



GRE CODE  
**GRE.EEC.R.25.IT.W.14622.00.010.00**

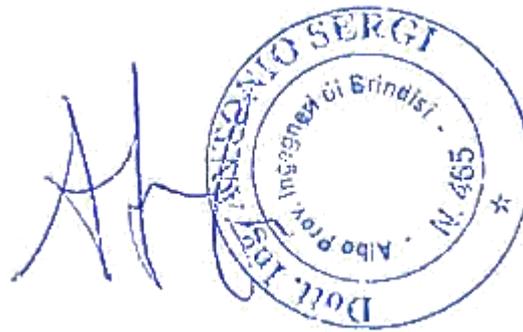
PAGE  
1 di/of 48

TITLE:

AVAILABLE LANGUAGE: IT

# “IMPIANTO EOLICO ACQUAVIVA”

## 8PSY7B1\_RelazioneGeotecnica RELAZIONE GEOTECNICA



<b>00</b>	<b>16/12/2020</b>	<b>EMISSIONE</b>	<b>C.MEDICO</b>	<b>V.D'AMICO</b>	<b>A.SERGI (SCS)</b>
<b>REV.</b>	<b>DATE</b>	<b>DESCRIPTION</b>	<b>PREPARED</b>	<b>VERIFIED</b>	<b>APPROVED</b>

**GRE VALIDATION**

-			
COLLABORATORS	VERIFIED BY	VALIDATED BY	

PROJECT / PLANT <b>IMPIANTO EOLICO ACQUAVIVA</b>	<b>GRE.EEC.R.25.IT.W.14622.00.010.00</b>																		
	GROUP	FUNCION	TYPE	ISSUER	COUNTRY	TEC	PLANT			SYSTEM	PROGRESSIVE	REVISION							
	<b>GRE</b>	<b>EEC</b>	<b>R</b>	<b>7</b>	<b>3</b>	<b>I</b>	<b>T</b>	<b>W</b>	<b>1</b>	<b>4</b>	<b>6</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>0</b>

<b>CLASSIFICATION</b>	<b>UTILIZATION SCOPE</b>
-----------------------	--------------------------

*This document is property of Enel Green Power S.p.A. It is strictly forbidden to reproduce this document, in whole or in part, and to provide to others any related information without the previous written consent by Enel Green Power S.p.A.*

## INDEX

1. PREMESSA .....	3
2. FONDAZIONE .....	4
3. NORME DI RIFERIMENTO .....	5
4. CRITERI DI CALCOLO .....	6
5. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO .....	7
6. CONTESTO GEOLOGICO DI RIFERIMENTO .....	12
6.1. CARATTERI GEOLOGICI LOCALI .....	15
7. INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO.....	20
8. IDROGEOLOGIA ED IDROGRAFIA SUPERFICIALE.....	22
8.1. ASSETTO IDROLOGICO .....	22
8.2. ACQUE SOTTERRANEE .....	24
9. INDAGINI GEOGNOSTICHE E GEOFISICHE .....	26
10. MODELLO GEOLOGICO E GEOTECNICO .....	31
11. CRITERI DI VERIFICA.....	38
11.1. MODELLAZIONE .....	38
11.2. VERIFICHE ESEGUITE .....	38
11.3. APPROCCI DI PROGETTO E COMBINAZIONI DI CARICO .....	38
11.4. ANALISI DEI CARICHI.....	40
11.4.1. AZIONI DERIVANTI DALLA SOVRASTRUTTURA .....	40
11.4.2. PESO PROPRIO DELLA FONDAZIONE .....	42
11.4.3. PESO PROPRIO DEL RIEMPIMENTO .....	42
11.5. RIEPILOGO CONDIZIONI DI CARICO .....	43
12. VERIFICHE GLOBALI / GEOTECNICHE .....	44
12.1. COMBINAZIONI DI CARICO E FATTORI DI SICUREZZA.....	44
12.2. CARICO LIMITE.....	44
12.3. SLITTAMENTO .....	45
12.4. VALUTAZIONE MODULO DI REAZIONE (WINKLER) .....	46
12.5. VALUTAZIONE DEI CEDIMENTI .....	46
12.6. VALUTAZIONE DELLA RIGIDEZZA ROTAZIONALE DINAMICA.....	47

## 1. PREMESSA

Oggetto della presente relazione è il calcolo preliminare delle opere di fondazione degli aerogeneratori del proposto parco eolico denominato "Acquaviva".

