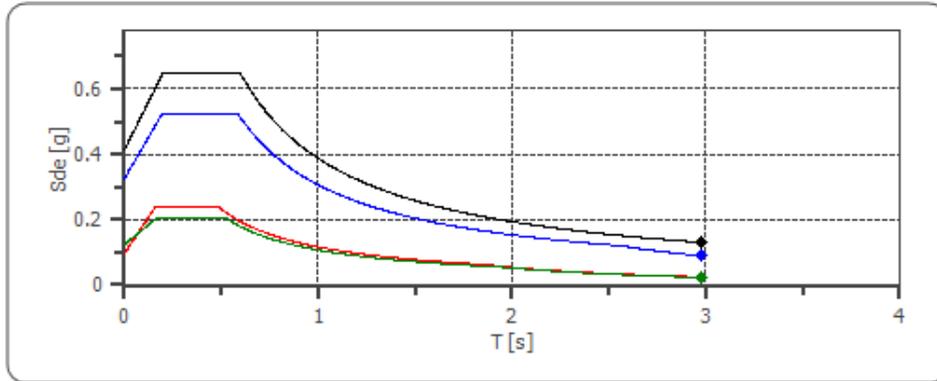
	cu	ag	FO	Tc*	Ss	Cc	St	S	$\eta$	TB	TC	TD	Se(O)	Se(TB)
		[g]	[-]	[s]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[s]	[s]	[s]	[g]	[g]
SLO	2.0	0.064	2.515	0.313	1	1.540	1.000	1.000	1.000	0.050	0.150	1.000	0.022	0.055
SLD	2.0	0.083	2.495	0.346	1	1.490	1.000	1.000	1.000	0.050	0.150	1.000	0.032	0.080
SLV	2.0	0.241	2.420	0.417	1	1.400	1.000	1.000	1.000	0.050	0.150	1.000	0.160	0.386
SLC	2.0	0.337	2.350	0.429	1	1.390	1.000	1.000	1.000	0.050	0.150	1.000	0.264	0.620

### Spettro di progetto

Fattore di struttura spettro orizzontale  $q$ : 1.50  
 Fattore di struttura spettro verticale  $q$ : 1.50  
 Periodo fondamentale  $T$ : 2.98 [s]

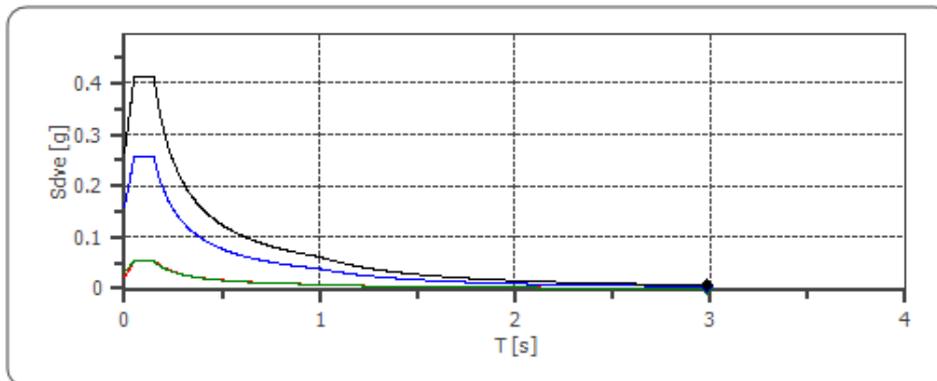
	SLO	SLD	SLV	SLC
$k_{hi} = S_{de}(T)$ Orizzontale [g]	0.024	0.023	0.088	0.128
$k_v = S_{dve}(T)$ Verticale [g]	0.001	0.001	0.004	0.007

### Spettro di progetto delle componenti orizzontali



- SLO
- SLD
- SLV
- SLC
- ◆ Khi SLO 0.024
- ◆ Khi SLD 0.023
- ◆ Khi SLV 0.088
- ◆ Khi SLC 0.128

