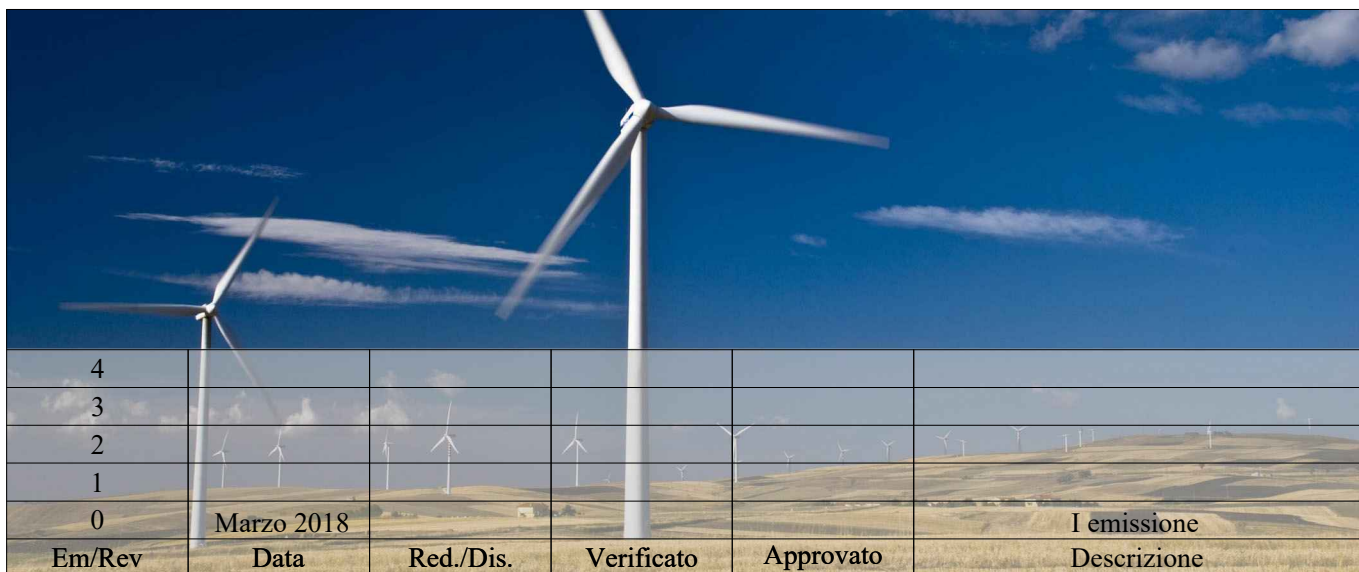


**COMUNE DI CERIGNOLA
PROVINCIA DI FOGGIA**

**PROGETTO DEFINITIVO
DI UN PARCO EOLICO
"CERIGNOLA VENETA NORD"**



Em/Rev	Data	Red./Dis.	Verificato	Approvato	I emissione Descrizione
4					
3					
2					
1					
0	Marzo 2018				



Redazione: SIT&A srl - Studio di Ingegneria Territorio e Ambiente
Sede legale: via C. Battisti n. 58 - 73100 LECCE - sito web: www.sitea.info e-mail: info@sitea.info

Sede operativa: O. Mazzitelli n. 264 - 70124 BARI Tel./Fax 080/9909280 e-mail: sedebari@sitea.info

Titolo:

RELAZIONE GEOTECNICA

All.:

02B

Identificatore:
PDALL02B

Committente:

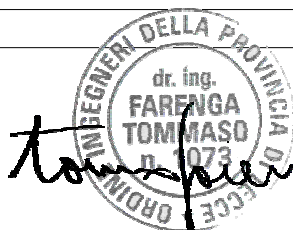
VENETA ENERGIA S.r.l.

con sede in Via I. Maggio n. 4 I - 31024 Ormelle (TV) P.I. 03954830281

Cod.:

F23-17

Progettazione:



SIT&A srl

Studio di Ingegneria Territorio e Ambiente
dott. ing. **Tommaso FARENGA**

Consulenze e collaborazioni:

geom. L. Caputo - geom. D. Ruggiero - ing. R. Iaccarino - ing. M. Marrazzo - arch. M.E. Di Giorgio - ing. G. Nuzzo

INDICE

1. PREMESSA.....	2
2. PERICOLOSITA' SISMICA	2
3. INDAGINI GEOGNOSTICHE E STRATIGRAFIA DI DETTAGLIO	10
4. Vs30 e PARAMETRI SISMICI DI RIFERIMENTO	17
5. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEL SOTTOSUOLO.....	24
6. CONCLUSIONI.....	26

1. PREMESSA

La presente costituisce la relazione geotecnica e geosismica del progetto per la realizzazione di un parco eolico ubicato a nord-ovest dell'abitato di Cerignola (FG), le cui opere e infrastrutture saranno tutte ubicate nel territorio di Cerignola.

2. PERICOLOSITA' SISMICA

L'area in esame viene individuata geograficamente dalle seguenti coordinate (cfr. Fig.1):

- latitudine 41,3959 - longitudine 15,8617 che rappresentano in linea di massima il baricentro del settore occidentale del parco eolico (AG C1-11, 13-20, 23, 24, 25, 34, 36);
- latitudine 41,3838 longitudine 15,9049 baricentro del settore orientale (AG C12-22, 26-32).

Nella maglia elementare della griglia della Mappa di pericolosità sismica, l'accelerazione orizzontale con probabilità di superamento del 10% in 50 anni, dell'area in esame a NO di Cerignola, è compresa tra 0,125 e 0,175 (ag/g suoli molto rigidi)..