L'area di progetto oggetto di indagine, comprendente n. 15 aerogeneratori (nel seguito WTG) e, ricade nell'ambito del territorio amministrato dai Comuni di Acquaviva delle Fonti e Casamassima in Provincia di Bari.

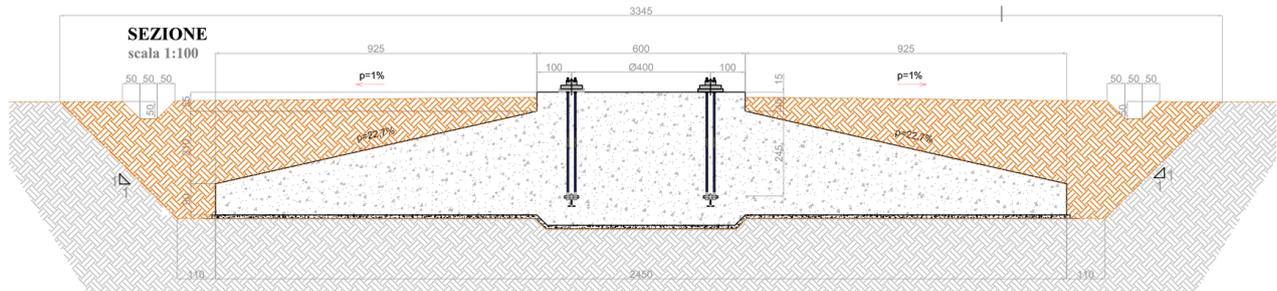
Gli aerogeneratori del tipo Siemens Gamesa SG 6.0 - 170, sono localizzati nel Catasto Terreni dei Comuni di Acquaviva delle Fonti e Casamassima come riportato in Tabella 1.

SISTEMA DI RIFERIMENTO UTM WGS 84 - FUSO 33N			RIFERIMENTI CATASTALI		
WTG	EST [m]	NORD [m]	COMUNE	FG	P.LLE
1	657871	4533859	ACQUAVIVA	13	107/108
2	659022	4533733	CASAMASSIMA	38	261
3	661379	4532835	CASAMASSIMA	51	181/198
4	657746	4532327	ACQUAVIVA	32	356/357/358
5	659180	4532155	CASAMASSIMA	48	68
6	659883	4532030	CASAMASSIMA	50	6
7	658669	4531389	ACQUAVIVA	38	126-303
9	662367	4531444	CASAMASSIMA	60	73
10	657289	4531091	ACQUAVIVA	37	94/95
11	657941	4530929	ACQUAVIVA	38	170
12	661569	4530860	CASAMASSIMA	58	37
13	659503	4530447	CASAMASSIMA	57	284/285/125
14	660806	4530338	CASAMASSIMA	57	364
15	660225	4530237	CASAMASSIMA	57	526
16	658889	4530048	ACQUAVIVA	43	56

**Tabella 1: Coordinate aerogeneratori e relativa ubicazione catastale**

## 2. FONDAZIONE

La fondazione tipica dell'aerogeneratore è in calcestruzzo armato, con pianta di forma circolare di diametro  $D_e = 24,50$  m, spessore variabile da un minimo (sul bordo esterno) ad un massimo in corrispondenza della zona centrale di attacco della parte in elevazione della torre.



**Figura 1: Geometria della fondazione dell'aerogeneratore**

GEOMETRIA FONDAZIONE	
<b>Diametro esterno fondazione</b>	24,50 m
<b>Diametro esterno piedistallo</b>	6,00 m
<b>Spessore fondazione al bordo esterno</b>	0,90 m
<b>Spessore massimo della suola di fondaz.</b>	3,00 m
<b>Scalino esterno del piedistallo</b>	0,55 m
<b>Ringrosso inferiore plinto (zona centrale)</b>	0,30 m
<b>Diametro zona di ringrosso inferiore plinto</b>	6,00 m
<b>Altezza massima piedistallo</b>	3,55 m
<b>Spessore minimo di ricoprimento fondaz.</b>	0,50 m
<b>Pendenza profilo terra di ricoprimento</b>	1,00%
<b>Pendenza estradosso fondazione</b>	22,70%

**Tabella 2: Geometria del plinto**

La parte più alta del plinto, cioè la zona centrale indicata come piedistallo, emerge dal terreno post-sistemazione di 15 cm (tenuto conto della pendenza del riempimento). Lo spessore minimo del plinto, sul perimetro, è di 90 cm.

