

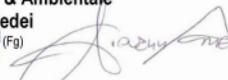
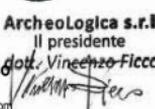
# INTEGRALE RICOSTRUZIONE PARCHI EOLICI "Faeto-Celle"

**ADEGUAMENTO TECNICO IMPIANTO EOLICO MEDIANTE INTERVENTO DI REPOWERING  
DELLE TORRI ESISTENTI E RIDUZIONE NUMERICA DEGLI AEROGENERATORI**



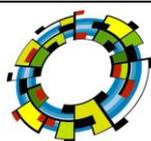
**Edison Rinnovabili Spa**  
Foro Buonaparte, 31 - 20121 Milano



Progettazione Coordinamento	 <b>VEGA sas</b> LANDSCAPE ECOLOGY & URBAN PLANNING <small>Via.405 Cav. 48 - 71021 Foggia - Tel.0881.760251 - Fax 1784412324        mail: info@studioprogettazioneveg.org - website: www.studioprogettazioneveg.org</small>	Studi Ambientali e Paesaggistici	<b>Arch. Antonio Demaio</b> Via N. delli Carri, 48 - 71121 Foggia (FG) Tel. 0881.756251   Fax 1784412324 E-Mail: sit.vega@gmail.com 		
Studio Geologico-Idrologico	<b>Studio di Geologia Tecnica &amp; Ambientale</b> <b>Dott.sa Geol. Giovanna Amedei</b> Via Pietro Nenni, 4 - 71012 Rodi Garganico (Fg) Tel./Fax 0884.965793   Cell. 347.6262259 E-Mail: giovannaamedei@iscsca.it 	Studio Acustico	<b>Arch. Denora Marianna</b> Via Savona, 3 70022 Altamura (BA) Tel./Fax 080.9162455   Cell. 3315600322 E-Mail: info@studioprogettazioneacustica.it 		
Studi Naturalistici e Forestali	<b>Dott. Forestale Luigi Lupo</b> Via Mario Pagano 47 - 71121 Foggia E-Mail: luigilupo@libero.it 	Studio Idraulico	<b>Studio di ingegneria</b> <b>Dott.sa Ing. Antonella Laura Giordano</b> Viale degli Aviatori, 73 - 71121 Foggia (FG) Tel./Fax 0881.070126   Cell. 334.81.81.81 E-Mail: lauragiordano@gmail.com 		
Progettazione elettrica	 <b>STUDIO INGEGNERIA ELETTRICA</b> MEZZINA dott. ing. Antonio Via T. Solis 128   71016 San Severo (FG) Tel. 0882.228072   Fax 0882.243651 e-mail: info@studiomezzina.net 	Studio archeologico	 <b>Archeologica s.r.l.</b> Il presidente <b>Dott. Vincenzo Ficco</b> Tel. 0881.750334 E-Mail: info@archeologica srl.com 		
Opera	<p><b>Progetto di Integrale Ricostruzione di n. 1 impianto eolico composto da 14 aerogeneratori da 6,6 MW per una potenza complessiva di 92,4 MW nei Comuni di Faeto e Celle di San Vito e relative opere di connessione alla località "Monte S.Vito - Ciuccia - Crepacore" con smantellamento di n. 60 aerogeneratori di potenza in esercizio pari a 33,75 MW.</b></p>				
Oggetto	Nome Elaborato: VIA_02_R2P8522-CPSS_E_Relazione calcoli preliminari opere di rete		Foglio: VIA_02_Calcoli preliminari opere ed impianti		
	Descrizione Elaborato: Relazione calcoli preliminari opere di rete				
00	Novembre 2023	Emissione per progetto definitivo	VEGA	Arch. A. Demaio	Edison Rinnovabili Spa
Rev.	Data	Oggetto della revisione	Elaborazione	Verifica	Approvazione
Scala:	---- Integrale Ricostruzione Faeto - Celle				
Formato:	Codice progetto AU   <b>R2P8522</b>				

Integrale Ricostruzione Parchi Eolici "Faeto-CelleSV".  
Adeguamento tecnico impianto eolico mediante intervento di Repowering delle torri esistenti e riduzione numerica degli aerogeneratori.

<b>1</b>	<b>Premessa .....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Normativa Tecnica e Riferimenti Bibliografici .....</b>	<b>1</b>
<b>3</b>	<b>Ubicazione Delle Opere .....</b>	<b>3</b>
<b>4</b>	<b>Descrizione Dei Manufatti Componenti L'Opera .....</b>	<b>3</b>
4.1	Fondazione del trasformatore .....	3
4.2	platea opere elettromeccaniche SEU .....	3
<b>5</b>	<b>Materiali Impiegati .....</b>	<b>3</b>
<b>6</b>	<b>Aspetti Geotecnici.....</b>	<b>3</b>
<b>7</b>	<b>Azioni Sulla Struttura e Parametri Sismici Di Calcolo.....</b>	<b>5</b>
7.1	Regolarità delle strutture e fattore di struttura .....	5
7.2	Combinazioni delle azioni sulla costruzione .....	5
7.3	Destinazione d'uso e sovraccarichi variabili dovuto alle azioni antropiche .....	7
<b>8</b>	<b>Modello Di Calcolo .....</b>	<b>8</b>
<b>9</b>	<b>DurabilitA .....</b>	<b>9</b>
<b>10</b>	<b>Misura Della Sicurezza .....</b>	<b>9</b>
<b>11</b>	<b>Schematizzazione Della Struttura .....</b>	<b>9</b>
<b>12</b>	<b>Combinazione Di Calcolo.....</b>	<b>11</b>
<b>13</b>	<b>Azioni Agenti Sulle Fondazioni .....</b>	<b>13</b>
<b>14</b>	<b>PARAMETRI SISMICI.....</b>	<b>14</b>



Integrale Ricostruzione Parchi Eolici "Vulturino-Volturara".  
Adeguamento tecnico impianto eolico mediante intervento di Repowering delle torri esistenti e riduzione numerica degli aerogeneratori.

## 1 PREMESSA

La presente relazione ha carattere puramente descrittivo-illustrativo, fornendo esclusivamente, nelle linee generali, indicazioni sulle soluzioni strutturali adottate e i metodi di calcolo utilizzati per le opere di rete dello stallo di Utenza (Cabina, Recinzione, Basamenti, ecc) per la connessione del parco eolico nei comuni di Faeto e Celle di San Vito in località "Monte S. Vito – Ciuccia - Crepacore" alla Stazione Elettrica Nazionale 150kW/380kW di Terna denominata "Celle San Vito".

Per una compiuta e dettagliata analisi strutturale delle opere, si rimanda pertanto alla fase di progettazione esecutiva che verrà svolta a valle dell'ottenimento delle autorizzazioni necessarie alla costruzione ed esercizio dell'impianto.