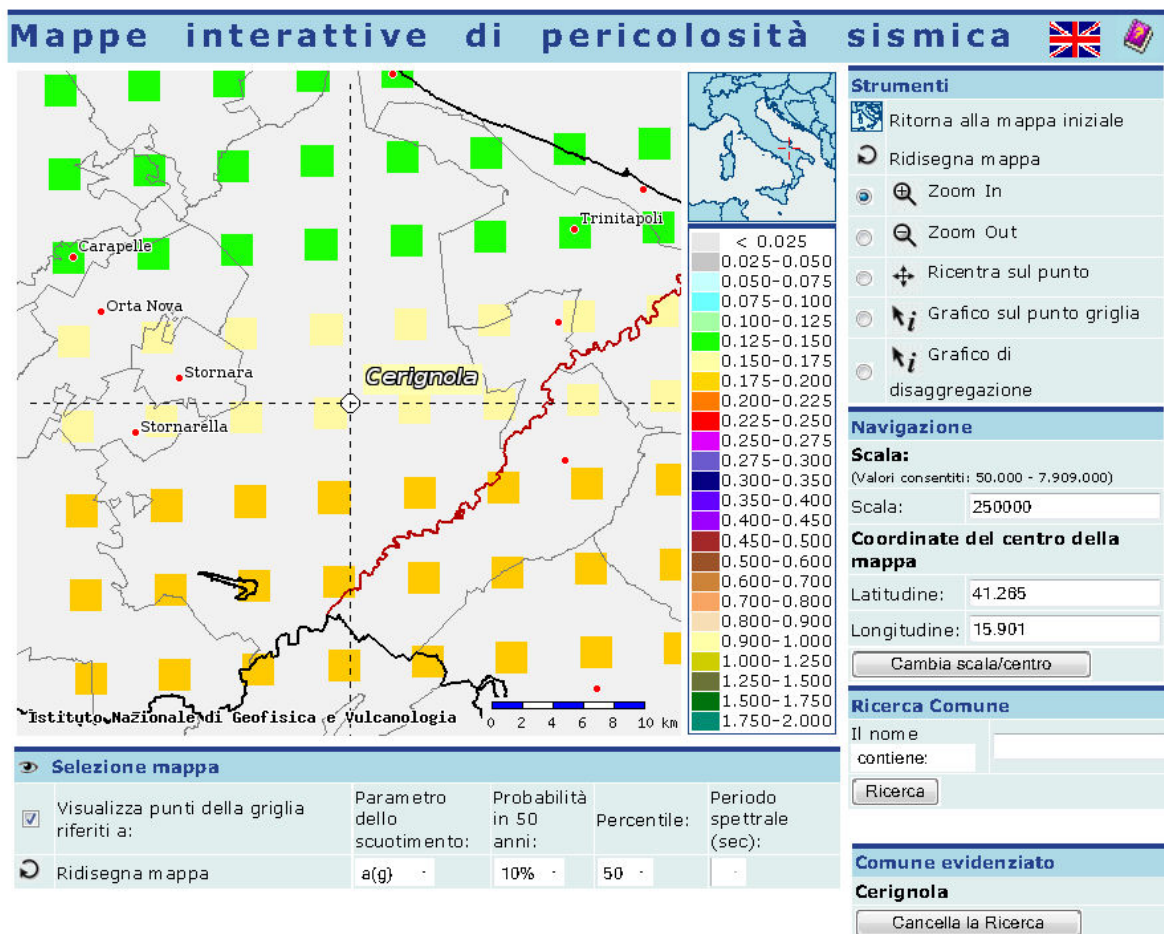


Fig. 1 – Mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale espressa in termini di accelerazione massima del suolo con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni riferita a suoli molto rigidi (Ordinanza 3519-06)

2.1 Azione sismica di progetto ai sensi del DM 14/01/08

Le azioni sismiche di progetto in base alle quali valutare il rispetto dei diversi stati limite, sia di esercizio che ultimi, si definiscono a partire dalla “pericolosità sismica di base” del sito di costruzione.

La pericolosità sismica di base è definita in termini di accelerazione orizzontale massima attesa a_g in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale (di categoria A), nonché di ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente $S_e(T)$, con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza P_{VR} nel periodo di riferimento V_R .

Per i due nodi del reticolo di riferimento, i parametri a_g , $F_o^{(1)}$, $T^*_C^{(2)}$ si ricavano riferendosi ai valori corrispondenti al 50esimo percentile ed attribuendo a:

- a_g il valore previsto dalla pericolosità sismica;
- F_o , T^*_C i valori ottenuti imponendo che le forme spettrali in accelerazione, velocità e spostamento previste dalle NTC-08 scartino al minimo dalle corrispondenti forme spettrali previste dalla *pericolosità sismica*.

Poiché le forme spettrali previste dalle NTC-08 sono caratterizzate da prescelte probabilità di superamento e vite di riferimento, occorre fissare:

- la vita di riferimento V_R della costruzione;
- la probabilità di superamento nella vita di riferimento P_{V_R} associata allo stato limite di salvaguardia della Vita (SLV), per individuare infine, a partire dai dati di *pericolosità sismica* disponibili, la corrispondente azione sismica.

Per quanto riguarda i valori dei parametri a_g , F_o , T^*_C che scaturiscono per il periodo di ritorno T_R associato allo stato limite SLV, i valori dei parametri a_g , F_o , T^*_C sono quelli mostrati nelle Tab.1÷3, in corrispondenza delle zone di riferimento degli aerogeneratori divise in tre gruppi (VN01÷VN04; VN05÷VN09; VN10÷VN12 e Stazioni di consegna).

⁽¹⁾ F_o valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale

⁽²⁾ T^*_C periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale

Tab.1 - CERIGNOLA Nord (AG VN01÷VN04)

Sito in esame.

latitudine: 41.396039
longitudine: 15.836911
Classe: 2
Vita nominale: 50

Siti di riferimento

Sito 1 ID: 30560	Lat: 41.4112Lon: 15.8237	Distanza: 2010.267
Sito 2 ID: 30561	Lat: 41.4098Lon: 15.8903	Distanza: 4710.474
Sito 3 ID: 30783	Lat: 41.3598Lon: 15.8885	Distanza: 5892.439
Sito 4 ID: 30782	Lat: 41.3612Lon: 15.8219	Distanza: 4072.923

Parametri sismici

Categoria sottosuolo: A
Categoria topografica: T1
Periodo di riferimento: 50anni
Coefficiente cu: 1

Salvaguardia della vita (SLV):

Probabilità di superamento: 10 %
Tr: 475 [anni]
ag: 0.132 g
Fo: 2.613
Tc*: 0.437 [s]