### **3. NORME DI RIFERIMENTO**

- [1] DM 17/01/2018 - Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni»
- [2] Circ. 21 gennaio 2019, n. 7/C.S.LL.PP.
- [3] Eurocodice 2 - "Progettazione delle strutture in calcestruzzo.1-1: Regole generali e regole per gli edifici"
- [4] Eurocodice 7 - "Progettazione geotecnica. Parte 1 - Regole generali"
- [5] CEI EN 61400-1

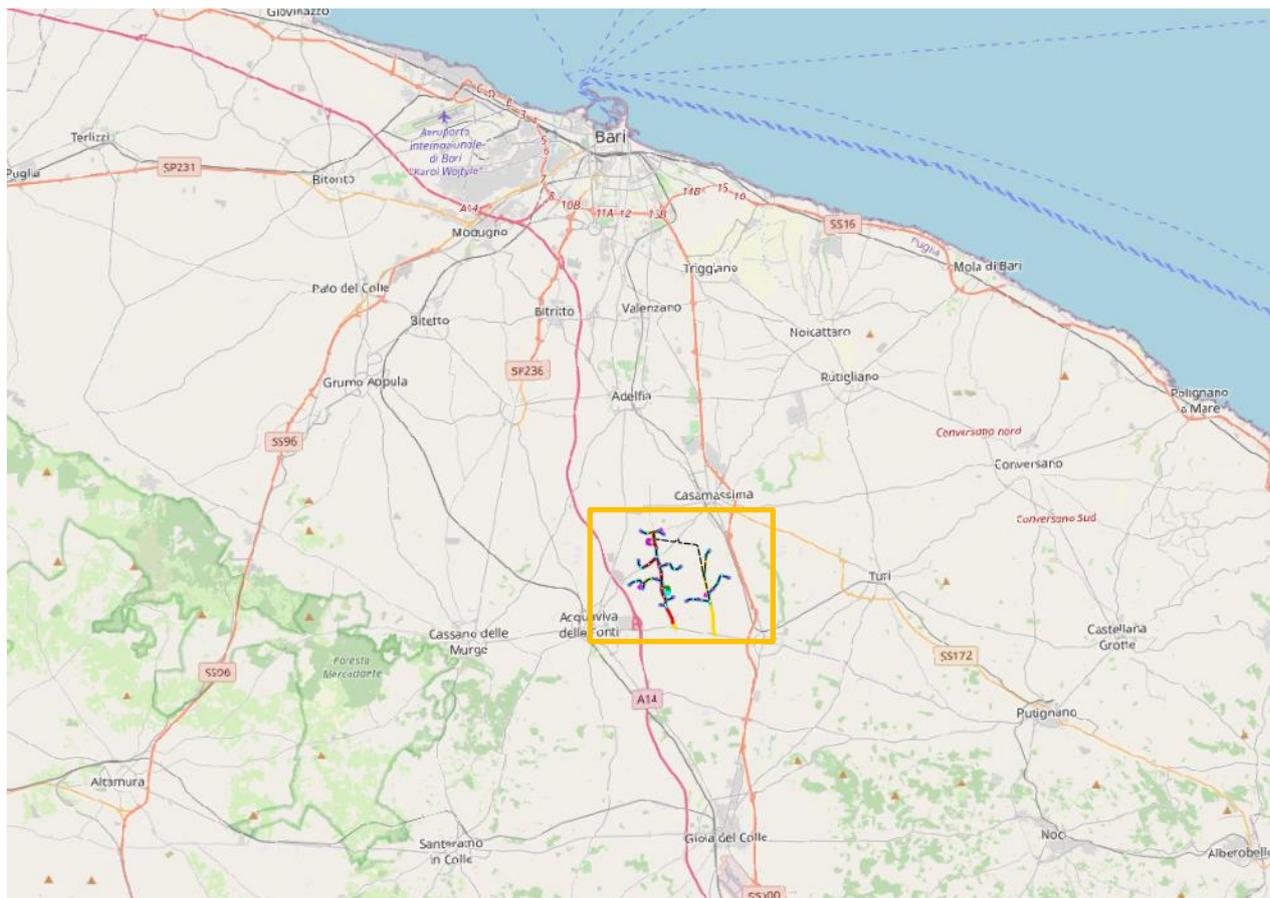
#### **4. CRITERI DI CALCOLO**

Le analisi sono state condotte per mezzo di un software che permette la modellazione sia del terreno che della fondazione, di cui al paragrafo 11.1. Le verifiche condotte sono quelle previste dalla normativa citata.

## 5. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

L'intervento da realizzare ricade in agro di Acquaviva delle Fonti e Casamassima (BA). Tutti gli aerogeneratori sorgono in zone agricole.

