

CITTA' DI GROTTAGLIE

Provincia di Taranto

**LAVORI DI INSTALLAZIONE DI DUE IMPIANTI FOTOVOLTAICI
DELLA POTENZA NOMINALE PARI A: 998,8 kWp (sito 1), 1958 kWp (sito 2)**

IL COMMITTENTE:

ENFINITY 3 s.r.l.
sede legale in Viale Sarca n° 336 a Milano

OGGETTO

RELAZIONE GEOTECNICA

gennaio 2011

IL TECNICO:



Ing. Armando Rismondo

Sede legale:

via Val d'Aosta n° 26 - 74023 Grottaglie (TA)

Sede operativa:

via Corrado Mastropaolo n°37 - 74023 Grottaglie (TA)

Tel e Fax: 099 5661823

e-mail: armandorismondo@libero.it

NOTE:

**LAVORI DI INSTALLAZIONE DI DUE IMPIANTI FOTOVOLTAICI
DELLA POTENZA NOMINALE PARI A: 998,8 kWp (sito 1), 1958 kWp (sito 2)**

RELAZIONE GEOTECNICA

INDICE

1. PREMESSA	2
2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO	2
3. INQUADRAMENTO GEOLOGICO TECNICO	3
3.1. Premessa.....	3
3.2. Geologia e geomorfologia.....	3
3.3. Idrogeologia.....	4
3.4. Stratigrafia.....	4
4. MODELLO GEOTECNICO DEL TERRENO DI FONDAZIONE	4
5. CARATTERIZZAZIONE SISMICA DELL'AREA	5
6. LE OPERE IN PROGETTO	6
6.1. Le strutture in elevazione.....	6
6.2. Le tipologie di fondazione.....	6
7. VERIFICHE GEOTECNICHE DEI PROFILATI IN ACCIAIO DI SOSTEGNO DELLE STRUTTURE FOTOVOLTAICHE	7
7.1. Generalità sulle opere di fondazione.....	7
7.2. Teoria di calcolo per la verifica della capacità portante.....	7
7.3. Risultati delle verifiche di capacità portante.....	9
7.4. Risultati delle verifiche nei confronti degli stati limite di esercizio (SLE).....	10
8. VERIFICHE GEOTECNICHE DELLE PLATEE DI FONDAZIONE DELLE CABINE	10
8.1. Generalità sulle platee.....	10
8.2. Teoria di calcolo per la verifica della capacità portante.....	11
8.3. Risultati delle verifiche di capacità portante.....	12
8.4. Risultati delle verifiche nei confronti degli stati limite di esercizio (SLE).....	13
9. CONCLUSIONI	14

1. PREMESSA

La presente relazione geotecnica è parte integrante del progetto di realizzazione di due impianti di produzione di energia elettrica tramite conversione fotovoltaica da installare nel territorio del Comune di Grottaglie (TA), aventi le seguenti potenze di picco:

- ✓ Sito 1: 998,8 kWp;
- ✓ Sito 2: 1958 kWp;

L'impianto, del tipo fisso, viene proposto dalla ditta ENFINITY 3 s.r.l. con sede legale in Viale Sarca n°336 a Milano.

La zona, ove verranno realizzati gli impianti, è ubicata a Nord-Ovest dell'abitato di Grottaglie, ad una distanza di circa 7 km.

Topograficamente, l'area ricade nella tavoletta I S.E. "Grottaglie" del foglio 202, edito dall'I.G.M.. L'altitudine media sul livello del mare è di circa 194 metri. L'area ha coordinate geografiche medie di 40°34'44" Latitudine N e 17°21'42" di Longitudine E, misurato con GPS Geko 301 della Garmin.

I due siti sono distinti in catasto al Foglio 6 P.IIe 199, 200, 434, 435 per il Sito 1 e P.IIe 201, 475, 476, 477 per il Sito 2.

Nella presente relazione verranno riassunte le risultanze dello studio geologico svolto, verrà esposto il modello geotecnico assunto e le verifiche geotecniche degli elementi di fondazione delle opere civili da costruire per la realizzazione dei due impianti fotovoltaici.

Per una lettura dettagliata delle forme, dimensioni e particolari costruttivi delle opere da realizzarsi si rimanda alle tavole grafiche allegate al progetto.

2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Il presente documento e i calcoli esposti sono stati redatti in conformità e nel rispetto della normativa vigente di seguito elencata.

Norme Tecniche C.N.R. 10011:

'Costruzioni di acciaio - Istruzione per il calcolo, l'esecuzione, il collaudo e la manutenzione.'

Norme C.N.R. 10024:

'Analisi delle strutture mediante calcolatore elettronico: impostazione e redazione delle relazioni di calcolo.'

Ordinanza del Presidente del Consiglio 3274 - 08/05/2003:

'Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica.'

Ordinanza del Presidente del Consiglio 3431 - 03/05/2005:

'Ulteriori modifiche ed integrazioni all'Ordinanza del Presidente del Consiglio 3274 - 08/05/2003.'

Norma UNI ENV 1992-1-1: Eurocodice 2:

'Progettazione delle strutture in calcestruzzo - Parte 1-1: Regole generali e regole per gli edifici'

Norma UNI ENV 1993-1-1: Eurocodice 3:

'Progettazione delle strutture di acciaio - Parte 1-1: Regole generali e regole per gli edifici.'

Norma UNI ENV 1998-1-1: Eurocodice 8:

'Indicazioni progettuali per la resistenza sismica delle strutture - Parte 1-1: Regole generali.'

D.M. 14/01/2008:

'Norme tecniche per le costruzioni.'

Circolare 617 del 02/02/2009:

'Istruzioni per l'applicazione delle «Nuove norme tecniche per le costruzioni» di cui al decreto ministeriale 14 gennaio 2008.'

3. INQUADRAMENTO GEOLOGICO TECNICO

3.1. Premessa

Nel presente capitolo vengono esposte le risultanze dello studio geologico, estratte dal documento "RELAZIONE GEOLOGICO TECNICA", redatto dal Geol. J.V.C.A. Stefani.

Vengono riportate le caratteristiche geologiche, geotecniche, litostratigrafiche, idrogeologiche, la natura e origine delle formazioni geologiche affioranti nell'area di studio, la geomorfologia e l'andamento strutturale delle rocce in sito.