Tab.2 - CERIGNOLA Nord (AG VN05÷VN09)

Sito in esame.

latitudine: 41.3676371912311
longitudine: 15.833821167009
Classe: 2
Vita nominale: 50

Siti di riferimento

Sito 1 ID: 30782	Lat: 41.3612	Lon: 15.8219	Distanza: 1227.612
Sito 2 ID: 30783	Lat: 41.3598	Lon: 15.8885	Distanza: 4641.387
Sito 3 ID: 30561	Lat: 41.4098	Lon: 15.8903	Distanza: 6647.762
Sito 4 ID: 30560	Lat: 41.4112	Lon: 15.8237	Distanza: 4913.426

Parametri sismici

Categoria sottosuolo: A
Categoria topografica: T1
Periodo di riferimento: 50anni
Coefficiente cu: 1

Salvaguardia della vita (SLV):

Probabilità di superamento: 10 %
Tr: 475 [anni]
ag: 0.135 g
Fo: 2.608
Tc*: 0.437 [s]

Tab.3 - CERIGNOLA Nord (AG VN10÷VN12 e Stazioni)

Sito in esame.

latitudine: 41.3569421396977
 longitudine: 15.8730431253242
 Classe: 2
 Vita nominale: 50

Siti di riferimento

Sito 1 ID: 30782	Lat: 41.3612	Lon: 15.8219	Distanza: 4296.173
Sito 2 ID: 30783	Lat: 41.3598	Lon: 15.8885	Distanza: 1324.839
Sito 3 ID: 31005	Lat: 41.3098	Lon: 15.8866	Distanza: 5359.171
Sito 4 ID: 31004	Lat: 41.3112	Lon: 15.8201	Distanza: 6740.061

Parametri sismici

Categoria sottosuolo: A
 Categoria topografica: T1
 Periodo di riferimento: 50anni
 Coefficiente cu: 1

Salvaguardia della vita (SLV):

Probabilità di superamento: 10 %
 Tr: 475 [anni]
 ag: 0.140 g
 Fo: 2.586
 Tc*: 0.431 [s]

2.2 Risposta sismica locale

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, si rende necessario valutare l'effetto della risposta sismica locale mediante specifiche analisi.

Per la definizione dell'azione sismica si può fare riferimento ad un approccio semplificato, che si basa sull'individuazione di categorie di sottosuolo di riferimento, riportate di seguito.

La classificazione si effettua in base ai valori della velocità equivalente $V_{s,30}$ di propagazione delle onde di taglio entro i primi 30 metri di profondità. La velocità equivalente delle onde di taglio $V_{s,30}$ è definita dall'espressione:

$$V_{s,30} = 30/\Sigma (h_i/V_{s,i})$$

dove h_i e $V_{s,i}$ indicano lo spessore (in m) dello strato i -esimo compreso nei primi 30 metri di profondità e la velocità delle onde di taglio dello strato i -esimo (in m/sec).

Categoria	Descrizione
A	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m.
B	Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $NSPT_{,30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $cu_{,30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina).
C	Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < NSPT_{,30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < cu_{,30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina).
D	Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 180 m/s (ovvero $NSPT_{,30} < 15$ nei terreni a grana grossa e $cu_{,30} < 70$ kPa nei terreni a grana fina).
E	Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m, posti sul substrato di riferimento (con $V_s > 800$ m/s).
S1	Depositi di terreni caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 100 m/s (ovvero $10 < cu_{,30} < 20$ kPa), che includono uno strato di almeno 8 m di terreni a grana fina di bassa consistenza, oppure che includono almeno 3 m di torba o di argille altamente organiche
S2	Depositi di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti

Per le prime cinque categorie di sottosuolo, le azioni sismiche sono definite nel paragrafo seguente.

Per sottosuoli appartenenti alle categorie S1 ed S2 è necessario predisporre specifiche analisi per la definizione delle azioni sismiche, particolarmente nei casi in cui la presenza di terreni suscettibili di liquefazione e/o di argille d'elevata sensibilità possa comportare fenomeni di collasso del terreno.

Sulla base dei valori della velocità equivalente $V_{s,30}$ di propagazione delle onde di taglio entro i primi 30 metri di profondità emersi dalle indagini sismiche eseguite, la categoria di sottosuolo riferita alla quota del piano campagna attuale dell'area in esame è C (punto 3.2.2 Tab. 3.2.II del D.M. 14/01/2008), rispettivamente:

Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < NSPT_{,30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < c_{u,30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina).

2.3 Amplificazione stratigrafica

Per sottosuolo di categoria A, i coefficienti S_s e C_c valgono 1. Per le categorie di sottosuolo B, C, D ed E i coefficienti S_s e C_c possono essere calcolati in funzione dei valori di F_0 e T_c^* relativi al sottosuolo di categoria A, mediante le espressioni fornite nella tabella, nelle quali g è l'accelerazione di gravità ed il tempo è espresso in secondi.

Categoria sottosuolo	S_s	C_c
A	1,00	1,00
B	$1,00 \leq 1,40 - 0,40 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,20$	$1,10 \cdot (T_c^*)^{-0,20}$
C	$1,00 \leq 1,70 - 0,60 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,50$	$1,05 \cdot (T_c^*)^{-0,33}$
D	$0,90 \leq 2,40 - 1,50 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,80$	$1,25 \cdot (T_c^*)^{-0,50}$
E	$1,00 \leq 2,00 - 1,10 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,60$	$1,15 \cdot (T_c^*)^{-0,40}$

Per tener conto delle condizioni topografiche si utilizzano i valori del coefficiente topografico S_T riportati nella tabella seguente in funzione delle categorie topografiche e dell'ubicazione dell'opera o dell'intervento.

Categoria topografica ⁽³⁾	ubicazione dell'opera o dell'intervento	S_T
T1	-	1
T2	in corrispondenza della sommità del pendio	1,2
T3	in corrispondenza della cresta del rilievo	1,2
T4	in corrispondenza della cresta del rilievo	1,4

⁽³⁾ le categorie topografiche si riferiscono a configurazioni geometriche prevalentemente bidimensionali, creste o dorsali allungate, e devono essere considerate nella definizione dell'azione sismica se di altezza maggiore di 30 m

3. INDAGINI GEOGNOSTICHE E STRATIGRAFIA DI DETTAGLIO

Come detto in precedenza, il parco eolico è costituito da 12 aerogeneratori con relative opere annesse ed interconnessione alla rete di distribuzione.