In sede di progettazione esecutiva, in seguito alle prove geotecniche sul terreno atte a definire i valori di portanza su ogni singola postazione, sarà possibile realizzare il calcolo puntuale della fondazione per l'aerogeneratore.

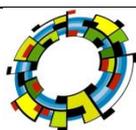
La relazione è strutturata nelle seguenti fasi:

- *descrizione delle opere e delle dimensioni architettoniche previste, con riferimento agli elaborati grafici del progetto;*
- *dettaglio delle normative di riferimento;*
- *descrizione dei materiali da utilizzare;*
- *analisi preliminare dei carichi;*
- *descrizione delle modalità e delle prescrizioni con cui dovranno essere eseguiti i calcoli nella fase esecutiva;*
- *elaborazione degli spettri elastici e di progetto;*
- *valutazione preliminare delle azioni agenti in fondazione;*
- *considerazioni sul dimensionamento delle opere e sulle armature.*

## 2 NORMATIVA TECNICA E RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

I calcoli preliminari delle opere si sono svolte nel rispetto della seguente normativa vigente:

- **D.M 14.01.2008 - Norme tecniche per le costruzioni;**
- **Circ. Ministero Infrastrutture e Trasporti 2 febbraio 2009, n. 617 Istruzioni per l'applicazione delle "Nuove norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. 14 gennaio 2008;**
- **Legge 2 febbraio 1974 n. 64 (G. U. 21 marzo 1974 n. 76) "Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche";**
- **Legge 5 novembre 1971 n. 1086 (G. U. 21 dicembre 1971 n. 321) "Norme per la disciplina delle opere di conglomerato cementizio armato, normale e precompresso ed a struttura metallica".**
- **DM 17.01.2018 - Nuove Norme tecniche per le costruzioni e Circolare esplicativa 21 gennaio**



## 2019;

Le norme NTC 2018, precisano che la sicurezza e le prestazioni di una struttura o di una parte di essa devono essere valutate in relazione all'insieme degli stati limite che verosimilmente si possono verificare durante la vita normale. Prescrivono inoltre che debba essere assicurata una robustezza nei confronti di azioni eccezionali.

La sicurezza e le prestazioni saranno garantite verificando gli opportuni stati limite definiti di concerto con il Committente in funzione dell'utilizzo della struttura, della sua vita nominale e di quanto stabilito dalle norme di cui al D.M. 17.01.2018 e s.m. ed i.

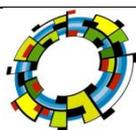
In particolare, nella fase esecutiva si dovrà verificare:

- la sicurezza nei riguardi degli stati limite ultimi (SLU) che possono provocare eccessive deformazioni permanenti, crolli parziali o globali, dissesti, che possono compromettere l'incolumità delle persone e/o la perdita di beni, provocare danni ambientali e sociali, mettere fuori servizio l'opera. Per le verifiche sono stati utilizzati i coefficienti parziali relativi alle azioni ed alle resistenze dei materiali in accordo a quanto previsto dal D.M. 14.01.2008 per i vari tipi di materiale.
- la sicurezza nei riguardi degli stati limite di esercizio (SLE) che possono limitare nell'uso e nella durata l'utilizzo della struttura per le azioni di esercizio. In particolare di concerto con il committente e coerentemente alle norme tecniche si sono definiti tali i limiti;
- la sicurezza nei riguardi dello stato limite del danno (SLD) causato da azioni sismiche con opportuni periodi di ritorno definiti di concerto al committente ed alle norme vigenti per le costruzioni in zona sismica;
- robustezza nei confronti di opportune azioni accidentali in modo da evitare danni sproporzionati in caso di incendi, urti, esplosioni, errori umani;
- per quando riguarda le fasi costruttive intermedie non si prevede che la struttura risulti, cimentata in maniera più gravosa della fase finale.

La citata O.P.C.M ha, fra l'altro, sancito che la potestà regionale di individuazione, formazione ed aggiornamento dell'elenco delle zone sismiche ricadenti nel territorio regionale doveva essere esercitata sulla base dei criteri approvati e contenuti nell'Allegato 1 all'O.P.C.M.

In applicazione del citato O.P.C.M. 3274, la nuova mappa nazionale del rischio sismico a cura della competente Amministrazione statale e confermava la zonizzazione sismica proposta dalla citata O.P.C.M. . Secondo l'Allegato 1 citato, il territorio del Comune di Montalto di Castro è classificato come appartenente alla zona sismica 4.

Le strutture di fondazione degli aerogeneratori sono state progettate effettuando le calcolazioni per una zona equivalente alla 1° categoria.



### 3 UBICAZIONE DELLE OPERE

Il presente calcolo è finalizzato alla costruzione di una cabina di utenza da insediarsi all'interno della Stazione di Utenza dell'impianto di produzione di energia elettrica costituito 14 aerogeneratori da installarsi in località "Monte S. Vito – Crepacore - Ciuccia" in agro nei Comuni di Faeto e Celle di San Vito (FG) e la realizzazione di un cavidotto interrato che porterà l'energia prodotta alla Stazione RTN di Terna di Cella San Vito.

### 4 DESCRIZIONE DEI MANUFATTI COMPONENTI L'OPERA

Verranno di seguito esposte le caratteristiche dei manufatti che compongono la cabina primaria e delle linee AT ed MT allo scopo di descrivere e dimensionare gli stessi.

#### 4.1 FONDAZIONE DEL TRASFORMATORE

La fondazione del trasformatore sarà realizzata nella forma di un monoblocco costituito nella parte centrale da una platea in c.a. e di n. 2 vasche laterali per la raccolta delle acque e di perdite del trasformatore che verranno prelevate e smaltite da apposite ditte. La dimensione tipica è quella riportata nell'elaborato planimetrico allegato alla presente relazione di calcolo preliminare.

#### 4.2 PLATEA OPERE ELETTROMECCANICHE SEU

La fondazione delle opere elettromeccaniche sarà realizzata nella forma di una platea in c.a. con una superficie di base come quella riportata nell'elaborato planimetrico allegato ai seguenti calcoli e di altezza pari a 60cm poggiante su uno strato di magrone da 15cm.