Il suddetto studio evidenzia che i dati sul sottosuolo sono stati acquisiti mediante un rilevamento geologico di superficie, dalla raccolta di dati precogniti su lavori effettuati in aree che presentano caratteristiche geologiche simili a quelle in studio, dall'analisi di stratigrafie di pozzi per sfruttamento della falda acquifera superficiale e profonda e da notizie bibliografiche sulla cartografia geologica disponibile.

Si precisa che per una lettura completa e approfondita dello studio geologico eseguito si rimanda alla "RELAZIONE GEOLOGICO TECNICA" predetta.

3.2. Geologia e geomorfologia

L'area di studio dal punto di vista geologico è caratterizzata, dalla presenza di formazioni sedimentarie di deposizione in ambiente prevalentemente marino (Riferimento Carta Geologica D'Italia Fg. 202 Taranto scala 1:100.000).

E' possibile distinguere le seguenti formazioni geologiche affioranti (dal più antico al più recente):

- ✓ Depositi alluvionali recenti o attuali (Olocene);
- ✓ Depositi Marini Terrazzati (Pleistocene Medio – Superiore);
- ✓ Argille Subappennine (Pleistocene Inferiore con passaggi al Pliocene Superiore?);
- ✓ Calcareniti di Gravina (Pliocene Superiore con passaggi al Pleistocene Inferiore);
- ✓ Calcarea di Altamura (Cretaceo: attribuibili al Senoniano – Turoniano).

L'area di studio dal punto di vista geologico è caratterizzata, in affioramento, dalla presenza di depositi marini sedimentari riferibili al Pleistocene Superiore. Per la precisione sono presenti sedimenti calcarenitici, deposti in ambiente di mare tidale e subaereo.

Dal punto di vista geomorfologico, il sito si trova su un tavolato pianeggiante creato dalla sedimentazione dei Depositi Marini Terrazzati, che occupano un'area piuttosto estesa della zona centrale della provincia di Taranto. Al limite dei terrazzi vi è poi una profonda vallata incisa dal Vallone D'Aiedda.

Sotto il profilo morfologico, la zona di studio presenta una debole pendenza verso Sud con valori attorno o inferiori a 2 %. Ai limiti dell'area in studio le pendenze delle pareti del vallone D'Aiedda sono molto ripide con valori anche superiori a 25 – 30 %.

3.3. Idrogeologia

Nelle Calcareniti dei depositi marini terrazzati vi è la presenza di una estesa falda acquifera superficiale la cui piezometrica si stabilizza a circa 2,0 – 2,5 metri di profondità dal p.c.

La piezometrica subisce sia variazioni stagionali, che ne abbassano il livello di acqua, indotte sia da fenomeni di evapotraspirazione sia da attingimenti che si effettuano dai numerosi pozzi presenti nell'area. L'innalzamento della piezometrica in periodi particolarmente piovosi può raggiungere anche 1 – 2 metri rispetto al valore prima menzionato.

3.4. Stratigrafia

La stratigrafia dell'area è stata ottenuta tramite rilevamento geologico di superficie, dalla lettura della cartografia geologica disponibile dell'area (Foglio 202 Taranto), e dai dati desunti dalla stratigrafia di pozzi per emungimento di acqua che intercettano la falda acquifera profonda, che hanno permesso la ricostruzione a grandi linee della stratigrafia del sottosuolo.

In affioramento si rinviene del terreno vegetale dello spessore di circa 0,5 – 1,0 metri.

Procedendo in profondità si rinvencono le calcareniti dei Depositi Marini Terrazzati il cui spessore dovrebbe essere almeno di 2 metri in media.

Al di sotto di questa formazione s'incontrano le argille limose e sabbiose avane.

Riassumendo gli studi effettuati si ottiene la seguente stratigrafia del sottosuolo in esame:

- ✓ terreni vegetale da 0 a circa 0,5 - 1,0 metri;
- ✓ depositi marini terrazzati con potenza almeno di 2 metri;
- ✓ limo sabbioso da 2 ad almeno 10 - 15 metri.

4. MODELLO GEOTECNICO DEL TERRENO DI FONDAZIONE

Alla luce dello studio geologico esposto e della stratigrafia costituente il sottosuolo del sito in esame è possibile stabilire il modello geotecnico del terreno di fondazione attraverso le seguenti caratteristiche fisico-meccaniche degli strati formanti la colonna stratigrafica.

Strato	Spess. [cm]	Peso [daN/m ³]	Peso eff. [daN/m ³]	Φ [°]	C [daN/cm ²]	Cu [daN/cm ²]	E [daN/cm ²]	G [daN/cm ²]	ν_t [°]	OCR
Depositi marini terrazzati	200	1650	650	23	0.30	0.30	600	300	0.38	1.00
Limo sabbioso	800	1900	900	14	0.05	0.05	200	100	0.43	1.00

Nella precedente tabella si è fatto utilizzo della seguente simbologia:

Strato : Nome dello strato appartenente la colonna stratigrafica;
 Spess. : Spessore dello strato;
 Peso : Peso dell'unità di volume dello strato;
 Peso eff. : Peso dell'unità di volume efficace dello strato;
 Φ : Angolo di attrito del terreno;
 C : Coesione drenata del terreno;
 Cu : Coesione non drenata del terreno;
 E : Modulo elastico del terreno;
 G : Modulo di taglio del terreno;
 ν_t : Coefficiente di Poisson;
 OCR : Grado di sovraconsolidazione del terreno.

Per la costante di Winkler sono stati considerati i seguenti valori:

- ✓ $K_v = 7,00$ daN/cm³ (verticale);
- ✓ $K_o = 3,50$ daN/cm³ (orizzontale);

Così come prescritto nella "RELAZIONE GEOLOGICO TECNICA" la pressione sul terreno deve essere inferiore a 1,00 kg/cm^q. La stessa relazione geologica prescrive inoltre, per una migliore caratterizzazione meccanica dei terreni, la realizzazione di una campagna geognostica.

Si precisa che, non essendo state svolte indagini in sito o in laboratorio, i valori sono stati desunti da dati reperibili in bibliografia.

Ai fini delle verifiche geotecniche, inoltre, è stata considerata la presenza della falda acquifera ad una profondità di 1,50 m dal piano campagna.

Il piano di posa delle fondazioni dovrà trovarsi ad una profondità di 0,50-1,00 m, in modo da non attestarsi sullo strato di terreno vegetale superficiale dalle caratteristiche geotecniche inadeguate.