Lo studio geotecnico viene redatto in ottemperanza alla Legge 2 febbraio 1974, n.64 “*Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche*” ed al D.M. 14/01/2008 “

Inoltre, viene redatto in conformità della disciplina del procedimento unico di autorizzazione con D.G.R. Regione Puglia n.3029/10 del 28 dicembre 2010, secondo quanto esplicitato all’art. 27 del D.P.R. n. 554/1999 e secondo il D.M. 18 settembre 2010 con cui il Ministero dello Sviluppo Economico approva le “*Linee Guida per l'autorizzazione degli impianti alimentati da fonti rinnovabili*”.

L’acquisizione dei dati geotecnici è stata ottenuta mediante una campagna di indagini, svolta con la finalità di ricostruire l’assetto litostratigrafico del sottosuolo e di definire la struttura ed i caratteri fisici dello stesso, che ha integrato i dati di superficie emersi dal rilievo geologico e geomorfologico di dettaglio.

Le indagini geognostiche sono consistite in:

località	Sondaggio a carotaggio continuo		Analisi di laboratorio	SPT	Down-Hole DH	
	Denominazione	profondità			denominazione	profondità
Mass.Palmieri	S1-DH1	30	2ind	2	1	30
Posta Cerina	S2-DH2	30	3ind	2	2	30

In particolare, le indagini indirette (indagini geofisiche) sono state eseguite per caratterizzare sismicamente il sottosuolo e definire, mediante la velocità media di propagazione entro 30 m di profondità (V_{s30}), la categoria di sottosuolo di riferimento per la definizione dell’azione sismica di progetto.

3.1 Campagna geognostica

Per definire il modello geologico e geotecnico dell'area è stata eseguita la seguente campagna di indagini:

- n. 2 (due) sondaggi a carotaggio continuo, della lunghezza di 30 ml, attrezzati con tubazione in pvc del diametro di 80 mm, di cui il primo (S1 di Tav.G1) ad ovest ed il secondo (S2 di Tav.G1) ad est;
- n. 4 (quattro) prove penetrometriche dinamiche tipo SPT;
- n. 5 prelievi di campioni indisturbati
- n. 5 prove geotecniche di laboratorio su campioni indisturbati (determinazione proprietà indici, limiti di atterberg, analisi granulometrica), Prova di taglio diretto CD;
- n. 2 (due) prove Down-Hole (DH1 e DH2) nei rispettivi fori di sondaggio S1 ed S2.

località	Sondaggio a carotaggio continuo		Analisi di laboratorio	SPT	Down-Hole DH1 e DH2	
	Denominazione	profondità			denominazione	profondità
Mass.Palmieri	S1	30	2ind	2	1	30
Posta Cerina	S2	30	3ind	2	2	30

Sondaggi geognostici

Le perforazioni sono state eseguite “a secco”, compatibilmente con le caratteristiche dei terreni attraversati con carotiere semplice e manovre di lunghezza tale da garantire il massimo recupero di materiale ed il minimo disturbo; il diametro del carotiere è stato di 101 mm. Le pareti del foro sono state rivestite con tubazione del diametro di 127 mm, atto cioè all'inserimento del carotiere (80 mm) per tutta la profondità del sondaggio.

Le “carote” estratte con le manovre di carotiere, sono state ordinatamente sistemate in apposite cassette catalogatrici munite di scomparti divisori e coperchio.

Le prove penetrometriche SPT, sono state eseguite con il campionatore standard a punta chiusa (conica). Le carote di terreno, man mano estratte dal carotiere, sono state conservate in cassette catalogatrici di plastica (ogni cassetta consente di conservare 5 spezzoni di un metro). I fori sono stati rivestiti con tubazione in PVC (diametro 80 mm) per le prove sismiche in foro.

Il sondaggio S1 (WTG84 UTM33N: 568282.33E, 4581041.68N) eseguito in località Mass. Palmieri, ha rilevato la seguente litostratigrafia:

metri	Unità geologica	descrizione
0-1,0		Terreno vegetale
1-8,7	RPL	Sabbie limose poco addensate con intercalazioni di argilla limose
8,7-16,5	STQ	Alternanza di strati sottili di conglomerato, sabbia fine e argille limose
16,5-23,0	STQ	Sabbie medie da poco a mediamente addensate e sabbie limoso argillose, con livello arenaceo da 22,60 a 23,00 m
23,0-30,0	STQ	Argille limose e limi sabbiosi di colore grigio azzurro

Il sondaggio S2 (WTG84 UTM33N: 577806.41E, 4581079.05N), eseguito in località Posta Cerina, ha rilevato la seguente litostratigrafia:

metri	Unità geologica	descrizione
0-1,0		Terreno vegetale
1,0-8,0	STQ	Sabbia limoso argillosa da poco a mediamente addensata
8,0-9,0	STQ	Conglomerato in matrice sabbioso-argillosa
9,0-27,8	STQ	Sabbie medie da poco a mediamente addensate e sabbie limoso argillose e intercalazioni di argille limose (da 24,00 a 25,00 m acqua)
27,8-30,0	STQ	Sabbie limose di colore grigio azzurro

LEGENDA

E3 - depositi palustri (Olocene) - sedimenti argilloso-sabbiosi di colore bruno nerastro con abbondante frazione organica

RPL - sintema del torrente Carapelle e Cervaro(Pleistocene sup.-Olocene) - sabbie limose con lenti ghiaiose di origine alluvionale; i depositi sono sopraelevati rispetto all'alveo del torrente Carapelle

STQ - Sabbie di Torre Quarto (Pleistocene medio) sabbie medie e fini di colore giallo ocra, generalmente poco cementate, con intercalazioni di arenarie, argille e limi

ODN - Conglomerato di Ortona (Pleistocene medio) - ghiaie di medie e grandi dimensioni, clasto sostenute, con intercalazioni di sabbie e arenarie

Prove SPT

Nei fori di sondaggio S1 ed S2 di Tav.G1 sono state effettuate prove penetrometriche dinamiche tipo S.P.T. (ASTM12-02-49a1586-67, ISSXIFE 1976) con campionatore tipo a punta conica, con dispositivo automatico dello sganciamento del maglio del peso di 63.5 kg ed altezza di caduta di 76 cm.