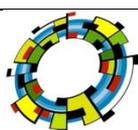
### 5 MATERIALI IMPIEGATI

Di seguito vengono riportate le caratteristiche dei materiali impiegati:

- ✓ Acciaio B 450 C -  $f_{tk}=540$  N/mm<sup>2</sup>,  $f_{yk}$  450 N/mm<sup>2</sup> ( $E=200000$  N/mm<sup>2</sup>; peso spec.=78,5 KN/mc;  $G=84000$  N/mm<sup>2</sup>);
- ✓ Calcestruzzo per strutture prefabbricate – C28/35,  $R_{ck} = 350$  N/mm<sup>2</sup> ( $E= 32308.2$  N/mm<sup>2</sup>;  $n= 0.2$ ; peso spec.= 25000 N/mc);
- ✓ Calcestruzzo per sottofondi – C12/15,  $R_{ck} = 150$  N/mm<sup>2</sup> ( $E= 27085.17$  N/mm<sup>2</sup>;  $n= 0.2$ ; peso spec.= 25000 N/mc);
- ✓ Calcestruzzo di regolarizzazione – C16/20,  $R_{ck} = 250$  N/mm<sup>2</sup> ( $E= 28607.90$  N/mm<sup>2</sup>;  $n= 0.2$ ; peso spec.= 25000 N/mc);
- ✓ Calcestruzzo per opere in c.a. – C20/25,  $R_{ck} = 250$  N/mm<sup>2</sup> ( $E= 29961.9$  N/mm<sup>2</sup>;  $n= 0.2$ ; peso spec.= 25000 N/mc);

### 6 ASPETTI GEOTECNICI

Dai dati e dalle interpretazioni delle indagini descritte nella relazione geologica si sono desunti i



Integrale Ricostruzione Parchi Eolici "Vulturino-Volturara".

Adeguamento tecnico impianto eolico mediante intervento di Repowering delle torri esistenti e riduzione numerica degli aerogeneratori.

parametri fisici e geotecnici e il relativo modello geotecnico da utilizzare per i calcoli e le verifiche geotecniche esposti nei paragrafi successivi.

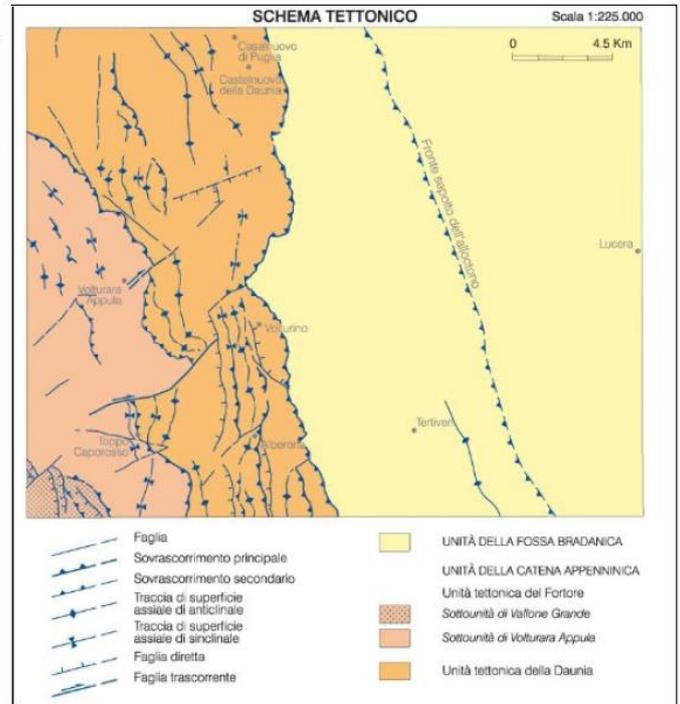
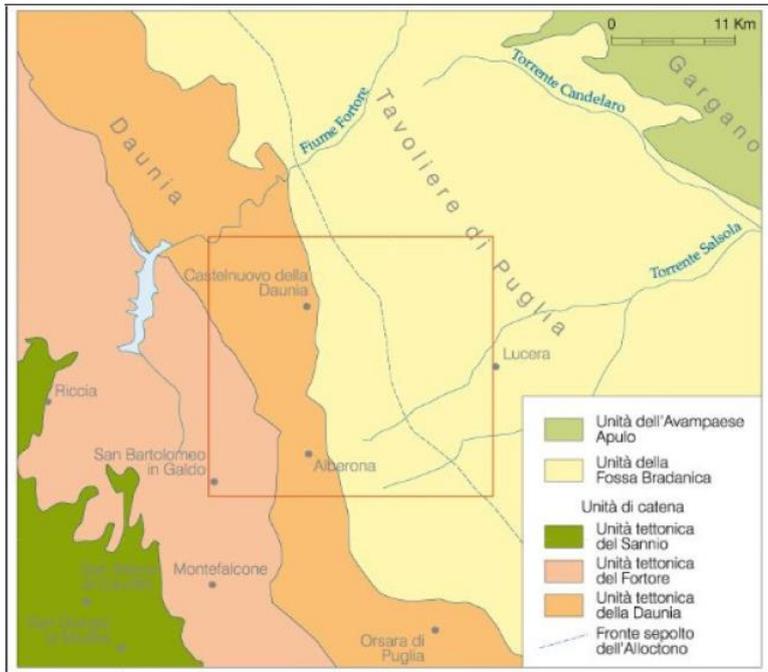
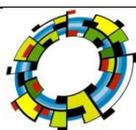


Figura 1: Stralcio carta geologia (Relazione Geologica)



## 7 AZIONI SULLA STRUTTURA E PARAMETRI SISMICI DI CALCOLO

### 7.1 REGOLARITA DELLE STRUTTURE E FATTORE DI STRUTTURA

Per quanto riguarda il calcolo del fattore di struttura da adottare per il calcolo si adotta un fattore di comportamento associato alle strutture intelaiate in c.a., mentre per le verifiche geotecniche delle opere di fondazioni si fa riferimento a strutture non dissipative., come previsto dalle NTC18. Trattandosi quindi di sole fondazioni superficiali e strutture interrato con pareti in c.a. (e dunque a comportamento rigido), progettate in campo elastico, il fattore di struttura  $q$  sarà automaticamente determinato e pari a 1. Le fondazioni, dovendo essere progettate per rimanere in campo elastico, non necessiteranno quindi di specifiche armature per ottenere un comportamento duttile.

Tutte le strutture sono considerate regolari così come previsto dalle regole delle NTC18.