### Spettro di progetto delle componenti verticali



- SLO
- SLD
- SLV
- SLC
- ◆ Kv SLO 0.001
- ◆ Kv SLD 0.001
- ◆ Kv SLV 0.004
- ◆ Kv SLC 0.007

	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	2.0	0.064	2.515	0.313	1.500	1.540	1.000	1.500	1.000	0.161	0.482	1.855	0.096	0.241
SLO verticale	2.0	0.064	2.515	0.313	1.500	1.540	1.000	1.000	1.000	0.050	0.150	1.000	0.022	0.055
SLD orizzontale	2.0	0.083	2.495	0.346	1.500	1.490	1.000	1.500	1.500	0.172	0.516	1.932	0.124	0.207
SLD verticale	2.0	0.083	2.495	0.346	1.500	1.490	1.000	1.000	1.500	0.050	0.150	1.000	0.032	0.054
SLV orizzontale	2.0	0.241	2.420	0.417	1.350	1.400	1.000	1.350	1.500	0.195	0.584	2.563	0.325	0.524
SLV	2.0	0.241	2.420	0.417	1.350	1.400	1.000	1.000	1.500	0.050	0.150	1.000	0.160	0.257

verticale	0	1	0	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SLC orizzontale	2. 0	0.33 7	2.35 0	0.42 9	1.23 0	1.39 0	1.00 0	1.23 0	1.50 0	0.19 9	0.59 6	2.94 7	0.41 4	0.649
SLC verticale	2. 0	0.33 7	2.35 0	0.42 9	1.23 0	1.39 0	1.00 0	1.00 0	1.50 0	0.05 0	0.15 0	1.00 0	0.26 4	0.413

## 8. VERIFICA DI CAPACITÀ PORTANTE DEL PALO

### 8.1. CONSIDERAZIONI SULLA PORTANZA DELLE FONDAZIONI

E' stata condotta una stima della portanza a rottura del terreno di fondazione, proposta di seguito.

In mancanza di dati puntuali, sono stati usati parametri geotecnici da letteratura.

A scopo cautelativo, sono stati considerati i parametri medi minori per ciascuna litozona.

### 8.2. DETERMINAZIONE PORTATA ASSIALE PALO

#### Dati generali...

Diametro punta	1.20 m
Lunghezza	29.00 m
Tipo	Trivellato
Sporgenza dal terreno	0.50 m
Densità relativa strato punta palo	80.00
Portanza di punta calcolata con:	Vesic
Profondità falda da piano campagna	8.00 m
Calcestruzzo tipo	2
Acciaio tipo	1

#### SISMA

Accelerazione sismica	0.096
Coefficiente di intensità sismico [Kh]	0.0193
Coefficiente di intensità sismico [Kv]	0.0096

#### Coefficienti sismici [N.T.C.]

#### Dati generali

Tipo opera:	2 - Opere ordinarie
Classe d'uso:	Classe IV
Vita nominale:	50.0 [anni]
Vita di riferimento:	100.0 [anni]

#### Parametri sismici su sito di riferimento

Categoria sottosuolo:	C
Categoria topografica:	T1

S.L. Stato limite	TR Tempo ritorno [anni]	ag [m/s <sup>2</sup> ]	F0 [-]	TC* [sec]
S.L.O.	60.0	0.63	2.52	0.31
S.L.D.	101.0	0.81	2.5	0.35
S.L.V.	949.0	2.36	2.42	0.42
S.L.C.	1950.0	3.3	2.35	0.43

**Coefficienti sismici orizzontali e verticali**

Opera: Stabilità dei pendii e Fondazioni

S.L. Stato limite	amax [m/s <sup>2</sup> ]	beta [-]	kh [-]	kv [sec]
S.L.O.	0.945	0.2	0.0193	0.0096
S.L.D.	1.215	0.2	0.0248	0.0124
S.L.V.	3.1873	0.28	0.091	0.0455
S.L.C.	4.0441	0.28	0.1155	0.0577