Le prove SPT sono state eseguite subito dopo il prelievo di campioni indisturbati. I risultati delle prove SPT, riportati sulle stratigrafie dei sondaggi, hanno fornito una valutazione della resistenza alla penetrazione, rilevando il numero colpi (N), necessari per la penetrazione di 3 tratti consecutivi, ciascuno di 15 cm.

Il valore di N_{SPT} , è stato ottenuto effettuando la somma dei colpi rilevati per il 2° e il 3° tratto. La prova è stata sospesa quando il numero dei colpi N, per un tratto di 15 cm, è risultato superiore a 50 (rifiuto).

	Unità geologica	Profondità (m)	N_{spt}	Valutazione della consistenza
S1	RPL	5.2	13	Moderatamente consistente
	STQ	19.0	23	Mediamente consistente
S2	STQ	6.0	33	Consistente

Bisogna tenere in adeguato conto che la punta conica sovrastima i valori di resistenza alla penetrazione.

Analisi geotecniche di laboratorio

Durante le operazioni di perforazione sono stati prelevati i campioni indisturbati da sottoporre a prove di laboratorio. Le prove di laboratorio sono state effettuate in ossequio alle normative vigenti (A.S.T.M., U.N.I., A.A.S.H.T.O, C.N.R. e B.S.) al fine di determinare le caratteristiche fisico-meccaniche dei terreni di fondazione delle torri.

Si riporta di seguito una tabella riassuntiva dei campioni analizzati.

Profondità prelievo in m	campioni	località	Unità geologiche
5,00-5,20	C1-S1	Mass. Palmieri	RPL
18,50-19,00	C2-S1		STQ
5,50-6,00	C1-S2	Posta Cerina	STQ
13,00-13,50	C2-S2		STQ
29,00-29,40	C3-S2		STQ

Per tutti i campioni sono state ricavate le proprietà indice e quelle fisiche, che hanno permesso una loro prima classificazione.

campioni	Unità geologica	peso di volume (kN/mc)	Contenuto d'acqua (%)	classificazione granulometrica - descrizione AGI -
Camp1-S1	RPL	18,09	23,21	Limo con ghiaia e argilla sabbioso
Camp2-S1	STQ	17,94	23,55	Argilla limosa ghiaiosa debolmente sabbiosa
Camp1-S2	STQ	17,64	34,11	Argilla con limo e sabbia debolmente ghiaiosa
Camp2-S2	STQ	18,58	22,40	Limo con argilla sabbioso
Camp3-S2	STQ	19,47	24,75	Limo con argilla e sabbia

Sono state eseguite prove di taglio diretto in condizioni drenate (CD) con una velocità di deformazione di 0,004 mm/min che ha consentito la dissipazione delle pressioni interstiziali.

I valori ricavati sono i seguenti:

campioni	Unità geologica	Angolo di attrito (°)	Coesione efficace (kN/mc)
Camp1-S1	RPL	28.60	29.06
Camp2-S1	STQ	11.73	42.40
Camp1-S2	STQ	28.51	27.65
Camp2-S2	STQ	19.42	27.47
Camp3-S2	STQ	27.25	25.04

3.2 Indagini geofisiche

È stata effettuata una campagna geofisica consistente in 2 Prove Sismiche in Foro del tipo Down-Hole, in onde P e S, siglate D.H.1-2 (Tav.G1), in altrettanti perfori (S1 ed S2) opportunamente attrezzati con tubazione in PVC da 80 mm e riempimento con ghiaietto calibrato dell'intercapedine, siglati rispettivamente, all'uopo attrezzati fino alla profondità utile di 30 m.

La finalità delle indagini sismiche è in primo luogo di rilevare l'andamento della sismostratigrafia del sottosuolo, ricercando le superfici di discontinuità fisica - rifrattori - ed in particolare quelle superfici che separano porzioni di ammasso roccioso o terroso con differente grado di densità e compattezza.

Dalla sismostratigrafia ottenuta e con l'ausilio dei rapporti fra le velocità delle onde P e S, è possibile ricavare lo spessore e le caratteristiche geomeccaniche (velocità delle onde elastiche, coefficiente di Poisson e moduli elastici dinamici) degli strati così riconosciuti, calcolare i valori di Rigidità Sismica dei singoli orizzonti al fine di valutare ad esempio l'amplificazione sismica locale o la suscettibilità

alla liquefazione di terreni saturi non coesivi e classificare i terreni alla luce della recente normativa sismica (Vs30).

La strumentazione utilizzata è del tipo a 12-24 canali, modello Echo12-24 (anno 2002, aggiornato a 24 canali nel 2004) della AMBROGEO interfacciato con un computer portatile, con acquisizione digitale, funzione di incremento multiplo del segnale, tempi di acquisizione compresi tra 25 e 1000 msec, filtri in ingresso compresi tra 0 e 950 Hz (per eliminare le frequenze indesiderate) e monitoraggio del noise ambientale in continuo.

Le onde di tipo P (longitudinali) sono state generate mediante ripetuti colpi di una mazza battente (da 8 Kg) su di un piattello metallico posto orizzontalmente sul terreno, mentre le onde di tipo S (trasversali) sono state generate mediante l'utilizzo di un dispositivo sperimentale costituito da una struttura in ferro e legno, con facce verticali su cui colpire con la mazza, e con delle alette verticali poste alla base che, infisse per alcuni centimetri nel terreno, trasmettono un impulso di "taglio" al sottosuolo (evoluzione della tecnica "francese").