5. CARATTERIZZAZIONE SISMICA DELL'AREA

Il sito di studio ricade nel territorio del comune di Grottaglie, che appartiene alla 4° categoria della aggiornata classificazione sismica nazionale (O.P.C.M. del 20/03/2003 n° 3274 e Allegato 1 all'ordinanza 3274).

Sulla base dei dati disponibili il suolo è stato caratterizzato con la classe C e topograficamente con la tipologia T1.

Di seguito si riportano i dati sismici degli spettri di risposta.

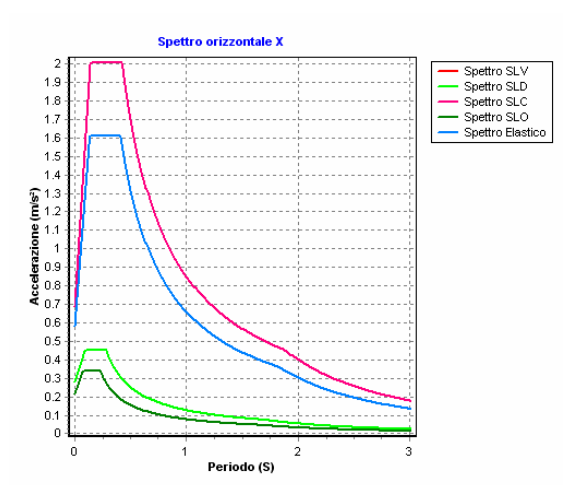
Comune di Grottaglie - Coordinate sito (Datum - ED50) : Longitudine = 17.4353°; Latitudine = 40.5413°

Punti della maglia: 34136 34137 34358 34359

Valori dei parametri a_g , F_o , T_c^* per i periodi di ritorno TR associati a ciascun Stato Limite

STATO LIMITE	TR [anni]	a_g [g]	F_o	T_c^* [s]
SLO	30	0.022	2.405	0.224
SLD	50	0.029	2.388	0.280

SLV	475	0.059	2.765	0.409
SLC	975	0.070	2.915	0.424



6. LE OPERE IN PROGETTO

6.1. Le strutture in elevazione

Le principali opere civili che costituiranno i due impianti di produzione di energia elettrica, tramite conversione fotovoltaica, saranno le seguenti:

- ✓ Le strutture in acciaio di sostegno dei pannelli fotovoltaici, suddivise in tre tipologie che differenziano tra loro per le dimensioni ed il numero di pali di fondazione da infiggere nel terreno;
- ✓ La cabina prefabbricata in c.a. da adibire a "cabina di trasformazione", contenente l'inverter, delle dimensioni in pianta di 12,75x2,50 m, altezza di 2,70 m e spessore 8 cm;
- ✓ La cabina prefabbricata in c.a. da adibire a "cabina di consegna", delle dimensioni in pianta di 7,50x2,50 m, altezza di 2,70 m e spessore 8 cm;

Le cabine saranno poggiate su "vasche prefabbricate" per l'alloggiamento delle condutture elettriche in arrivo ed in partenza dalle cabine stesse.

Come detto in premessa per una lettura dettagliata delle forme, dimensioni e particolari costruttivi delle opere da realizzarsi si rimanda alle tavole grafiche allegate al progetto.

6.2. Le tipologie di fondazione

Gli elementi di fondazione delle strutture appena descritte saranno:

- ✓ Per le strutture in acciaio di sostegno dei pannelli fotovoltaici, profilati in acciaio IPE 120 o IPE 140, da infiggere direttamente nel terreno, mediante "battitura";
- ✓ Per la "cabina di trasformazione (inverter)", una platea di fondazione in c.a. delle dimensioni in pianta di 13,75x3,50 m e altezza di 25 cm;

- ✓ Per la “cabina di consegna”, una platea di fondazione in c.a. delle dimensioni in pianta di 8,50x3,50 m e altezza di 25 cm;

Si ritiene utile precisare che di seguito verranno mostrate le sole analisi geotecniche legate alla verifica di portanza e dei cedimenti degli elementi di fondazione, avendo omissa l'analisi dei carichi, l'analisi sismica, i calcoli e le verifiche strutturali degli elementi da realizzare.

7. VERIFICHE GEOTECNICHE DEI PROFILATI IN ACCIAIO DI SOSTEGNO DELLE STRUTTURE FOTOVOLTAICHE

7.1. Generalità sulle opere di fondazione

Le strutture in acciaio di sostegno dei pannelli fotovoltaici saranno di tre tipologie che differenziano tra di loro per le dimensioni geometriche in pianta e per il numero di profilati in acciaio IPE 120 e IPE 140 che costituiranno i pali di fondazione da infiggere nel terreno. La realizzazione delle tre tipologie di strutture che formano l'impianto fotovoltaico è funzione della posizione delle stesse all'interno del campo.

Le strutture sono così individuate:

- ✓ STRUTTURA 1: n°6 profilati IPE 120 da infiggere nel terreno per una profondità di 3,00 metri;
- ✓ STRUTTURA 2: n°8 profilati IPE 140 da infiggere nel terreno per una profondità di 3,00 metri;
- ✓ STRUTTURA 3: n°9 profilati IPE 140 da infiggere nel terreno per una profondità di 3,00 metri;

Si precisa fin da subito che la lunghezza di infissione nel terreno è intesa al netto dello strato superficiale di terreno vegetale, del quale è stato trascurato qualsiasi apporto alla portanza verticale del palo.

7.2. Teoria di calcolo per la verifica della capacità portante

Il carico limite orizzontale H_{lim} nel caso di terreni coesivi viene assunto pari a :

$$H_{lim} = 9 \cdot C_u \cdot D \cdot (L - 1.5D)$$

dove:

- C_u = resistenza a taglio del terreno;
- D = Diametro del palo;
- L = lunghezza del palo;

Nel caso di terreno incoerente il carico limite può essere ottenuto dalla seguente relazione:

$$H_{lim} = 1.5 \cdot K_p \cdot \sigma'_{vo} \cdot D \cdot L$$

dove:

- K_p = coefficiente di spinta passivo del terreno;
- σ'_{vo} = tensione efficace del terreno;
- D = Diametro del palo;
- L = lunghezza del palo ;

L'espressione generale della capacità portante verticale del palo (Q_{ult}) è data dalla somma della portata limite di base (Q_{base}) e dalla portata limite per attrito laterale ($Q_{laterale}$) meno il peso proprio del palo (W_{palo}):

$$Q_{ult} = Q_{base} + Q_{laterale} - W_{palo}$$

La teoria utilizzata per il calcolo della portata è stata quella di Bowles.