**Archivio materiali**

**Conglomerati**

Nr.	Classe Calcestruzzo	fck,cubi [MPa]	Ec [MPa]	fck [MPa]	fcd [MPa]	fctd [MPa]	fctm [MPa]
1	C20/25	25	29960	20	11.33	1.01	2.21
2	C25/30	30	31475	25	14.16	1.14	2.56
3	C28/35	35	32308	28	15.86	1.26	2.76
4	C40/50	50	35220	40	22.66	1.63	3.5

**Acciai:**

Nr.	Classe Acciaio	Es [MPa]	fyk [MPa]	fyd [MPa]	ftk [MPa]	ftd [MPa]	ep_tk	epd_ult	β1*β2 in.	β1*β2 fin.
1	B450C	200000	450	391.3	450	391.3	.075	.0675	1	0.5
2	B450C*	200000	450	391.3	540	450	.05	.04	1	0.5
3	S235H	210000	235	204.35	360	204.35	0.05	0.04	1	0.5
4	S275H	210000	275	239.13	430	239.13	0.05	0.04	1	0.5
5	S355H	210000	355	308.7	510	308.7	0.05	0.04	1	0.5

**Stratigrafia**

Nr.: Numero dello strato. Hs: Spessore dello strato. Fi: Angolo di attrito. c: Coesione Alfa: Coefficiente adesione attrito laterale. Vs: Velocità onde di taglio.

**Strat. 2**

Nr.	Hs	Peso unità di Volume [kN/m <sup>3</sup> ]	Peso Unità di volume Saturo [kN/m <sup>3</sup> ]	c [kN/m <sup>2</sup> ]	Fi (°)	Attrito negativo	Alfa	Modulo elastico [MN/m <sup>2</sup> ]	Vs [m/s]	Descrizione litologica
1	22.00	18.71	18.71	36.00	22.50	No	0.95	735.00	345	
2	7.00	18.63	18.63	33.00	27.00	No	0.45	731.00	450	

**Strat. Nr. 2**

**Carico limite**

Stratigrafia	Nq	Nc	Fi/C strato punta Palo (°)/[kN/m <sup>2</sup> ]	Peso palo [kN]	Carico limite punta [kN]	Carico limite laterale [kN]	Carico limite [kN]	Attrito negativo [kN]	Carico limite orizzontale [kN]
A1+M1+R3	18.14	42.42	22/33.00	852.75	12703.53	9322.72	21173.50	--	518.71 [Lungo]

Corto si rompe il terreno senza che la sezione si plasticizzi. Medio si rompe la sezione in c.a. prima del terreno (una sola cerniera plastica). Lungo si rompe la sezione in c.a. prima del terreno (due cerniere plastiche).

**RESISTENZA DI PROGETTO CARICHI ASSIALI**

Resistenza caratteristica carichi assiali. Nome combinazione:

A1+M1+R3

Numero verticali di indagine 1  
 Fattore correlazione verticale indagate media (xi3) 1.70  
 Fattore correlazione verticale indagate minima (xi4) 1.70

	Rc, Min [kN]	Rc, Media [kN]	Rc, Max [kN]
Base	12703.53	12703.53	12703.53
Laterale	9322.72	9322.72	9322.72
Totale	21173.50	21173.50	21173.50

Coefficiente parziale resistenza caratteristica R3  
 Base 1.35  
 Laterale 1.15  
 Resistenza di progetto base 5535.31 kN  
 Resistenza di progetto laterale 4768.65 kN  
 Resistenza di progetto 9451.21 kN