La tecnica utilizzata è consistita nel calare la sonda geofonica nel tubo, posizionandola a diverse profondità (con passo di misura di 1-2 m); per ogni profondità sono stati registrati i sismogrammi relativi ai due tipi di onde P e S. La distanza del punto di battuta (sorgente) dall'asse del foro è stata fissata in 1.0 m e di ciò se ne è tenuto conto per la correzione dei tempi di primo arrivo.

I sismogrammi sperimentali, registrati sul disco fisso del computer portatile in campagna, sono stati letti, elaborati ed interpretati utilizzando un procedimento informatico basato sull'utilizzo di un programma della Interpex Limited (Firstpix). I tempi di primo arrivo delle onde P e S e le relative velocità intervallari e verticali così ottenuti (ogni metro) sono riportati nelle tabelle mostrate nelle pagine seguenti ("dati sperimentali"). Le velocità "intervallari" V_p e V_s si riferiscono alla velocità delle onde in ogni tratto di foro indagato; le velocità "verticali" V_p e V_s sono le velocità apparenti misurate dal piano campagna fino alla relativa profondità.

Correlando le risultanze delle prove sismiche in foro con quanto ottenuto dalle relative stratigrafie dei sondaggi meccanici a carotaggio continuo, è stato possibile definire un modello sismostratigrafico sintetico del sottosuolo per ciascuna postazione di sondaggio, tenendo conto pertanto sia delle litologie, sia dei valori di velocità delle onde sismiche rilevati; con questi ultimi è stato possibile, in definitiva, caratterizzare dal punto di vista elastico-dinamico il sottosuolo indagato ricavando un modello sismostratigrafico a più strati valido per l'intorno di ciascun perforo indagato.

In particolare, per il D.H.1 si rilevano:

- bassi valori di velocità per le onde S e valori prima piuttosto elevati (fino a 4 m) poi decisamente bassi per le onde S nel *sismostrato 1*;
- valori di velocità decisamente elevati sia per le onde P che per le onde S nel *sismostrato 2*;
- valori di velocità sia delle onde P che delle onde S decrescenti fino a 20-22 m e poi gradualmente crescenti fino a fine foro nel *sismostrato 3*.

In particolare, per il D.H.2 si rilevano:

- valori di velocità irregolarmente crescenti sia per le onde P che per le onde S nel *sismostrato 1*;
- valori di velocità molto elevati sia per le onde P che per le onde S nel *sismostrato 2*;
- valori di velocità sia delle onde P che delle onde S piuttosto modesti fino a 18 m e poi irregolarmente crescenti fino a fine foro nel *sismostrato 3*.

Considerando i valori di velocità delle onde sismiche P e S ottenuti nelle prove sismiche in foro eseguite, per ciascuno dei *sismostrati*, sono stati ricavati i moduli dinamici del sottosuolo in esame; tali parametri sono: il Coefficiente di Poisson (ν), il Modulo di Young (E, in Kg/cm²), il Modulo di Taglio (G, in Kg/cm²) e il Modulo di Incompressibilità (K, in Kg/cm²). Nelle tabelle di seguito riportate sono riportati i valori calcolati, arrotondati, assumendo come valore di peso di volume (γ in g/cm³) dei diversi strati il valore di 2 g/cm³:

D.H.1 (S1)	Unità geologica	Vp (m/sec)	Vs (m/sec)	ν	γ (g/cm ³)	E (Kg/cm ²)	G (Kg/cm ²)	K (Kg/cm ²)
sismostrato 1 (0-9)	RPL	540	210	0.41	2.00	2500	900	4800
sismostrato 2 (9-16)	STQ*	1600	620	0.41	2.00	22000	7800	42000
sismostrato 3 (16-30)	STQ	1190	360	0.45	2.00	7700	2600	25000
D.H.2 (S2)	Unità geologica	Vp (m/sec)	Vs (m/sec)	ν	γ (g/cm ³)	E (Kg/cm ²)	G (Kg/cm ²)	K (Kg/cm ²)
sismostrato 1 (0-8)	STQ	750	270	0.43	2.00	4200	1500	9000
sismostrato 2 (8-9)	STQ*	2410	570	0.47	2.00	19000	6600	110000
sismostrato 2 (9-30)	STQ	1220	370	0.45	2.00	8100	2800	27000

* *facies conglomeratica*

4. Vs30 e PARAMETRI SISMICI DI RIFERIMENTO

I valori di V_{s30} ottenuti dalle indagini sismiche sono stati calcolati così come previsto dalla recente normativa sismica [$V_{s30} = 30/\Sigma(h_i/V_{s_i})$ dove h_i = spessore medio in m dello strato iesimo, V_{s_i} = velocità onde S in m/sec dello strato iesimo]. Essi sono utilizzabili come parametri di riferimento per la classificazione del sottosuolo in esame.

indagine sismica	località	Vs30 (m/sec)	categoria di sottosuolo (punto 3.2.2 Tab. 3.2.II del D.M. 14/01/2008)
D.H.1	Mass. Palmieri	320	C
D.H.2	Posta Cerina	340	C

Le Tabb.4÷6 riportano i parametri sismici per le tre zone di parco considerate, nell'ipotesi di categoria di terreno "C".

Tab.4 - CERIGNOLA Nord (AG VN01÷VN04)

Tipo di elaborazione: Fondazioni e stabilità dei pendii

Sito in esame.

latitudine: 41.396039
 longitudine: 15.836911
 Classe: 2
 Vita nominale: 50

Siti di riferimento

Sito 1 ID: 30560	Lat: 41.4112	Lon: 15.8237	Distanza: 2010.267
Sito 2 ID: 30561	Lat: 41.4098	Lon: 15.8903	Distanza: 4710.474
Sito 3 ID: 30783	Lat: 41.3598	Lon: 15.8885	Distanza: 5892.439
Sito 4 ID: 30782	Lat: 41.3612	Lon: 15.8219	Distanza: 4072.923

Parametri sismici

Categoria sottosuolo: C
 Categoria topografica: T1
 Periodo di riferimento: 50anni
 Coefficiente cu: 1

Operatività (SLO):

Probabilità di superamento: 81 %
 Tr: 30 [anni]
 ag: 0.043 g
 Fo: 2.491
 Tc*: 0.286 [s]