La portata di base e quella laterale del singolo palo vengono calcolate con le espressioni seguenti:

$$Q_{base} = (Q_u \cdot N_q \cdot S_q \cdot D_q + c \cdot N_c) \cdot A_b$$

dove:

- A_b = area della superficie di base del palo;
- Q_u = pressione geostatica raggiunta dalla punta del palo;
- N_c, N_q = fattori di capacità portante, funzione del diametro del palo ($N_c = 7 \div 9$);
- D_q, S_q = fattori correttivi;
- c = coesione dello strato alla punta.
- $N_q = e^{-\pi \cdot \tan(\varphi)} \cdot \tan^2(45 + \varphi / 2)$;
- $S_q = 1 + \sin(\varphi)$;
- $D_q = 1 + 2 \tan(\varphi) \cdot (1 - \sin(\varphi)) \cdot 2 \tan(L_p / D)$;

Il calcolo della portanza laterale è stata eseguita attraverso la seguente relazione:

$$Q_{laterale} = \sum A_l \cdot f_j$$

$$f_j = \alpha \cdot c + q_j \cdot k_o \cdot \tan(\delta)$$

dove:

- A_l = superficie laterale del palo;
- c = coesione;
- α = coefficiente d'adesione o di mobilitazione dell'attrito laterale, funzione della coesione non drenata ($\alpha = 0.4 \div 0.9$);
- k_o = coefficiente di spinta orizzontale;
- q_j = pressione geostatica alla profondità della punta (data dal peso di volume naturale del terreno);
- δ = angolo dell'attrito efficace dipendente dell'angolo di attrito φ

La verifica del sistema di fondazione relativo alla struttura in oggetto, è stata effettuata sulla base dei dati geologici e dei parametri geotecnici forniti, seguendo l'approccio di progetto relativo alla normativa di riferimento.

Per fondazioni su pali (punto 6.4.3 del DM 14/01/2008 e punto C.6.4.3 Circolare 617 del 02/02/2009):

Combinazione 1: A1 + M1 + R1;

Combinazione 2: A2 + M1 + R2.

Dove i coefficienti parziali per le azioni sono riportati nella seguente tabella.

CARICHI	COEFFICIENTE PARZIALE	Comb. A1	Comb. A2
PERMANENTI	γ_{G1ns}	1.3	1.0
PERMANENTI NON STRUTTURALI	γ_{G2ns}	1.5	1.3
VARIABILI	γ_{Qi}	1.5	1.3

I coefficienti per i parametri geotecnici del terreno i seguenti:

PARAMETRO	GRANDEZZA ALLA QUALE APPL. IL COEFF. PARZIALE	Comb. M1
Tangente dell'angolo di attrito	$\tan\phi$	1.0
Coesione drenata del terreno	C	1.0
Coesione non drenata del terreno	C_u	1.0
Peso dell'unità di volume	γ	1.0

Le verifiche vengono riassunte nelle successive tabelle.

7.3. Risultati delle verifiche di capacità portante

Si riportano i risultati delle verifiche delle tre strutture, dove viene utilizzata la seguente simbologia.

- Palo : numero del palo;
 Qsd : carico verticale di calcolo cui corrisponde il minimo coefficiente di sicurezza;
 W : Peso del palo;
 Eff. : efficienza palificata;
 Qu : carico ultimo verticale del palo;
 Sq : coefficiente di sicurezza minimo della sezione a carico verticale
 (Verificato per $Sq > \xi$, dove ξ fattore di correlazione si assume pari a 1.70);
 Hsd : carico orizzontale di calcolo cui corrisponde il minimo coefficiente di sicurezza;
 Hult : carico limite orizzontale del terreno;
 S : coefficiente di sicurezza minimo della sezione a carico orizzontale;
 Esito : V = Verificato, NV = Non Verificato;

STRUTTURA 1

Palo	Qsd [t]	W [t]	Eff.	Qu [t]	Sq	Hsd [t]	Hult [t]	S	Esito
1	0.75	0.08	1.00	2.10	2.79	0.24	3.10	12.99	V
2	0.83	0.08	1.00	2.10	2.53	0.26	3.10	11.86	V
3	0.83	0.08	1.00	2.10	2.53	0.26	3.10	11.88	V
4	0.83	0.08	1.00	2.10	2.53	0.26	3.10	11.88	V
5	0.83	0.08	1.00	2.10	2.53	0.26	3.10	11.86	V
6	0.75	0.08	1.00	2.10	2.79	0.24	3.10	12.99	V

STRUTTURA 2

Palo	Qsd [t]	W [t]	Eff.	Qu [t]	Sq	Hsd [t]	Hult [t]	S	Esito
1	0.88	0.10	1.00	2.30	2.60	0.23	3.36	14.60	V
2	0.97	0.10	1.00	2.30	2.37	0.25	3.36	13.31	V
3	0.98	0.10	1.00	2.30	2.35	0.26	3.36	13.10	V
4	0.92	0.10	1.00	2.30	2.51	0.24	3.36	13.97	V
5	1.03	0.10	1.00	2.30	2.22	0.26	3.36	12.99	V
6	1.16	0.10	1.00	2.30	1.99	0.29	3.36	11.42	V
7	1.15	0.10	1.00	2.30	1.99	0.30	3.36	11.37	V
8	1.06	0.10	1.00	2.30	2.16	0.28	3.36	11.78	V

STRUTTURA 3

Palo	Qsd [t]	W [t]	Eff.	Qu [t]	Sq	Hsd [t]	Hult [t]	S	Esito
1	0.91	0.10	1.00	2.30	2.53	0.25	3.36	13.52	V
2	0.99	0.10	1.00	2.30	2.31	0.27	3.36	12.66	V
3	1.00	0.10	1.00	2.30	2.31	0.27	3.36	12.62	V
4	0.99	0.10	1.00	2.30	2.31	0.27	3.36	12.64	V
5	0.99	0.10	1.00	2.30	2.31	0.27	3.36	12.65	V
6	0.99	0.10	1.00	2.30	2.31	0.27	3.36	12.64	V
7	0.99	0.10	1.00	2.30	2.31	0.27	3.36	12.63	V
8	1.00	0.10	1.00	2.30	2.30	0.27	3.36	12.58	V
9	0.89	0.10	1.00	2.30	2.57	0.25	3.36	13.69	V

7.4. Risultati delle verifiche nei confronti degli stati limite di esercizio (SLE)

Gli stati limite di esercizio (punto 6.4.2.2 del DM 14/01/2008) investigati, si riferiscono al raggiungimento di valori critici dei cedimenti differenziali che possono compromettere la funzionalità dell'opera. Il calcolo dei cedimenti è stato eseguito per la combinazione di esercizio rara, frequente, quasi permanente.