Per quanto concerne le quote topografiche, variano da un massimo di circa 280 m s.l.m. (nell'area sud del parco) ad un minimo di circa 245 m s.l.m. (nell'area a nord). In generale le quote topografiche tendono a degradare da nord verso sud, in direzione della costa adriatica.



**Figura 1: Ubicazione geografica dell'intervento.**



**LEGENDA:**

**LAYOUT DI PROGETTO**

WTG

Viabilità e cavidotti

Strada Esistente

Strada esistente da adeguare

Strada di nuova realizzazione

---- Cavidotto MT

Piazzole, aree di cantiere e di stoccaggio, SSU

AREA SE - ACQUAVIVA

AREA DI CANTIERE

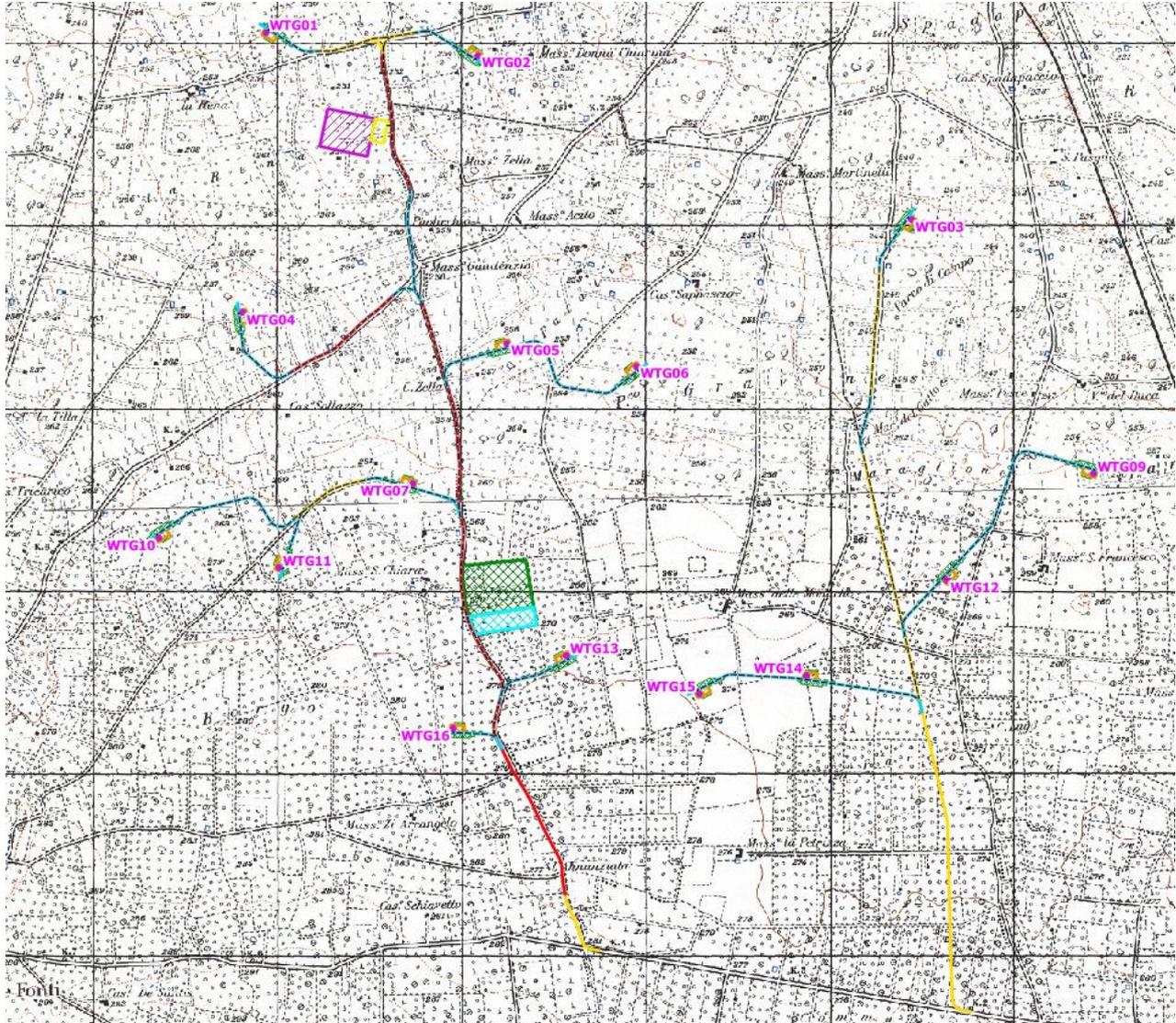
PIAZZOLA DEFINITVA

PIAZZOLA TEMPORANEA

AREA SSU ACQUAVIVA

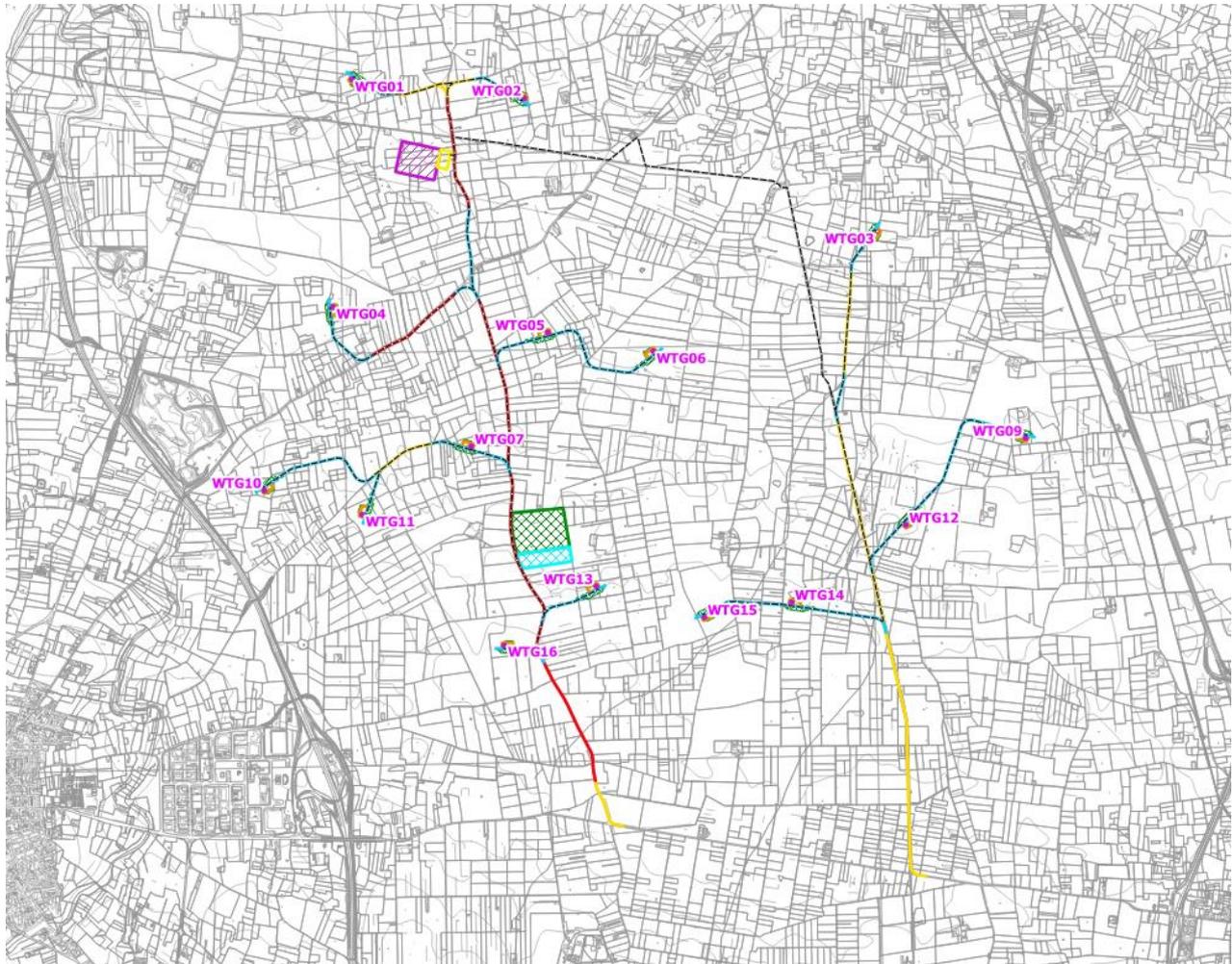
AREA DI STOCCAGGIO

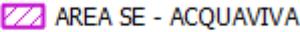
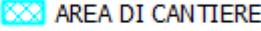
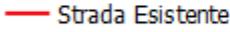
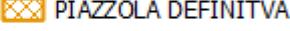
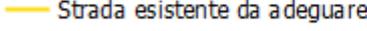
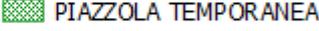
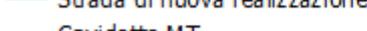
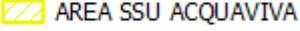
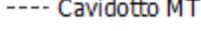
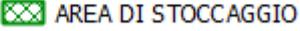
**Figura 2: Ubicazione del progetto su ortofoto.**