### 7.2 COMBINAZIONI DELLE AZIONI SULLA COSTRUZIONE

Le azioni definite come al paragrafo 2.5.1 delle NTC 2018 , dovranno essere combinate in accordo a quanto definito al paragrafo 2.5.3 delle stesse NT, applicando i seguenti coefficienti di combinazione:

**Tabella 7-1: Valori dei coefficienti di combinazione (Tabella 2.5.I del D.M. 2018)**

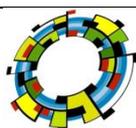
Categoria/Azione variabile	Y0j	Y1j	Y2j
Categoria A Ambienti ad uso residenziale	0,7	0,5	0,3
Categoria B Uffici	0,7	0,5	0,3
Categoria C Ambienti suscettibili di affollamento	0,7	0,7	0,6
Categoria D Ambienti ad uso commerciale	0,7	0,7	0,6
Categoria E Biblioteche, archivi, magazzini e ambienti ad uso industriale	1	0,9	0,8
Categoria F Rimesse e parcheggi (per autoveicoli di peso . 30 kN)	0,7	0,7	0,6
Categoria G Rimesse e parcheggi (per autoveicoli di peso > 30 kN)	0,7	0,5	0,3
Categoria H Coperture	0	0	0
Vento	0,6	0,2	0
Neve (a quota . 1000 m s.l.m.)	0,5	0,2	0
Neve (a quota > 1000 m s.l.m.)	0,7	0,5	0,2
Variazioni termiche	0,6	0,5	0

I valori dei coefficienti parziali di sicurezza  $\gamma_{Gi}$  e  $\gamma_{Qj}$  da utilizzare nelle calcolazioni sono definiti nelle NTC 2018 al paragrafo 2.6.1- Tab. 2.6.I.

Le prestazioni attese nei confronti delle azioni sismiche dovranno essere verificate agli stati limite, sia di esercizio che ultimi individuati riferendosi alle prestazioni della costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali e gli impianti.

Gli stati limite di esercizio sono:

- Stato Limite di Operatività (SLO);
- Stato Limite di Danno (SLD).



Integrale Ricostruzione Parchi Eolici "Vulturino-Volturara".

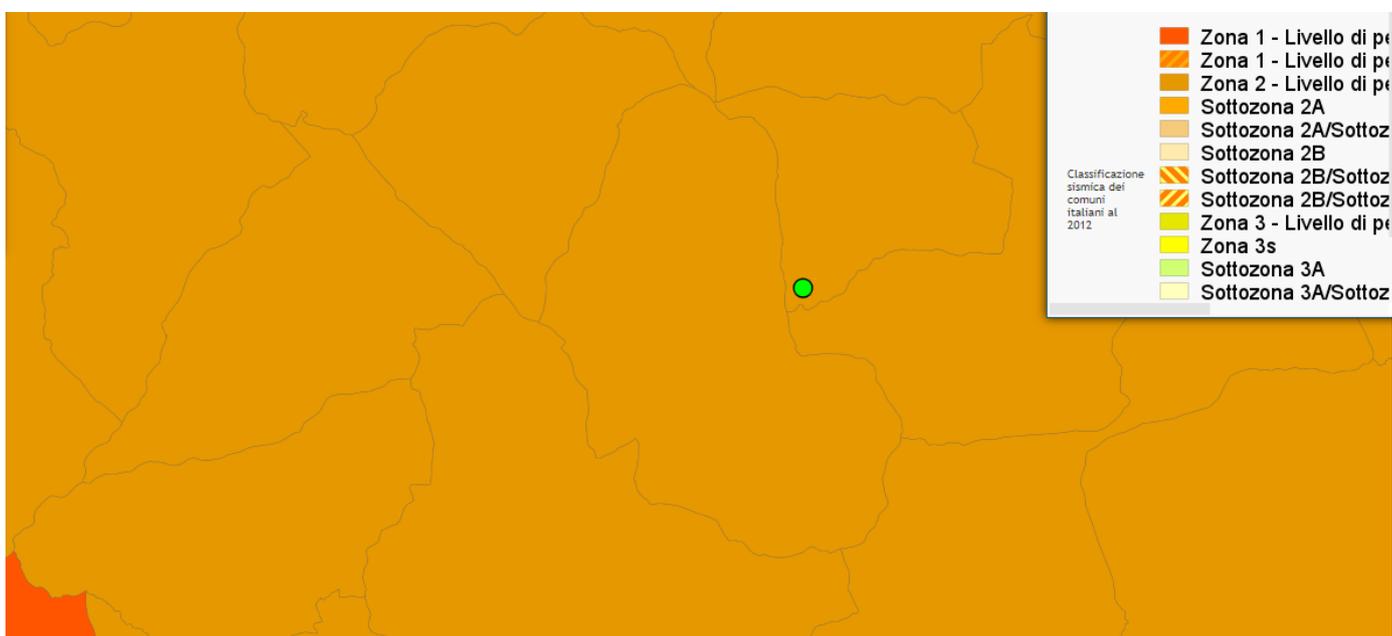
Adeguamento tecnico impianto eolico mediante intervento di Repowering delle torri esistenti e riduzione numerica degli aerogeneratori.

Gli stati limite ultimi sono:

- Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV);
- Stato Limite di prevenzione del Collasso (SLC).

Le NTC 2008 indicano che l'azione sismica sia caratterizzata da 3 componenti traslazionali, due orizzontali contrassegnate da X ed Y ed una verticale contrassegnata da Z, considerate tra di loro indipendenti, ed in funzione del tipo di analisi adottata, mediante una delle seguenti rappresentazioni:

- accelerazione massima attesa in superficie;
- accelerazione massima e relativo spettro di risposta attesi in superficie;
- accelerogramma.

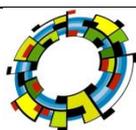


**Figura 3. Comuni di Faeto-Celle in funzione della classificazione sismica**

L'azione in superficie dovrà essere assunta come agente su tali piani. Le due componenti ortogonali indipendenti che descrivono il moto orizzontale saranno caratterizzate dallo stesso spettro di risposta. L'accelerazione massima e lo spettro di risposta della componente verticale attesa in superficie, in assenza di documentazione potranno essere determinati sulla base dell'accelerazione massima e dello spettro di risposta delle due componenti orizzontali.

Per la definizione delle forme spettrali (spettri elastici e spettri di progetto), in conformità ai dettami del NTC 2018 § 3.2.3. vanno definiti i seguenti termini:

- Vita Nominale;
- Classe d'Uso;
- Categoria del suolo;
- Coefficiente Topografico;



Integrale Ricostruzione Parchi Eolici "Vulturino-Volturara".  
Adeguamento tecnico impianto eolico mediante intervento di Repowering delle torri esistenti e riduzione numerica degli aerogeneratori.

- Latitudine e longitudine del sito oggetto di edificazione;
- Fattore di struttura  $q$ .

Tali valori sono stati utilizzati da apposita procedura informatizzata che, a partire dalle coordinate del sito oggetto di intervento (sistema di coordinate UTM wgs 84 geografiche) fornisce i parametri di pericolosità sismica da considerare ai fini del calcolo strutturale.