### Resistenza di progetto carichi trasversali

Resistenza caratteristica carichi assiali. Nome combinazione A1+M1+R3

Numero verticali di indagine 1  
 Fattore correlazione verticale indagate media (xi3) 1.70  
 Fattore correlazione verticale indagate minima (xi4) 1.70  
 Momento plasticizzazione 643.40 kNm

Rc, Min [kN]	Rc, Media [kN]	Rc, Max [kN]
518.7118	518.7118	518.7118

Coefficiente parziale resistenza caratteristica 1.3  
 Resistenza di progetto 234.71 kN

### Cedimento (Fleming 1992)

Lunghezza 29.50 m  
 Diametro testa 1.20 m  
 Diametro punta 1.20 m  
 Tratto attrito laterale nullo 0.00 m  
 Modulo elastico sezione 3.15E+07 kN/mq  
 Punto di applicazione risultante resistenza attiva 0.45  
 Fattore flessibilità terreno/palo 1.00E-03  
 Carico applicato 3700.00 kN  
 Carico limite laterale 8644.62 kN  
 Carico limite di punta 18166.43 kN  
 Modulo elastico terreno corrispondente 1.47E+03 kN/mq  
 Accorciamento elastico 1.38 mm  
 Cedimento rigido 0.90 mm  
 Cedimento totale 2.28 mm

**ARMATURE**

Nodo	Z [m]	Nd [kN]	Md [kNm]	Td [kN]	Nr. Barre Diametro	Nu [kN]	Mu [kNm]	Cond. Verifica Flessione	Ver. Presso-Flessione	Def.Ma x Cls	Def.Ma x Fe	Asse Neutro [cm]	Passo Staffe [cm]	Res. Taglio [kN]	Sicurezza a taglio	Cond. Verifica Taglio
1	0	--	--	--	17Ø16	-0.01	485.13	4946.91	Verificata	5.25E-04	-1.96E-03	34.62	--		101.97	Verificata
2	0.25	7.35	--	--	17Ø16	7.35	488.27	4978.84	Verificata	5.28E-04	-1.96E-03	34.49	--		101.97	Verificata
3	0.5	14.70	--	--	17Ø16	14.71	491.40	5010.79	Verificata	5.31E-04	-1.96E-03	34.37	--		101.97	Verificata
4	4.64	136.52	--	--	17Ø16	136.52	542.68	5533.67	Verificata	5.84E-04	-1.96E-03	32.42	--		101.97	Verificata
5	8.79	258.35	--	--	17Ø16	258.36	592.94	6046.25	Verificata	6.33E-04	-1.96E-03	30.66	--		101.97	Verificata
6	12.93	380.17	--	--	17Ø16	380.17	642.23	6548.83	Verificata	6.80E-04	-1.96E-03	29.04	--		101.97	Verificata
7	17.07	501.99	--	--	17Ø16	502.00	690.61	7042.12	Verificata	7.25E-04	-1.96E-03	27.55	--		101.97	Verificata
8	21.21	623.81	--	--	17Ø16	623.82	738.11	7526.46	Verificata	7.68E-04	-1.96E-03	26.16	--		101.97	Verificata
9	25.36	745.63	--	--	17Ø16	745.64	784.76	8002.15	Verificata	8.10E-04	-1.96E-03	24.85	--		101.97	Verificata
10	29.57	867.46	--	--	17Ø16	867.46	830.60	8469.64	Verificata	8.51E-04	-1.96E-03	23.62	--		101.97	Verificata

**9. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE**

L'impianto in progetto si sviluppa su un'area caratterizzata dal punto di vista morfologico da un altopiano a debole pendenza in direzione Nord/Est a quote comprese tra i 320 ed i 180 m solcato da una serie di rii a regime tipicamente torrentizio il cui reticolato risulta fortemente orientato con asse principale Nord/Est.

Da un punto di vista litologico l'area è caratterizzata da un substrato roccioso estremamente regolare a luoghi ricoperto da una coltre detritica eluviale di esiguo spessore costituito da conglomerati da litoidi a litici di varia competenza al di sotto dei quali si individua la presenza di litotipi arenaceo sabbiosi.