- LEGENDA:**
- |   |   |
|---|---|
| <b>LAYOUT DI PROGETTO</b>   | Piazzole, aree di cantiere e di stoccaggio, SSU   |
|  WTG                           |  AREA SE - ACQUAVIVA |
| Viabilità e cavidotti   |  AREA DI CANTIERE    |
|  Strada Esistente              |  PIAZZOLA DEFINITIVA |
|  Strada esistente da adeguare  |  PIAZZOLA TEMPORANEA |
|  Strada di nuova realizzazione |  AREA SSU ACQUAVIVA  |
|  Cavidotto MT                  |  AREA DI STOCCAGGIO  |

**Figura 3: Ubicazione del progetto su stralcio IGM.**



<b>LEGENDA:</b>	
<b>LAYOUT DI PROGETTO</b>	Piazzole, aree di cantiere e di stoccaggio, SSU
 WTG	 AREA SE - ACQUAVIVA
Viabilità e cavidotti	 AREA DI CANTIERE
 Strada Esistente	 PIAZZOLA DEFINITVA
 Strada esistente da adeguare	 PIAZZOLA TEMPORANEA
 Strada di nuova realizzazione	 AREA SSU ACQUAVIVA
 Cavidotto MT	 AREA DI STOCCAGGIO

**Figura 4: Ubicazione del progetto su stralcio CTR.**

L'impianto eolico ricade sui fogli catastali del Comune di Acquaviva delle Fonti: 9, 12, 13, 17, 23, 24, 32 e sui Fogli catastali del Comune di Casamassima: 10 e 11.  
Sulla cartografia geologica ufficiale, l'area ricade all'interno del Foglio 203 - "Brindisi" della Carta Geologica d'Italia in scala 1:100.000.



**Figura 5: Inquadramento su cartografia geologica – Foglio 177 (Altamura) della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:100.000.**

## 6. CONTESTO GEOLOGICO DI RIFERIMENTO

Da un punto di vista strutturale, l'assetto tettonico dell'impalcatura carbonatica murgiana corrisponde all'ampia e piatta struttura anticlinale presenoniana, con asse ONO-ESE e culminazione presso la fascia costiera, nei dintorni di Andria fino circa ad Ostuni, in debole vergenza NE, di cui affiora principalmente il fianco sud-occidentale (RICCHETTI, 1980). Questo assetto potrebbe in parte giustificare l'andamento a monoclinale della successione mesozoica delle Murge, con immersione verso SO e inclinazione media intorno ai 20- 15° (RICCHETTI, 1980; CIARANFI et alii, 1988; RICCHETTI et alii, 1988).

Una serie di pieghe minori con deformazioni più attenuate ed assi orientati circa ONO-ESE, ascrivibili alle fasi tettoniche tardo cretaceo-paleogeniche, sono state rilevate soprattutto nell'area delle Murge di Castellana Grotte-Alberobello (CIARANFI et alii, 1988; tav. 1 f.t.). nell'area murgiana, le successioni carbonatiche sono interessate da sistemi di faglie variamente orientate; quelle più importanti corrispondono alle strutture disgiuntive, con direzione NO-SE, ONO-ESE e O-E. Questi sistemi di faglia, attivi dal mesozoico fino al Pleistocene, hanno prevalentemente un carattere distensivo, a cui talora è associata una componente trascorrente, come nel caso di quelli antiappenninici. Le diverse faglie hanno scomposto in blocchi la piattaforma carbonatica, conferendogli un assetto strutturale a horst asimmetrico, esteso in direzione appenninica. Oltre ai suddetti sistemi di faglia, altre importanti direttrici tettoniche sono le faglie orientate NE-SO, ENE-OSO e NS, le quali hanno presentato una cinematica distensiva talora con carattere trascorrente non puro o solo trascorrente (PIERI et alii 1997). Il blocco murgiano più sollevato dell'horst corrisponde alle Murge Alte (fig. 1.27), rispetto al quale l'asse dell'ampia antiformentale risulta essere spostato a NE di circa 30 km. Dall'alto strutturale in esame si snodano due opposte gradinate di faglia: a NE, verso l'Adriatico, con un rigetto complessivo di circa 4000 m su una distanza di circa 150 km e a SO, verso la catena appenninica, con un rigetto di oltre 3500 m su una distanza di circa 50 km (RICCHETTI, 1980). Per quanto riguarda la porzione occidentale, la struttura a gradinata costituisce il substrato della Fossa Bradanica (alias Fossa Premurgiana, per il tratto murgiano), in cui si individua, rispetto alla direzione di migrazione dell'Appennino, un settore esterno (ripiano premurgiano) e uno più interno con una maggiore inclinazione (PIERI et alii, 1996).