Si riportano i risultati delle verifiche delle tre strutture, dove viene utilizzata la seguente simbologia.

Comb.	: tipo involucro;
Dist.	: distanza tra i punti di massimo cedimento differenziale;
Palo ced. max	: palo con cedimento massimo;
Ced. tot. max	: cedimento totale massimo;
Palo ced. min.	: palo con cedimento minimo;
Ced. tot. min.	: cedimento totale minimo;
Diff.	: cedimento differenziale;
Lim.	: cedimento limite (4‰ x Dist.);
S	: coefficiente di sicurezza;
Esito	: V = Verificato; NV = Non Verificato;

STRUTTURA 1

Comb.	Dist. [cm]	Palo ced. max	Ced. tot. max [cm]	Palo ced. min.	Ced. tot. min. [cm]	Diff. [cm]	Lim. [cm]	S	Esito
Caratt.	343.5	2	0.0199	1	0.0195	0.0004	1.3740	3763.96	V
Freq.	343.5	2	0.0180	1	0.0179	0.0002	1.3740	8726.20	V
Q. Perm.	343.5	2	0.0175	1	0.0174	0.0001	1.3740	-	V

STRUTTURA 2

Comb.	Dist. [cm]	Palo ced. max	Ced. tot. max [cm]	Palo ced. min.	Ced. tot. min. [cm]	Diff. [cm]	Lim. [cm]	S	Esito
Caratt.	1204.3	6	0.0204	1	0.0194	0.0011	4.8172	4584.16	V
Freq.	1204.3	6	0.0176	1	0.0173	0.0003	4.8172	-	V
Q. Perm.	1204.3	6	0.0172	1	0.0170	0.0002	4.8172	-	V

STRUTTURA 3

		Dati Verifiche							
Comb.	Dist. [cm]	Palo ced. max	Ced. tot. max [cm]	Palo ced. min.	Ced. tot. min. [cm]	Diff. [cm]	Lim. [cm]	S	Esito
Caratt.	226.4	8	0.0198	9	0.0194	0.0004	0.9056	2307.06	V
Freq.	226.4	8	0.0174	9	0.0173	0.0001	0.9056	8071.02	V
Q. Perm.	226.4	8	0.0170	9	0.0170	0.0001	0.9056	-	V

Dalle tabelle relative al cedimento differenziale limite delle fondazioni, si evince che i cedimenti differenziali massimi stimati risultano compatibili con la funzionalità dei lavori in oggetto.

8. VERIFICHE GEOTECNICHE DELLE PLATEE DI FONDAZIONE DELLE CABINE

8.1. Generalità sulle platee

Come già detto in precedenza le cabine di trasformazione, con relativa sottostante "vasca prefabbricata", andranno poggiate su fondazione del tipo a platea aventi le seguenti dimensioni.

Per la “cabina di trasformazione (inverter)”, una platea di fondazione in c.a. delle dimensioni in pianta di 13,75x3,50 m e altezza di 25 cm;

Per la “cabina di consegna”, una platea di fondazione in c.a. delle dimensioni in pianta di 8,50x3,50 m e altezza di 25 cm;

Il piano di posa della dovrà attestarsi sui depositi marini terrazzati (calcareniti), avendo avuto cura prima di asportare lo strato di terreno vegetale superficiale.

Di seguito si riportano gli elementi teorici di calcolo e i conseguenti risultati di calcolo e verifica degli elementi di fondazione.

8.2. Teoria di calcolo per la verifica della capacità portante

L'interazione terreno struttura viene modellata applicando il modello di Winkler, il quale caratterizza il sottosuolo con una relazione lineare fra il cedimento in un punto della superficie limite e la pressione agente nello stesso punto, indipendentemente da altri carichi applicati in punti diversi. Si assume cioè che:

$$p = kvw$$

dove k_v è detta costante di sottofondo o coefficiente di reazione del terreno e w è l'abbassamento della trave di fondazione tale da comprimere il terreno sottostante.

Il valore di tale coefficiente k adottato nel lavoro in oggetto è di $k_v = 7.00 \text{ daN/cm}^3$. Tale modello viene esteso anche alla componente orizzontale dello spostamento, utilizzando un valore della costante orizzontale pari a $k_o = 3.50 \text{ daN/cm}^3$.

Le platee di fondazione vengono modellate utilizzando un elemento finito che segue sempre la giacitura di un piano. L'elemento lastra-piastra, nel seguito denominato guscio, possiede nel sistema di riferimento locale come in quello globale 6 gradi di libertà per nodo. L'elemento è computato sovrapponendo il comportamento lastra o membrana, che possiede 3 gradi di libertà per nodo (una coppia di spostamenti planari e un grado di libertà alla rotazione intorno ad un asse perpendicolare al piano medio), e il comportamento piastra, che possiede 3 gradi di libertà per nodo (uno spostamento perpendicolare al piano medio e una coppia di rotazioni ortogonali aventi assi sostegno paralleli al piano medio).

La geometria dell'elemento finito SHELL può essere definita attraverso 3 o 4 nodi. La trattazione nei due casi è completamente diversa. L'elemento a 3 nodi viene usato per creare esclusivamente mesh di transizione nel caso di figure irregolari.

La formulazione dell'elemento è basata sulla teoria di Mindlin-Reissner in cui viene considerato anche il contributo della deformazione dovuta al taglio risolvendolo secondo la formulazione isoparametrica. Tutte le caratteristiche sono calcolate attraverso l'integrazione numerica ai punti di Gauss secondo la regola 2x2 ed estrapolate ai nodi.

Nel caso delle platee di fondazione, l'interazione viene modellata attraverso l'introduzione di molle distribuite sulla superficie dell'elemento che vengono automaticamente concentrate (rappresentative della propria area di influenza e calcolate attraverso l'integrazione di Gauss) e applicate ai nodi di estremità.