Qui di seguito si riporta la stratigrafia tipo dell'area, valida, allo stato attuale delle indagini, per tutti i siti d'intervento:

da 00,00 a 1,00 – TERRENO VEGETALE – costituito da sabbia e limo con rara ghiaia eterometrica Ø max 2-4 cm, poligenica arrotondata, da asciutto a debolmente umido;

da 01,00 a 05,00 – COPERTURA ELUVIO-COLLUVIALE - *sabbia media e grossa debolmente limosa e ghiaia eterometrica, poligenica ad addensamento e grado di umidità molto variabile;*

da 05,00 a 22,00 – CONGLOMERATI DI ORDONA (ODN) *Conglomerati clasto sostenuti a matrice sabbiosa massivi, a stratificazione orizzontale ed obliqua, caratterizzati da frequenti lenti sabbiose a stratificazione piano parallela o incrociata. Presenza di sottili strati di sabbia limosa e di livelli di arenaria;*

da 22,00 a 30,00 – SABBIE DI MONTE MARANO (SMN)– sabbie limose e limi sabbioso argillosi da nocciola a grigio azzurri.

Quella sopra descritta è da intendersi come stratigrafia di riferimento, valida per

tutte le opere in progetto e rappresenta una situazione media soprattutto in termini di spessore dello strato di copertura eluvio-colluviale.

Sempre per brevità di illustrazione qui di seguito si riportano i principali parametri geotecnici, strato per strato, stimati su base bibliografica

Parametro	Simbolo	u.m.	ELUVIUM	ODN	FMM
Peso di volume	" $\gamma$ "	[Ton/m <sup>3</sup> ]	17,65	18,71	18,63
Angolo di attrito	" $\phi$ "	[°]	29 da biblio	22,5 -/- 38 da S.P.T.	27-/-45 da S.P.T.
Coesione efficace	"c"	[Kg/cm <sup>2</sup> ]	0,0	0,37	0,34
Modulo di confinamento	"M"	[MPa]	32	28	41
Modulo di Young	"E"	[MPa]	800	735	1.250
Modulo di taglio	"G"	[MPa]	650	255	731
Densità relativa	"Dr"	[%]	58	64	77
Coeff. di Poisson	" $\nu$ "	[-]	0.42	0.44	0.43
Parametro	Simbolo	u.m.	ELUVIUM	ODN	FMM
Coeff. di Winkler	"K <sub>w</sub> "	[Kg/cm <sup>3</sup> ]	12	20	25
Coeff. di Winkler (da densità relativa, pali 120 cm)	"K <sub>h</sub> "	[Kg/cm <sup>3</sup> ]		28.18	63.25
Velocità onde compressione	"V <sub>p</sub> "	[m/sec]	1.000	1.240	1.485
Velocità onde di taglio	"V <sub>s</sub> "	[m/sec]	300	345	450

Da un punto di vista della normativa sismica il terreno di fondazione è da considerarsi di Classe "C".

Si tenga presente che quanto sopra è stato ricavato principalmente da dati bibliografici oltre tutto alla grande scala, pertanto per livelli di progettazione definitiva e esecutiva sono assolutamente necessarie indagini sito specifiche di verifica, adeguatamente pensate e progettate e che quanto illustrato è valido per i siti su cui si ubicano le torri, diventa molto più indicativo per quanto concerne eventuali opere necessarie per la realizzazioni di accessi, opere a servizio o viabilità.

In base ai dati utilizzati, provenienti da letteratura ma acquisiti in adiacenza dell'area negli stessi materiali, l'opera risulta compatibile con la classe di rischio in cui ricade

Tenuto presente quanto sopra espresso non ci sono (allo stato attuale delle indagini) condizioni ostative alla realizzazione delle opere in progetto.