Nel caso in esame l'analisi è stata svolta in prossimità della Cabina Primaria. Le verifiche delle prestazioni saranno effettuate per le azioni derivanti dalla neve, dal vento e dalla temperatura secondo quanto previsto al cap. 3 del DM 17.01.18 e della Circolare del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti del 21 gennaio 2019 n. 7 per un periodo di ritorno coerente alla classe della struttura ed alla sua vita utile (vita di riferimento  $\geq 100$  anni, struttura Classe d'uso IV – Edifici strategici cfr DGR Puglia nr 1214/10).

Nel caso in specie trattandosi di opere di classe d'uso 4, gli stati limite da verificare ed il tipo di verifica da effettuare secondo norma sono i seguenti:

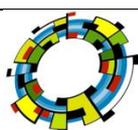
- Stato Limite di Operatività (SLO) con controllo degli spostamenti;
- Stato Limite di Danno (SLD) con controllo degli spostamenti;
- Stato Limite di Danno (SLD) con controllo degli spostamenti + verifiche di resistenza;
- Stato Limite di Salvaguardia (SLV) con verifica di resistenza.

### 7.3 DESTINAZIONE D'USO E SOVRACCARICHI VARIABILI DOVUTO ALLE AZIONI ANTROPICHE

Per la determinazione dell'entità e della distribuzione spaziale e temporale dei sovraccarichi variabili si dovrà fare riferimento alla tabella del D.M. 14.01.2008 in funzione della destinazione d'uso.

I carichi variabili comprendono i carichi legati alla destinazione d'uso dell'opera; i modelli di tali azioni possono essere costituiti da:

- carichi verticali uniformemente distribuiti  $q_k$  [kN/m<sup>2</sup>]
- carichi verticali concentrati  $Q_k$  [kN]
- carichi orizzontali lineari  $H_k$  [kN/m]



Integrale Ricostruzione Parchi Eolici "Vulturino-Volturara".

Adeguamento tecnico impianto eolico mediante intervento di Repowering delle torri esistenti e riduzione numerica degli aerogeneratori.

Cat.	Ambienti	$q_k$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$Q_k$ [kN]	$H_k$ [kN/m]
A	<b>Ambienti ad uso residenziale.</b> Sono compresi in questa categoria i locali di abitazione e relativi servizi, gli alberghi. (ad esclusione delle aree suscettibili di affollamento)	2,00	2,00	1,00
B	<b>Uffici.</b> Cat. B1 Uffici non aperti al pubblico Cat. B2 Uffici aperti al pubblico	2,00 3,00	2,00 2,00	1,00 1,00
C	<b>Ambienti suscettibili di affollamento</b> Cat. C1 Ospedali, ristoranti, caffè, banche, scuole Cat. C2 Balconi, ballatoi e scale comuni, sale convegni, cinema, teatri, chiese, tribune con posti fissi Cat. C3 Ambienti privi di ostacoli per il libero movimento delle persone, quali musei, sale per esposizioni, stazioni ferroviarie, sale da ballo, palestre, tribune libere, edifici per eventi pubblici, sale da concerto, palazzetti per lo sport e relative tribune	3,00 4,00 5,00	2,00 4,00 5,00	1,00 2,00 3,00
D	<b>Ambienti ad uso commerciale.</b> Cat. D1 Negozi Cat. D2 Centri commerciali, mercati, grandi magazzini, librerie...	4,00 5,00	4,00 5,00	2,00 2,00
E	<b>Biblioteche, archivi, magazzini e ambienti ad uso industriale.</b> Cat. E1 Biblioteche, archivi, magazzini, depositi, laboratori manifatturieri Cat. E2 Ambienti ad uso industriale, da valutarsi caso per caso	$\geq 6,00$ —	6,00 —	1,00* —
F-G	<b>Rimesse e parcheggi.</b> Cat. F Rimesse e parcheggi per il transito di automezzi di peso a pieno carico fino a 30 kN Cat. G Rimesse e parcheggi per transito di automezzi di peso a pieno carico superiore a 30 kN: da valutarsi caso per caso	2,50 —	2 x 10,00 —	1,00** —
H	<b>Coperture e sottotetti</b> Cat. H1 Coperture e sottotetti accessibili per sola manutenzione Cat. H2 Coperture praticabili Cat. H3 Coperture speciali (impianti, eliporti, altri) da valutarsi caso per caso	0,50 — —	1,20 secondo categoria di appartenenza —	1,00 — —
* non comprende le azioni orizzontali eventualmente esercitate dai materiali immagazzinati				
** per i soli parapetti o partizioni nelle zone pedonali. Le azioni sulle barriere esercitate dagli automezzi dovranno essere valutate caso per caso				

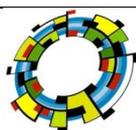
**Tabella1 : Valori dei carichi di esercizio per le diverse categorie di edifici (Tabella 3.1.II del D.M. 2008)**

I valori nominali e/o caratteristici  $q_k$ ,  $Q_k$  ed  $H_k$  di riferimento sono riportati nella Tab. 3.1.II. delle NTC 2018. In presenza di carichi verticali concentrati  $Q_k$  essi sono stati applicati su impronte di carico appropriate all'utilizzo ed alla forma dell'orizzontamento, in generale con forma dell'impronta di carico quadrata pari a 50 x 50 mm.

## 8 MODELLO DI CALCOLO

I modelli di calcolo da utilizzare saranno quelli esplicitamente richiamati nel D.M. 17.01.2018 ed in particolare:

- analisi elastica lineare per il calcolo delle sollecitazioni derivanti da carichi statici;
- analisi dinamica modale con spettri di progetto per il calcolo delle sollecitazioni di progetto dovute all'azione sismica;



Integrale Ricostruzione Parchi Eolici "Vulturino-Volturara".  
Adeguamento tecnico impianto eolico mediante intervento di Repowering delle torri esistenti e riduzione numerica degli aerogeneratori.

- analisi degli effetti del 2° ordine quando significativi;
- verifiche sezionali agli s.l.u. per le sezioni in c.a. utilizzando il legame parabola rettangolo per il calcestruzzo ed il legame elastoplastico incrudente a duttilità limitata per l'acciaio.

Per quanto riguarda le azioni sismiche ed in particolare per la determinazione del fattore di struttura, dei dettagli costruttivi e le prestazioni sia agli SLU che allo SLD si farà riferimento al D.M. 17.01.18 e alla circolare del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti del 21 gennaio 2019, n. 67 che è stata utilizzata come norma di dettaglio.

## 9 DURABILITÀ

Per garantire la durabilità delle strutture saranno prese in considerazione opportuni stati limite di esercizio (SLE) in funzione dell'uso e dell'ambiente in cui le strutture dovranno essere utilizzate limitando sia gli stati tensionali che, nel caso delle opere in calcestruzzo, l'ampiezza delle fessure.