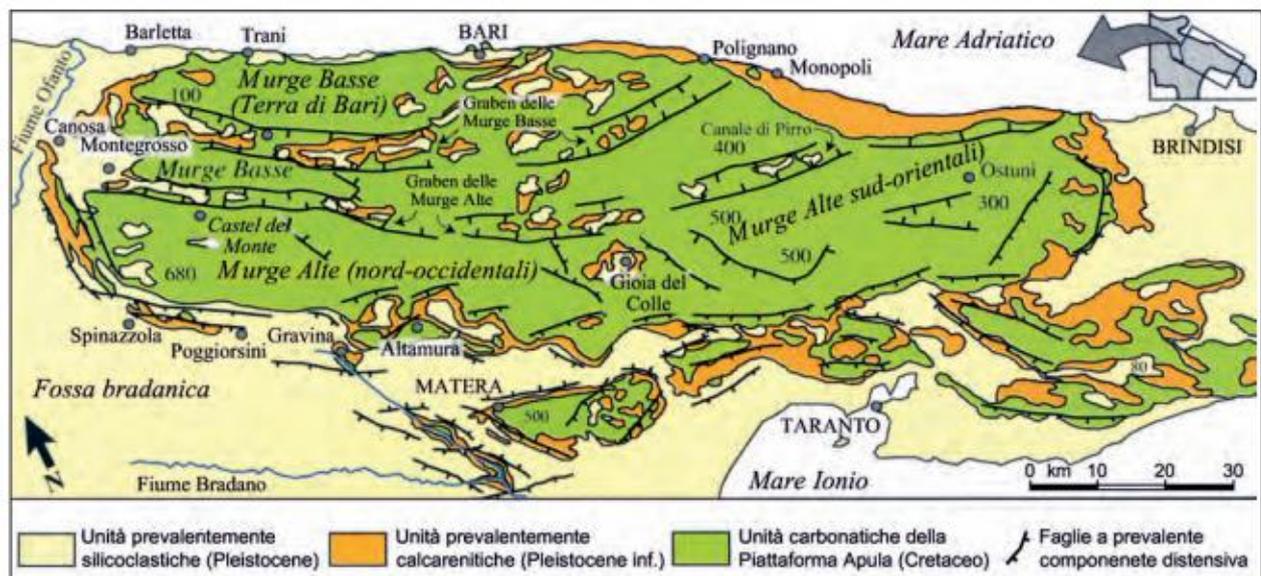


Fig. 1.27 – Carta geologico-strutturale schematica delle Murge (da PIERI et alii, 1997).  
 – Schematic geological-structural map of the Murge (from PIERI et alii, 1997).

Per quanto riguarda la porzione orientale della struttura a gradinata, si individua una zona nota come Murge Basse, area interposta tra la scarpata di faglia allineata lungo la direttrice Ostuni-Fasano-Conversano e quella più in alto tra Putignano-Cassano-Montegrosso. Il territorio murgiano è attraversato da due principali depressioni tettoniche: il Graben delle Murge Alte, ubicato tra l'abitato di Montegrosso e quello di Fasano, e il Graben delle Murge Basse, posizionato tra Canosa e Polignano.

Nell'area murgiana, inoltre, è presente un basso morfotettonico, riattivato dalla neotettonica, delimitato da faglie NE-SO e N-S, noto come Depressione di Gioia del Colle, che permette di distinguere una Murgia nord-occidentale ed una sud-orientale.

La maggior parte degli elementi morfologici caratterizzanti le Murge (scarpate e ripiani; rilievi e depressioni) si sviluppano preferenzialmente con direttrici ONO-ESE o E-O e, subordinatamente, N-S o SO-NE, cioè le stesse direttrici dei principali elementi tettonici, descritti in precedenza. Le esigue coperture sedimentarie post-cretacee, solo in parte hanno modificato il paesaggio delle murge. L'area murgiana è priva di un reticolo idrografico propriamente detto. I numerosi solchi erosivi presenti intercettano trasversalmente i diversi ripiani e gradini del territorio murgiano, in genere asciutti, ad andamento cataclinale e presentano deflussi opposti, a SO e a NE. I solchi con deflusso verso SO, quindi verso l'entroterra, hanno la forma di forre con pareti ravvicinate, con fondo a "v" scavato in roccia e profilo irregolare in forte pendenza, e sono denominati gravine.