Il calcolo è stato effettuato seguendo la teoria di Brinch Hansen, la quale tiene conto:

- della forma della fondazione;
- della profondità del piano di posa della fondazione;

- dell'inclinazione del carico sulla fondazione;
- dell'eccentricità del carico;
- dell'inclinazione del piano di posa della fondazione;
- dell'inclinazione del piano di campagna;
- dell'effetto inerziale nella fondazione;
- dell'effetto cinematico del sottosuolo;

Il carico limite si ottiene dalla seguente espressione:

$$q_{lim} = 0.5 \cdot B' \cdot [\gamma_2' + (\gamma_2 - \gamma_2') \cdot dw/B] \cdot N_{\gamma s} \cdot \gamma_2 \cdot d_1 \cdot \gamma_1 \cdot \gamma_2 \cdot b \cdot \gamma_2 \cdot \gamma_2 \cdot e \cdot \gamma_1 + c \cdot N_c \cdot s_c \cdot d_c \cdot i_c \cdot g_c \cdot b_c + z_c (q + \gamma_1 \cdot D) \cdot N_q \cdot s_q \cdot d_q \cdot i_q \cdot g_q \cdot b_q \cdot z_q$$

Dove: $B' = B - 2 \cdot e$

B è il lato minore della fondazione.

e è l'eccentricità del carico lungo B .

D è la profondità del piano di posa della fondazione.

γ_1 è il peso del terreno sopra il piano di posa della fondazione.

γ_2 è il peso del terreno sotto il piano di posa della fondazione.

γ_2' è il peso del terreno immerso sotto il piano di posa.

C è la coesione del terreno.

q è il carico uniformemente distribuito ai lati della fondazione.

dw è la profondità della falda acquifera.

La verifica del sistema di fondazione relativo alla struttura in oggetto, è stata effettuata sulla base dei dati geologici e dei parametri geotecnici forniti, seguendo l'approccio di progetto relativo alla normativa di riferimento (punti 6.4.2.1 del DM 14/01/2008 e 6.4.3 per fondazioni su pali del DM 14/01/2008)

A1 + M1 + R3

Dove:

- Coefficienti parziali per le azioni

CARICHI	COEFFICIENTE PARZIALE	Comb. A1
PERMANENTI	γ_{G1ns}	1.3
PERMANENTI NON STRUTTURALI	γ_{G2ns}	1.5
VARIABILI	γ_{Qi}	1.5

- Coefficienti per i parametri geotecnici del terreno

PARAMETRO	GRANDEZZA ALLA QUALE APPL. IL COEFF. PARZIALE	Comb. M1
Tangente dell'angolo di attrito	$\tan \phi$	1.0
Coesione drenata del terreno	C	1.0
Coesione non drenata del terreno	C_u	1.0
Peso dell'unità di volume	γ	1.0

- Coefficienti parziali γ_R per le verifiche agli stati ultimi di fondazioni superficiali

VERIFICA	COEFFICIENTE PARZIALE R3
Capacità portante	$\gamma_R = 2.3$

Le verifiche vengono riassunte nelle successive tabelle.

8.3. Risultati delle verifiche di capacità portante

Si riportano i risultati delle verifiche delle due cabine, dove viene utilizzata la seguente simbologia.

Platea : numero della platea;

Fili : fili fissi ai quali appartiene la platea considerata;
 A1 - Lt : verifica della combinazione di carico A1 a lungo termine;
 D : profondità del piano di posa;
 qlimd : carico limite di calcolo;
 σ_t : tensione di calcolo;
 S : coefficiente di sicurezza;
 Esito : V = Verificato; NV = Non Verificato

INVERTER

Platea	Fili	D [cm]	qlimd [daN/cm ²]	σ_t [daN/cm ²]	S	Esito
1	13, 14, 10, 9	30.00	4.98	0.54	9.22	V
2	14, 15, 11, 10	30.00	3.54	0.56	6.32	V
3	15, 16, 12, 11	30.00	3.49	0.56	6.23	V
4	11, 12, 8, 7	30.00	3.33	0.54	6.17	V
5	8, 4, 3, 7	30.00	3.49	0.56	6.23	V
6	3, 2, 6, 7	30.00	3.54	0.56	6.32	V
7	2, 1, 5, 6	30.00	4.98	0.54	9.22	V
8	5, 9, 10, 6	30.00	3.71	0.54	6.87	V
9	10, 11, 7, 6	30.00	3.52	0.54	6.52	V
10	16, 20, 19, 12	30.00	4.98	0.54	9.22	V
11	12, 19, 18, 8	30.00	3.71	0.54	6.87	V
12	8, 18, 17, 4	30.00	4.98	0.54	9.22	V

CONSEGNA

Platea	Fili	D [cm]	qlimd [daN/cm ²]	σ_t [daN/cm ²]	S	Esito
1	13, 14, 10, 9	30.00	4.98	0.51	9.76	V
2	14, 15, 11, 10	30.00	3.49	0.54	6.46	V
3	15, 16, 12, 11	30.00	4.98	0.51	9.76	V
4	11, 12, 8, 7	30.00	3.71	0.51	7.27	V
5	8, 4, 3, 7	30.00	4.98	0.51	9.76	V
6	3, 2, 6, 7	30.00	3.49	0.54	6.46	V
7	2, 1, 5, 6	30.00	4.98	0.51	9.76	V
8	5, 9, 10, 6	30.00	3.71	0.51	7.27	V
9	10, 11, 7, 6	30.00	3.33	0.51	6.53	V

8.4. Risultati delle verifiche nei confronti degli stati limite di esercizio (SLE)

Gli stati limite di esercizio (punto 6.4.2.2 del DM 14/01/2008) investigati, si riferiscono al raggiungimento di valori critici dei cedimenti differenziali che possono compromettere la funzionalità dell'opera. Il calcolo dei cedimenti è stato eseguito per la combinazione di esercizio rara, frequente, quasi permanente.

Si riportano i risultati delle verifiche delle due cabine, dove viene utilizzata la seguente simbologia.