Inoltre per garantire la durabilità, così come tutte le prestazioni attese, sarà posta adeguata cura nelle previsioni sia nell'esecuzione che nella manutenzione e gestione della struttura prevedendo tutti gli accorgimenti utili alla conservazione delle caratteristiche fisiche e dinamiche dei materiali e delle strutture. La qualità dei materiali e le dimensioni degli elementi sono stati previsti in coerenza con tali obiettivi.

## 10 MISURA DELLA SICUREZZA

Il metodo di verifica della sicurezza adottato sarà quello degli Stati Limite (SL) prevedendo due insiemi di verifiche rispettivamente per gli stati limite ultimi SLU e gli stati limite di esercizio SLE.

La sicurezza sarà quindi garantita progettando i vari elementi resistenti in modo da assicurare che la loro resistenza di calcolo sia sempre maggiore della corrispondente domanda in termini di azioni di calcolo.

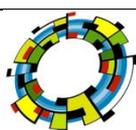
## 11 SCHEMATIZZAZIONE DELLA STRUTTURA

La struttura sarà modellata con il metodo degli elementi finiti utilizzando vari elementi di libreria specializzati per schematizzare i vari elementi strutturali.

In particolare le travi ed i pilastri saranno schematizzate con elementi trave a due nodi deformabili assialmente, a flessione e taglio utilizzando funzioni di forma cubiche di Hermite, modello finito che ha la caratteristica di fornire la soluzione esatta in campo elastico lineare per cui non necessita di ulteriore suddivisioni interne degli elementi strutturali.

Gli elementi finiti a due nodi possono essere utilizzati in analisi di tipo non lineare potendo modellare non linearità sia di tipo geometrico che meccanico con i seguenti modelli:

- Matrice geometrica per gli effetti del II° ordine;
- Non linearità meccanica per comportamento assiale solo resistente a trazione o compressione;
- Non linearità meccanica di tipo elasto-plastica con modellazione a plasticità concentrata e duttilità



Integrale Ricostruzione Parchi Eolici "Vulturino-Volturara".  
Adeguamento tecnico impianto eolico mediante intervento di Repowering delle torri esistenti e riduzione numerica degli aerogeneratori.

limitata con controllo della capacità rotazionale ultima delle cerniere plastiche.

Per gli elementi strutturali bidimensionali (pareti a taglio, setti, nuclei irrigidenti, piastre o superfici generiche) si utilizzerà un modello finito a 3 o 4 nodi di tipo shell che modella sia il comportamento membranale (lastra) che flessionale (piastra). Tale elemento finito di tipo isoparametrico sarà modellato con funzioni di forma di tipo polinomiale che rappresentano una soluzione congruente ma non esatta nello spirito del metodo FEM.

Il metodo è efficiente per il calcolo degli spostamenti nodali ed è sempre rispettoso dell'equilibrio a livello nodale con le azioni esterne. Le verifiche saranno effettuate sia direttamente sullo stato tensionale ottenuto, per le azioni di tipo statico e di esercizio. Per le azioni dovute al sisma (ed in genere per le azioni che provocano elevata domanda di deformazione anelastica), le verifiche saranno effettuate sulle risultanti (forze e momenti) agenti globalmente su una sezione dell'oggetto strutturale (muro a taglio, trave accoppiamento, etc..).

Nel modello si terranno in conto i disassamenti tra i vari elementi strutturali schematizzandoli come vincoli cinematici rigidi.

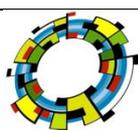
La presenza di orizzontamenti sarà tenuta in conto o con vincoli cinematici rigidi o con modellazione della soletta con elementi SHELL.

L'analisi delle sollecitazioni sarà condotta in fase elastica lineare tenendo conto eventualmente degli effetti del secondo ordine.

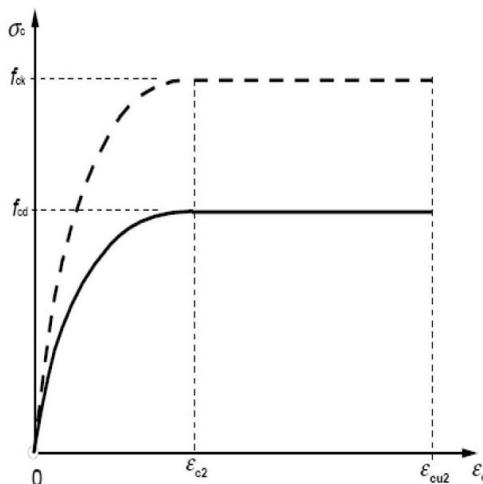
Le sollecitazioni derivanti dalle azioni sismiche saranno ottenute sia con da analisi statiche equivalenti che con da analisi dinamiche modali. I vincoli tra i vari elementi strutturali e con il terreno saranno modellati in maniera congruente al reale comportamento strutturale.

Il modello di calcolo terrà conto dell'interazione suolo-struttura schematizzando le fondazioni superficiali (con elementi plinto, trave o piastra) su suolo elastico alla Winkler.

Per le verifiche sezionali saranno utilizzati i seguenti legami:

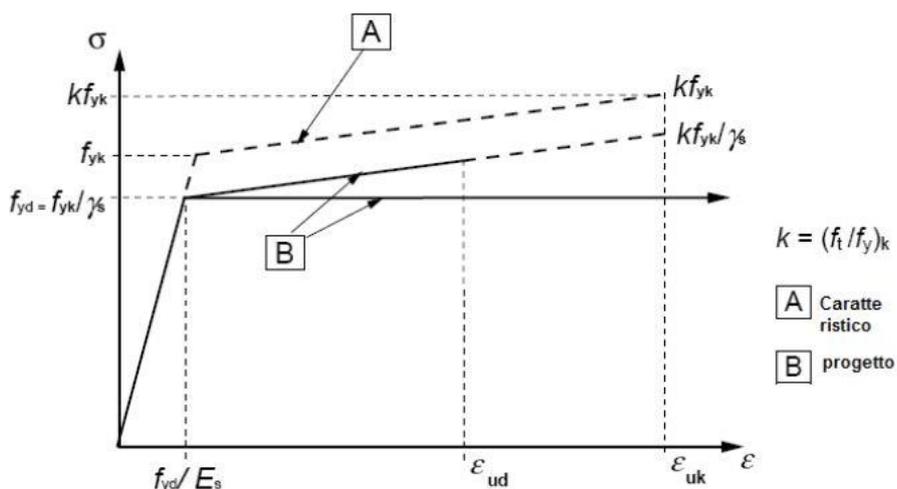


Integrale Ricostruzione Parchi Eolici "Vulturino-Volturara".  
Adeguamento tecnico impianto eolico mediante intervento di Repowering delle torri esistenti e riduzione numerica degli aerogeneratori.