Danno (SLD):

Probabilità di superamento: 63 %
 Tr: 50 [anni]
 ag: 0.054 g
 Fo: 2.548
 Tc*: 0.325 [s]

Salvaguardia della vita (SLV):

Probabilità di superamento: 10 %
 Tr: 475 [anni]
 ag: 0.132 g
 Fo: 2.613

Tc*: 0.437 [s]

Prevenzione dal collasso (SLC):

Probabilità di superamento: 5 %

Tr: 975 [anni]

ag: 0.171 g

Fo: 2.608

Tc*: 0.448 [s]

Coefficienti Sismici**SLO:**

Ss: 1.500

Cc: 1.590

St: 1.000

Kh: 0.013

Kv: 0.006

Amax: 0.629

Beta: 0.200

SLD:

Ss: 1.500

Cc: 1.520

St: 1.000

Kh: 0.016

Kv: 0.008

Amax: 0.790

Beta: 0.200

SLV:

Ss: 1.490

Cc: 1.380

St: 1.000

Kh: 0.047

Kv: 0.024

Amax: 1.932

Beta: 0.240

SLC:

Ss: 1.430

Cc: 1.370

St: 1.000

Kh: 0.059

Kv: 0.029

Amax: 2.399

Beta: 0.240

Tab.5 - CERIGNOLA Nord (AG VN05÷VN09)

Tipo di elaborazione: Fondazioni e stabilità dei pendii

Sito in esame.

latitudine: 41.3676371912311
 longitudine: 15.833821167009
 Classe: 2
 Vita nominale: 50

Siti di riferimento

Sito 1 ID: 30782	Lat: 41.3612	Lon: 15.8219	Distanza: 1227.612
Sito 2 ID: 30783	Lat: 41.3598	Lon: 15.8885	Distanza: 4641.387
Sito 3 ID: 30561	Lat: 41.4098	Lon: 15.8903	Distanza: 6647.762
Sito 4 ID: 30560	Lat: 41.4112	Lon: 15.8237	Distanza: 4913.426

Parametri sismici

Categoria sottosuolo: C
 Categoria topografica: T1
 Periodo di riferimento: 50anni
 Coefficiente cu: 1

Operatività (SLO):

Probabilità di superamento: 81 %
 Tr: 30 [anni]
 ag: 0.043 g
 Fo: 2.496
 Tc*: 0.285 [s]

Danno (SLD):

Probabilità di superamento: 63 %
 Tr: 50 [anni]
 ag: 0.054 g
 Fo: 2.552
 Tc*: 0.325 [s]

Salvaguardia della vita (SLV):

Probabilità di superamento: 10 %
 Tr: 475 [anni]
 ag: 0.135 g
 Fo: 2.608

Tc*: 0.437 [s]

Prevenzione dal collasso (SLC):

Probabilità di superamento: 5 %

Tr: 975 [anni]

ag: 0.176 g

Fo: 2.596

Tc*: 0.446 [s]

Coefficienti Sismici**SLO:**

Ss: 1.500

Cc: 1.590

St: 1.000

Kh: 0.013

Kv: 0.006

Amax: 0.627

Beta: 0.200

SLD:

Ss: 1.500

Cc: 1.520

St: 1.000

Kh: 0.016

Kv: 0.008

Amax: 0.789

Beta: 0.200

SLV:

Ss: 1.490

Cc: 1.380

St: 1.000

Kh: 0.048

Kv: 0.024

Amax: 1.967

Beta: 0.240

SLC:

Ss: 1.430

Cc: 1.370

St: 1.000

Kh: 0.060

Kv: 0.030

Amax: 2.465

Beta: 0.240

Tab.6 - CERIGNOLA Nord (AG VN10÷VN12 e Stazioni)

Tipo di elaborazione: Fondazioni e stabilità dei pendii

Sito in esame.

latitudine: 41.3569421396977
 longitudine: 15.8730431253242
 Classe: 2
 Vita nominale: 50

Siti di riferimento

Sito 1 ID: 30782	Lat: 41.3612Lon: 15.8219	Distanza: 4296.173
Sito 2 ID: 30783	Lat: 41.3598Lon: 15.8885	Distanza: 1324.839
Sito 3 ID: 31005	Lat: 41.3098Lon: 15.8866	Distanza: 5359.171
Sito 4 ID: 31004	Lat: 41.3112Lon: 15.8201	Distanza: 6740.061

Parametri sismici

Categoria sottosuolo: C
 Categoria topografica: T1
 Periodo di riferimento: 50anni
 Coefficiente cu: 1

Operatività (SLO):

Probabilità di superamento: 81 %
 Tr: 30 [anni]
 ag: 0.042 g
 Fo: 2.509
 Tc*: 0.283 [s]

Danno (SLD):

Probabilità di superamento: 63 %
 Tr: 50 [anni]
 ag: 0.053 g
 Fo: 2.556
 Tc*: 0.319 [s]

Salvaguardia della vita (SLV):

Probabilità di superamento: 10 %
 Tr: 475 [anni]
 ag: 0.140 g
 Fo: 2.586

Tc*: 0.431 [s]

Prevenzione dal collasso (SLC):

Probabilità di superamento: 5 %

Tr: 975 [anni]

ag: 0.186 g

Fo: 2.561

Tc*: 0.439 [s]

Coefficienti Sismici

SLO:

Ss: 1.500

Cc: 1.590

St: 1.000

Kh: 0.013

Kv: 0.006

Amax: 0.622

Beta: 0.200

SLD:

Ss: 1.500

Cc: 1.530

St: 1.000

Kh: 0.016

Kv: 0.008

Amax: 0.787

Beta: 0.200

SLV:

Ss: 1.480

Cc: 1.390

St: 1.000

Kh: 0.050

Kv: 0.025

Amax: 2.036

Beta: 0.240

SLC:

Ss: 1.410

Cc: 1.380

St: 1.000

Kh: 0.063

Kv: 0.032

Amax: 2.578

Beta: 0.240

5. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEL SOTTOSUOLO

L'area di pertinenza del parco eolico è contraddistinta da un substrato così rappresentato:

- Sabbie limose con lenti ghiaiose (RPL).
- Sabbie fini e argille di colore grigio e giallo ocraceo per alterazione in matrice irregolarmente cementata (STQ).