Platea : numero sella platea;
 Fili : fili fissi ai quali appartiene la platea considerata;
 Comb. : tipo involuppo;
 Dist. : distanza tra i punti di massimo cedimento differenziale;
 Istant. : cedimento istantaneo;
 Consol. : cedimento di consolidamento;
 Tot. : cedimento totale;
 Diff. : cedimento differenziale;
 Lim. : cedimento limite (4‰ x Dist.);
 S : coefficiente di sicurezza;
 Esito : V = Verificato; NV = Non Verificato

INVERTER

Platea	Fili	Comb.	Dist. [cm]	Max			Min			Diff. [cm]	Lim. [cm]	S	Esito
				Istant. [cm]	Consol. [cm]	Tot. [cm]	Istant. [cm]	Consol. [cm]	Tot. [cm]				
1	13, 14, 10, 9	Caratt.	50.0	-0.0550	-0.0968	-0.1518	-0.0548	-0.0967	-0.1515	0.0004	0.2000	550.57	V
		Freq.	50.0	-0.0536	-0.0961	-0.1497	-0.0534	-0.0960	-0.1493	0.0004	0.2000	547.56	V
		Q. Perm.	50.0	-0.0522	-0.0953	-0.1475	-0.0519	-0.0952	-0.1471	0.0004	0.2000	544.58	V
2	14, 15, 11, 10	Caratt.	50.0	-0.0566	-0.0976	-0.1542	-0.0544	-0.0965	-0.1508	0.0034	0.2000	58.53	V
		Freq.	50.0	-0.0551	-0.0968	-0.1519	-0.0529	-0.0957	-0.1486	0.0033	0.2000	59.86	V
		Q. Perm.	50.0	-0.0536	-0.0961	-0.1497	-0.0514	-0.0950	-0.1464	0.0033	0.2000	61.24	V
3	15, 16, 12, 11	Caratt.	106.3	-0.0569	-0.0977	-0.1546	-0.0539	-0.0962	-0.1501	0.0045	0.4250	94.54	V
		Freq.	106.3	-0.0553	-0.0970	-0.1523	-0.0524	-0.0955	-0.1479	0.0044	0.4250	97.09	V
		Q. Perm.	106.3	-0.0538	-0.0962	-0.1500	-0.0510	-0.0948	-0.1457	0.0042	0.4250	99.78	V
4	11, 12, 8, 7	Caratt.	384.1	-0.0547	-0.0966	-0.1514	-0.0493	-0.0939	-0.1432	0.0082	1.5366	188.18	V
		Freq.	384.1	-0.0532	-0.0959	-0.1491	-0.0479	-0.0932	-0.1411	0.0080	1.5366	193.09	V
		Q. Perm.	384.1	-0.0517	-0.0951	-0.1468	-0.0465	-0.0925	-0.1391	0.0077	1.5366	198.30	V
5	8, 4, 3, 7	Caratt.	194.1	-0.0569	-0.0977	-0.1546	-0.0539	-0.0962	-0.1501	0.0045	0.7762	172.65	V
		Freq.	194.1	-0.0553	-0.0970	-0.1523	-0.0524	-0.0955	-0.1479	0.0044	0.7762	177.99	V
		Q. Perm.	194.1	-0.0538	-0.0962	-0.1500	-0.0510	-0.0948	-0.1457	0.0042	0.7762	183.67	V
6	3, 2, 6, 7	Caratt.	50.0	-0.0566	-0.0976	-0.1542	-0.0544	-0.0965	-0.1508	0.0034	0.2000	58.53	V
		Freq.	50.0	-0.0551	-0.0968	-0.1519	-0.0529	-0.0957	-0.1486	0.0033	0.2000	59.86	V
		Q. Perm.	50.0	-0.0536	-0.0961	-0.1497	-0.0514	-0.0950	-0.1464	0.0033	0.2000	61.24	V
7	2, 1, 5, 6	Caratt.	50.0	-0.0550	-0.0968	-0.1518	-0.0548	-0.0967	-0.1515	0.0004	0.2000	550.57	V
		Freq.	50.0	-0.0536	-0.0961	-0.1497	-0.0534	-0.0960	-0.1493	0.0004	0.2000	547.56	V
		Q. Perm.	50.0	-0.0522	-0.0953	-0.1475	-0.0519	-0.0952	-0.1471	0.0004	0.2000	544.58	V
8	5, 9, 10, 6	Caratt.	50.0	-0.0550	-0.0968	-0.1518	-0.0545	-0.0965	-0.1511	0.0008	0.2000	256.45	V
		Freq.	50.0	-0.0536	-0.0961	-0.1497	-0.0531	-0.0958	-0.1489	0.0008	0.2000	255.15	V
		Q. Perm.	50.0	-0.0522	-0.0954	-0.1475	-0.0516	-0.0951	-0.1467	0.0008	0.2000	253.85	V
9	10, 11, 7, 6	Caratt.	275.4	-0.0548	-0.0967	-0.1515	-0.0503	-0.0944	-0.1447	0.0068	1.1016	162.46	V
		Freq.	275.4	-0.0534	-0.0960	-0.1493	-0.0489	-0.0937	-0.1426	0.0067	1.1016	165.08	V
		Q. Perm.	275.4	-0.0519	-0.0952	-0.1471	-0.0475	-0.0930	-0.1406	0.0066	1.1016	167.80	V
10	16, 20, 19, 12	Caratt.	50.0	-0.0545	-0.0965	-0.1511	-0.0543	-0.0964	-0.1507	0.0004	0.2000	494.01	V
		Freq.	50.0	-0.0531	-0.0958	-0.1489	-0.0528	-0.0957	-0.1485	0.0004	0.2000	492.92	V
		Q. Perm.	50.0	-0.0516	-0.0951	-0.1467	-0.0514	-0.0950	-0.1463	0.0004	0.2000	491.82	V
11	12, 19, 18, 8	Caratt.	50.0	-0.0545	-0.0965	-0.1510	-0.0540	-0.0963	-0.1502	0.0008	0.2000	257.70	V
		Freq.	50.0	-0.0531	-0.0958	-0.1489	-0.0525	-0.0955	-0.1481	0.0008	0.2000	256.62	V
		Q. Perm.	50.0	-0.0516	-0.0951	-0.1467	-0.0511	-0.0948	-0.1459	0.0008	0.2000	255.54	V
12	8, 18, 17, 4	Caratt.	50.0	-0.0545	-0.0965	-0.1511	-0.0543	-0.0964	-0.1507	0.0004	0.2000	494.01	V
		Freq.	50.0	-0.0531	-0.0958	-0.1489	-0.0528	-0.0957	-0.1485	0.0004	0.2000	492.92	V
		Q. Perm.	50.0	-0.0516	-0.0951	-0.1467	-0.0514	-0.0950	-0.1463	0.0004	0.2000	491.82	V