**Figura 4: Legame costitutivo di progetto del calcestruzzo**

Il valore  $\epsilon_{cu2}$  nel caso di analisi non lineari è stato valutato in funzione dell'effettivo grado di confinamento esercitato dalle staffe sul nucleo di calcestruzzo.



**Figura 5: Legame costitutivo di progetto dell'acciaio per c.a.**

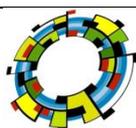
Il modello di calcolo da utilizzare è rappresentativo della realtà fisica per la configurazione finale anche in funzione delle modalità e sequenze costruttive.

## 12 COMBINAZIONE DI CALCOLO

Le combinazioni di calcolo da considerare sono quelle previste dal D.M. 17.01.2018 per i vari stati limite e per le varie azioni e tipologie costruttive.

In particolare, ai fini delle verifiche degli stati limite, sono state definite le seguenti combinazioni delle azioni ( Cfr. al § 2.5.3 NTC 2018):

- Combinazione fondamentale, generalmente impiegata per gli stati limite ultimi (SLU) (2.5.1);
- Combinazione caratteristica (rara), generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE)



Integrale Ricostruzione Parchi Eolici "Volturino-Volturara".  
Adeguamento tecnico impianto eolico mediante intervento di Repowering delle torri esistenti e riduzione numerica degli aerogeneratori.

irreversibili, da utilizzarsi nelle verifiche alle tensioni ammissibili di cui al § 2.7(2.5.2);

- Combinazione frequente, generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) reversibili (2.5.3);
- Combinazione quasi permanente (SLE), generalmente impiegata per gli effetti a lungo termine(2.5.4);
- Combinazione sismica, impiegata per gli stati limite ultimi e di esercizio connessi all'azione sismica E (v. § 3.2 form. 2.5.5);
- Combinazione eccezionale, impiegata per gli stati limite ultimi connessi alle azioni eccezionali di progetto Ad (v. § 3.6 form. 2.5.6).

Nelle combinazioni per SLE, saranno omessi i carichi  $Q_{kj}$  dal momento che hanno un contributo favorevole ai fini delle verifiche e, se del caso, i carichi  $G_2$ .

Altre combinazioni saranno considerate in funzione di specifici aspetti (p. es. fatica, ecc.), ove nelle formule il simbolo "+" è da intendersi "combinato con".

I valori dei coefficienti parziali di sicurezza  $\gamma_{Gi}$  e  $\gamma_{Qj}$  sono stati desunti dalle norme (Cfr. § 2.6.1, Tab. 2.6.I).

#### Per le combinazioni sismiche:

Nel caso delle costruzioni civili e industriali le verifiche agli stati limite ultimi o di esercizio devono essere effettuate per la combinazione dell'azione sismica con le altre azioni (Cfr. § 2.5.3 form. 3.2.16 delle NTC 2008)

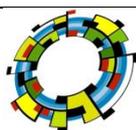
Gli effetti dell'azione sismica saranno valutati tenendo conto delle masse associate ai carichi gravitazionali (form. 3.2.17).

I valori dei coefficienti  $\gamma_2$   $\gamma_j$  saranno desunti dalle norme (Cfr. Tabella 2.5.I) La struttura sarà progettata così che il degrado nel corso della sua vita nominale, con manutenzione ordinaria, non pregiudichi le sue prestazioni in termini di resistenza, stabilità e funzionalità, portandole al di sotto del livello richiesto dalle presenti norme.

Le misure di protezione contro l'eccessivo degrado sono stabilite con riferimento alle previste condizioni ambientali.

La protezione contro l'eccessivo degrado si otterrà con un'opportuna scelta dei dettagli, dei materiali e delle dimensioni strutturali, con l'utilizzo, ove necessario, dell'applicazione di sostanze o ricoprimenti protettivi, nonché con l'adozione di altre misure di protezione attiva o passiva.

Per le azioni eccezionali, che si presentano in occasione di eventi quali incendi, esplosioni ed urti, ove richiesto da specifiche esigenze di destinazione d'uso, saranno considerate nella progettazione, con calcolo e verifica delle suddette azioni, determinate sulla base delle indicazioni di cui al § 3.6.1 delle NTC.



### 13 AZIONI AGENTI SULLE FONDAZIONI

Per la valutazione preliminare delle azioni di progetto (Ed) in fondazione si sono utilizzate due combinazioni delle azioni:

Per quanto riguarda le azioni verticali:

- SLU (combinazione fondamentale):  
 $Ed = \gamma G1 * G1$
- SLU + SISMA (combinazione sismica) SLV:

$$Ed = E + G1 = G1 * kv + G1$$

Per quanto riguarda le azioni orizzontali:

- combinazione sismica SLV (taglio sismico)

$$Ed = G1 * khi$$

In cui:

Ed azione di progetto

G1 peso proprio degli elementi strutturali

yG1 coefficiente parziale di sicurezza (A1, A2 - punto 2.6.1 delle NTC 2018 e tab.2.6.I)

E azione sismica

Kv ordinata dello spettro di progetto delle componenti verticali in corrispondenza del periodo fondamentale T1

Khi ordinata dello spettro di progetto delle componenti orizzontali in corrispondenza del periodo fondamentale T1

Considerando solo le fondazioni principali e di dimensioni rilevanti si ottiene la tabella 6 riportante i carichi unitari sulle fondazioni.

Per le combinazioni delle azioni Ed di cui sopra si è utilizzato l'Approccio normativo 2 (punto 2.6.1 delle NTC 2008):

$$(A1+M1+R3) - (STR + GEO)$$

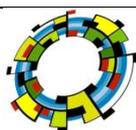
Con:

- A = Azioni yF (oppure yE oppure yG)
- M = resistenza dei materiali (terreno) yM
- R = resistenza globale del sistema yR

Inoltre per le azioni sismiche E, dagli spettri di progetto dell'allegato 2 si sono calcolati i valori di kv e khi con le seguenti assunzioni:

Fattore di struttura q = 1

Altezza media delle strutture = 3 metri



Integrale Ricostruzione Parchi Eolici "Vulturino-Volturara".  
Adeguamento tecnico impianto eolico mediante intervento di Repowering delle torri esistenti e riduzione numerica degli aerogeneratori.

Periodo fondamentale T1=0,17sec

## 14 PARAMETRI SISMICI

Sotto l'aspetto sismo-tettonico, anche se l'area non è direttamente interessata da lineamenti strutturali visibili sulla superficie del suolo, ha subito influenze distruttive durante gli eventi sismici passati, i cui epicentri si sono localizzati in aree limitrofe.