Su tutta l'area in esame la superficie è coperta da suolo agrario di spessore non superiore al metro. Le sabbie in superficie, per uno spessore di circa 5 m, sono sciolte o poco addensate..

Sulla base dei risultati delle indagini in sito (dirette ed indirette) disponibili e del rilievo geologico di dettaglio, in riferimento agli AG VN01÷VN03, VN05 e VN07 è possibile fare riferimento al seguente modello geotecnico stratigrafico indicativo.

descrizione	spessore	γ (KN/m ³)	Φ (°)	c' (KN/m ²)
sedimenti argilloso sabbiosi	7÷17m	□□	□□	10
argille mediamente addensate e piuttosto compatte	>20m	19	23	30

In riferimento agli AG VN04, VN06 e VN08÷VN12 e stazione finale è possibile fare riferimento al seguente modello geotecnico-stratigrafico indicativo.

descrizione	spessore	γ (KN/m ³)	Φ (°)	c' (KN/m ²)
sabbie fini e argille poco addensate	20 m	19	28	10
argille mediamente addensate e piuttosto compatte	>20m	19	23	30

I due modelli stratigrafici di sintesi, precedentemente esposti, conducono ad un'unica scelta tipologica fondazionale di massima, rappresentata da pali di medio e grande diametro ammorsati nello strato argilloso intermedio, di spessore variabile da 20 m a 30 m. In ogni caso saranno i risultati di prove in situ e di laboratorio a confermare o meno tale ipotesi.

Per quanto riguarda la profondità di livello statico delle acque di falda dal piano campagna degli aerogeneratori, dall'analisi delle stratigrafie dei pozzi censiti, si possono considerare le seguenti zone-tipo:

AG VN05 e VN07

Falde poco significative a -15 m e -35 m e falda importante a -67 m con risalita a p.c.

AG VN01, VN02 e VN03

Falda importante a -37 m con risalita a p.c.

AG VN04, VN06, VN08÷VN12 e la sottostazione finale

Falda poco significativa a -15 m e falda importante a -48 m con risalita a -4,5 m dal p.c.

6. CONCLUSIONI

Il parco eolico in esame è ubicato in agro di Cerignola (FG), a circa 10 Km a Nord – Nord-Ovest dal centro abitato.

L'intera area di parco eolico ricade all'interno del dominio morfologico-strutturale della Piana del Tavoliere.

Il progetto non prevede attingimenti di acque superficiali e/o sotterranee, né scarichi, sia in fase di realizzazione che in fase di esercizio o di dismissione dell'impianto.

Nello specifico, l'area di parco eolico è posta a quote altimetriche che variano progressivamente da 20m.slm. a m 47m.slm. e presenta andamento subpianeggiante e pendenze generalmente inferiori ai 5-6°. Questa zona si sviluppa, infatti, su di un'ampia spianata riconducibile ad un'antica superficie di terrazzo di origine marina, a tratti ricoperta da terreni di natura alluvionale depositati dai corsi d'acqua che l'hanno in seguito rimodellata.

Più in particolare nell'ambito dell'area di intervento si possono distinguere due settori separati su cui sono dislocati gli aerogeneratori di progetto, uno ubicato ad ovest della Marana Castello e l'altro ad est della stessa Marana.

Anche il cavidotto interrato di connessione si sviluppa su terreni pianeggianti con quote che aumentano progressivamente dall'area in cui è ubicata la cabina di smistamento/consegna, posta a quota di circa 29 m s.l.m., sempre in territorio comunale di Cerignola.

L'intera area di progetto ricade in ambito agricolo e pertanto risulta caratterizzata dall'avvicendamento di terreni adibiti prevalentemente a vigneto ed uliveto e subordinatamente a seminativo.

Dal punto di vista della stabilità, l'area è stabile poiché è sub-pianeggiante, ad eccezione delle sponde dei corsi d'acqua, e perchè le condizioni litologiche e strutturali sono favorevoli (la carta della pericolosità geomorfologica del PAI non riporta infatti alcuna segnalazione in merito)..

I modelli geotecnici sulla base dei quali dimensionare le opere di fondazione dovranno essere quanto più possibile di dettaglio, pertanto sarà opportuno eseguire indagini puntuali in sito (dirette ed indirette) ed analisi geotecniche di laboratorio.

Infatti, i modelli geotecnici riportati nel presente studio, pur determinati in aree geologicamente rappresentative, necessitano di un approfondimento anche in considerazione del fatto che le

condizioni geologiche di aree così estese sono variabili e la profondità degli orizzonti può essere sensibilmente diversa.

Per quanto riguarda le opere da realizzare, le torri avranno fondazioni tali da trasmettere i carichi al terreno più competente, strutturalmente stabile; il cavidotto interno, che si dirama principalmente su strade vicinali, sarà per lo più interrato ai margini della viabilità. I tratti di nuova realizzazione del cavidotto e della viabilità di servizio che attraversano i fossi e torrenti verranno sistemati con tecniche non invasive per non alterare la funzionalità del reticolo idrografico e per non ridurre la sezione utile del reticolo idrografico.

In fase di esecuzione delle trincee per la posa in opera del cavidotto si adotteranno degli accorgimenti per evitare l'infiltrazione delle acque superficiali nel sottosuolo e le acque di ristagno nelle trincee verranno opportunamente drenate.

L'analisi degli aspetti geologici, geomorfologici, idrogeologici e geotecnici condotti in questa fase di studio conferma che le opere in progetto non modificheranno in alcun modo gli assetti geologici e geomorfologici dell'area, poiché non altereranno l'assetto piezometrico del sottosuolo, nè la permeabilità del suolo, non influiranno negativamente sulla stabilità dell'area e non modificheranno la funzionalità del reticolo idrografico.

Ing. Tommaso Farenga

Geol. Rosanna Caputo

APPENDICE A

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA

**VN01****VN02**

**VN03****VN04**

**VN05****VN06**

**VN07****VN08**

**VN09****VN10**

**VN11-VN12**