CONSEGNA

Platea	Fili	Comb.	Dist. [cm]	Max			Min			Diff. [cm]	Lim. [cm]	S	Esito
				Istant. [cm]	Consol. [cm]	Tot. [cm]	Istant. [cm]	Consol. [cm]	Tot. [cm]				
1	13, 14, 10, 9	Caratt.	50.0	-0.0521	-0.0953	-0.1474	-0.0517	-0.0951	-0.1467	0.0007	0.2000	299.81	V
		Freq.	70.7	-0.0506	-0.0946	-0.1452	-0.0502	-0.0944	-0.1446	0.0006	0.2828	455.01	V
		Q. Perm.	70.7	-0.0492	-0.0939	-0.1431	-0.0488	-0.0936	-0.1424	0.0006	0.2828	438.96	V
2	14, 15, 11, 10	Caratt.	106.3	-0.0543	-0.0964	-0.1508	-0.0510	-0.0947	-0.1457	0.0051	0.4250	84.08	V
		Freq.	106.3	-0.0528	-0.0957	-0.1485	-0.0495	-0.0940	-0.1435	0.0050	0.4250	85.82	V
		Q. Perm.	106.3	-0.0513	-0.0949	-0.1462	-0.0481	-0.0933	-0.1413	0.0048	0.4250	87.63	V
3	15, 16, 12, 11	Caratt.	50.0	-0.0521	-0.0953	-0.1474	-0.0517	-0.0951	-0.1467	0.0007	0.2000	299.81	V
		Freq.	50.0	-0.0507	-0.0946	-0.1453	-0.0502	-0.0944	-0.1446	0.0007	0.2000	299.17	V
		Q. Perm.	50.0	-0.0492	-0.0939	-0.1431	-0.0488	-0.0936	-0.1424	0.0007	0.2000	298.53	V
4	11, 12, 8, 7	Caratt.	50.0	-0.0521	-0.0953	-0.1473	-0.0513	-0.0949	-0.1462	0.0011	0.2000	179.98	V
		Freq.	50.0	-0.0506	-0.0946	-0.1452	-0.0499	-0.0942	-0.1441	0.0011	0.2000	180.20	V
		Q. Perm.	50.0	-0.0492	-0.0939	-0.1430	-0.0484	-0.0935	-0.1419	0.0011	0.2000	180.42	V
5	8, 4, 3, 7	Caratt.	50.0	-0.0521	-0.0953	-0.1474	-0.0517	-0.0951	-0.1467	0.0007	0.2000	299.81	V
		Freq.	50.0	-0.0507	-0.0946	-0.1453	-0.0502	-0.0944	-0.1446	0.0007	0.2000	299.17	V
		Q. Perm.	50.0	-0.0492	-0.0939	-0.1431	-0.0488	-0.0936	-0.1424	0.0007	0.2000	298.53	V
6	3, 2, 6, 7	Caratt.	106.3	-0.0543	-0.0964	-0.1508	-0.0510	-0.0947	-0.1457	0.0051	0.4250	84.08	V
		Freq.	106.3	-0.0528	-0.0957	-0.1485	-0.0495	-0.0940	-0.1435	0.0050	0.4250	85.82	V
		Q. Perm.	106.3	-0.0513	-0.0949	-0.1462	-0.0481	-0.0933	-0.1413	0.0048	0.4250	87.63	V
7	2, 1, 5, 6	Caratt.	50.0	-0.0521	-0.0953	-0.1474	-0.0517	-0.0951	-0.1467	0.0007	0.2000	299.81	V
		Freq.	50.0	-0.0507	-0.0946	-0.1453	-0.0502	-0.0944	-0.1446	0.0007	0.2000	299.17	V
		Q. Perm.	50.0	-0.0492	-0.0939	-0.1431	-0.0488	-0.0936	-0.1424	0.0007	0.2000	298.53	V
8	5, 9, 10, 6	Caratt.	50.0	-0.0521	-0.0953	-0.1473	-0.0513	-0.0949	-0.1462	0.0011	0.2000	179.98	V
		Freq.	50.0	-0.0506	-0.0946	-0.1452	-0.0499	-0.0942	-0.1441	0.0011	0.2000	180.20	V
		Q. Perm.	50.0	-0.0492	-0.0939	-0.1430	-0.0484	-0.0935	-0.1419	0.0011	0.2000	180.42	V
9	10, 11, 7, 6	Caratt.	384.1	-0.0517	-0.0951	-0.1467	-0.0458	-0.0921	-0.1379	0.0089	1.5366	173.39	V
		Freq.	384.1	-0.0502	-0.0944	-0.1446	-0.0444	-0.0687	-0.1131	0.0314	1.5366	48.88	V
		Q. Perm.	384.1	-0.0488	-0.0936	-0.1424	-0.0431	-0.0681	-0.1112	0.0312	1.5366	49.21	V

9. CONCLUSIONI

In funzione dei risultati ottenuti dallo studio geologico e della tipologia strutturale adottata per i lavori in oggetto, si è proceduto alla scelta delle tipologie di fondazione profonde per distribuire i carichi trasmessi dalla sovrastruttura agli strati più profondi della sezione geologica affidando alle fondazioni indirette anche il compito di ridurre i cedimenti di progetto valutati certamente ammissibili per le opere in oggetto.

Le dimensioni strutturali delle opere di fondazione, le tipologie usate e la loro ubicazione risultano descritte nella prima parte della presente relazione e vengono meglio evidenziate negli elaborati grafici allegati.

Le verifiche di sicurezza relative agli stati limite ultimi (SLU) ed agli stati limite d'esercizio (SLE) indagati risultano tali da non limitare l'uso della costruzione, la sua efficienza, la durabilità della struttura garantendo un grado di sicurezza ed un livello di prestazioni nel rispetto della normativa vigente in materia.

Si rimanda alla Relazione Geologica-Tecnica redatta dal Dott. Geologo Stefani per prendere visione di ogni altra informazione relativa alla stratigrafia che caratterizza il suolo di fondazione.

Per quanto sopra esposto, sulla base dei dati disponibili, nel rispetto delle disposizioni progettuali individuate, l'intervento si ritiene compatibile con le caratteristiche del sottosuolo ed attuabile nel rispetto delle Norme vigenti e delle esigenze della Committenza.

Si prescrive che in corso d'opera si debba riscontrare la rispondenza della caratterizzazione geotecnica assunta in progetto con una campagna geognostica in sito e/o laboratorio, così come prescritto nella relazione Geologico-Tecnica.

Grottaglie, gennaio 2011

IL TECNICO

Ing. Armando RIMONDO