Il territorio di intervento ricadente nei Comuni di Faeto e Celle di San Vito, secondo la classificazione sismica (O.P.C.M. 20.03.2003 e succ. mod. ed integr.) ricade in Zona 2, come di seguito riportato:

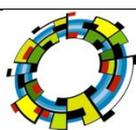
Codice ISTAT 2001	Classificazione 2003	PGA (g)	I
071019 – Celle San Vito	Zona 2	0.25 g	8,0 MCS
071023 - Faeto	Zona 2	0.25 g	8,0 MCS

Dove: PGA (g)=accelerazione orizzontale di picco del terreno (estimatore dello scuotimento alle alte frequenze), valore atteso con una probabilità di superamento del 10% in 50 anni (periodo di ritorno di 457 anni); I=intensità macrosismica (MCS) valore di intensità MCS atteso con una probabilità di superamento del 10% in 50 anni (periodo di ritorno di 475 anni); g=981 cm/sec<sup>2</sup> (accelerazione di gravità).

Inoltre con il metodo MASW (basato sulla relazione geologiche) è stata parametrizzata la velocità delle onde Vs in profondità ricavando un "modello di velocità del sottosuolo" correlabile con i diversi litotipi presenti in profondità.

CATEGORIA	DESCRIZIONE
A	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi con Vs30> 800 m/s
B	Ghiaie e sabbie molto addensate o argille molto consistenti con 360<Vs30 < 800 m/s
C	Ghiaie e sabbie mediamente addensate o argille mediamente consistenti con 180<Vs30 < 3600 m/s
D	Terreni a grana grossa scarsamente addensati o terreni a grana fina scarsamente consistenti con Vs30 <180 m/s
E	Terreni con sottosuoli di tipo C o D per spessori non superiori a 20 metri, posti su substrato con Vs > 800 m/s
S1	Terreni caratterizzati da valori di Vs30 < 100/ms
S2	Terreni suscettibili di liquefazione o di argille sensitive

L'area su cui insistono tutti gli Aerogeneratori è classificata come Categoria "C" Depositi di ghiaia e sabbia mediamente addensate o di argille di media consistenza e Categoria topografica "T1" come riportati nelle prove di stabilità allegate alla relazione geologica del geologo Giovanna Amedei.



Integrale Ricostruzione Parchi Eolici "Vulturino-Volturara".  
 Adeguamento tecnico impianto eolico mediante intervento di Repowering delle torri esistenti e riduzione numerica degli aerogeneratori.

CARATTERISTICHE LITOLOGICHE E GEOTECNICHE			
<b>LITOLOGIA E CARATTERISTICHE GEOTECNICHE RELATIVE AL I LIVELLO</b>			
<b>LITOLOGIA da 0,00 a 3,20 metri</b> Terreno argilloso di colore grigio nerastro, saturo, ricco di sostanze organiche, molto plastico e molto compressibile (colluviale)  falda a 2,50 metri	<b>CARATTERISTICHE GEOTECNICHE</b>	Peso dell'unità di volume	Y = 17,820 KN/m <sup>3</sup>
		Contenuto naturale d'acqua	41,580 %
		Angolo di attrito (da prove di taglio diretto)	$\varphi'$ = 18,20
		Coazione drenata (da prove di taglio diretto)	$c'$ = 24,30
		Coazione non drenata	$C_u$ = 40,00 KPa
		Modulo Edometrico	$E_{ed}$ = 2,20 MPa
		Velocità onde S	V = 180,00 m/s
		Modulo di Taglio	G = 59 MPa
		Coefficiente di Poisson	n = 0,32 -
		Coefficiente di Winkler	K = 11.767 kN/m <sup>3</sup>
		Coefficiente tangenziale	Kr = 7.627 kN/m <sup>3</sup>
		Coefficiente di rigidezza verticale dinamico	Kd = 8.782 kN/m <sup>3</sup>
<b>2° LITOLOGIA E CARATTERISTICHE GEOTECNICHE RELATIVE AL SECONDO LIVELLO</b>			
<b>LITOLOGIA da 3,20 a 6,30 metri</b> Argille grigio-giallastre e beige con livelletti calcarenitici, consistente	<b>CARATTERISTICHE GEOTECNICHE</b>	Peso dell'unità di volume	Y = 18,500 KN/m <sup>3</sup>
		Contenuto naturale d'acqua	29,000 %
		Peso dell'unità di volume Saturo	$Y_{sat}$ = 18,950 KN/m <sup>3</sup>
		Angolo di attrito (da prove di taglio diretto)	$\varphi'$ = 22,00
		Coazione drenata (da prove di taglio diretto)	$c'$ = 20,00
		Coazione non drenata	$C_u$ = 100,00 KPa
		Modulo Edometrico	$E_{ed}$ = 7,00 MPa
		Velocità onde S	V = 340,00 m/s
		Modulo di Taglio	G = 217 MPa
		Coefficiente di Poisson	n = 0,35 -
		Coefficiente di Winkler	K = 34.323 kN/m <sup>3</sup>
		Coefficiente tangenziale	Kr = 24.457 kN/m <sup>3</sup>
Coefficiente di rigidezza verticale dinamico	Kd = 28.154 kN/m <sup>3</sup>		
<b>3° LITOLOGIA E CARATTERISTICHE GEOTECNICHE RELATIVE AL TERZO LIVELLO</b>			
<b>LITOLOGIA oltre i 6,30 metri</b> Argille marmose prevalentemente grigiastre con venature bluastre e verdastre con livelli calcarenitici consistente	<b>CARATTERISTICHE GEOTECNICHE</b>	Peso dell'unità di volume	Y = 19,210 KN/m <sup>3</sup>
		Contenuto naturale d'acqua	28,930 %
		Peso dell'unità di volume Saturo	$Y_{sat}$ = 19,410 KN/m <sup>3</sup>
		Angolo di attrito (da prove di taglio diretto)	$\varphi'$ = 27,81
		Coazione drenata (da prove di taglio diretto)	$c'$ = 19,20
		Coazione non drenata	$C_u$ = 150,00 KPa
		Modulo Edometrico	$E_{ed}$ = 10,00 MPa
		Velocità onde S	V = 389,00 m/s
		Modulo di Taglio	G = 287 MPa
		Coefficiente di Poisson	n = 0,47 -
		Coefficiente di Winkler	K = 53.936 kN/m <sup>3</sup>
		Coefficiente tangenziale	Kr = 39.324 kN/m <sup>3</sup>
Coefficiente di rigidezza verticale dinamico	Kd = 45.306 kN/m <sup>3</sup>		

Foggia, Dicembre 2023

Il tecnico  
 Arch. Antonio Demaio