I solchi con deflusso a NE, quindi con lo sbocco nel mare Adriatico, presentano fianchi ripidi progressivamente più distanziati nei tratti intermedi e inferiori e fondo piatto coperto da depositi alluvio-colluviali, e sono denominati lame. Trattasi di forme fluviali ereditate, incise in epoche di maggiore piovosità, a partire dal Pleistocene medio; il loro modellamento è stato condizionato dalle ripetute variazioni del livello di base connesse alle contemporanee fasi di sollevamento regionale (par. 1.1).

Queste lame hanno la forma e il regime idraulico tipico dei corsi d'acqua delle regioni desertiche, quindi generalmente asciutti con rapidi deflussi anche cospicui, temporanei ed effimeri, in occasione di abbondanti rovesci o di piogge persistenti. Presentano dei reticoli parzialmente gerarchizzati, i cui segmenti hanno origine in corrispondenza delle varie scarpate, a partire da quella più elevata, e confluiscono negli alvei principali, in relazione anche alle locali incidenze morfologiche o tettoniche. I reticoli più estesi e gerarchizzati sono localizzati nel settore nord-occidentale dell'altopiano murgiano (Murge Baresi), ove costituiscono un vasto bacino imbrifero con le testate lungo il ciglio delle Murge Alte ed una disposizione a raggiera verso la costa adriatica. Alcuni di questi solchi sono stati canalizzati, sbarrati da dighe (Torrente Picone) e deviati su altri solchi, oppure aperte nuove vie di deflusso a mare mediante opportune opere idrauliche (Canalone di S. Francesco).

Alla base delle scarpate sono presenti alcuni impluvi, orientati in direzione parallela all'allungamento dell'altopiano murgiano. Essi costituiscono bacini allungati di tipo endoreico variamente estesi e poco incisi, con fondo coperto da depositi colluviali, sede di stagni e laghetti temporanei in occasione di piogge abbondanti, raramente collegati con i reticoli cataclinali descritti in precedenza.

Da punto di vista geologico la Murgia (e quindi l'area in studio) è costituita essenzialmente da rocce carbonatiche di piattaforma, appartenenti alle formazioni geologiche del Calcare di Bari (Barremiano - Turoniano) e dal Calcare di Altamura (Senoniano).

Infine, ai bordi del complesso carbonatico murgiano, si rinvengono in trasgressione i depositi plioquaternari (Calcareni di Gravina, Argille Subappennine e Depositi Marini Terrazzati, cap. 1), che, in piccoli lembi residuali, occupano anche talune aree interne della Murgia.



Fig. 15.1 - Carta geologico-strutturale della Murgia. - Geological-structural map of Murgia.

Il Calcarea di Bari presenta spessori dell'ordine dei 2.000 m, ed è formato normalmente da una monotona sequenza di calcari detritici compatti e ben stratificati, spesso a grana fine o microcristallina che, nella parte alta della successione, si presentano nastriformi (calcari a chiancarelle). Di frequente, senza alcun ordine apparente, i calcari sono dolomitizzati. Dolomie e calcari dolomitici, occupanti la parte più bassa e media della serie (GRASSI, 1974), si rinvencono sia nel Calcarea di Bari sia nel Calcarea di Altamura, e condizionano fortemente le caratteristiche idrogeologiche dell'acquifero. Nel Calcarea di Bari le dolomie di base affiorano solo in corrispondenza dell'anticlinale di Monte Acuto, lungo una ristretta fascia sviluppantesi dai dintorni di Andria fino a Nord di Corato. Le dolomie situate nella parte media della formazione sono spesso alternate con calcari dolomitici e con livelli di breccia calcarea - dolomitica. In generale i termini dolomitici possono rinvenirsi un po' ovunque nella sequenza carbonatica, sia come orizzonti interposti entro una successione calcarea, sia come litotipi prevalenti in seno alla stessa.

Il Calcarea di Altamura, di spessore dell'ordine di 1.000 m, si differenzia dal Calcarea di Bari per una maggior frequenza di livelli macro-organogeni e biostromali, per il maggior spessore degli strati e per la presenza di tracce di emersione e di episodi salmastri (GRASSI, 1974). Nel calcarea di Altamura le dolomie occupano a luoghi la parte alta della serie, per uno spessore di un centinaio di metri.

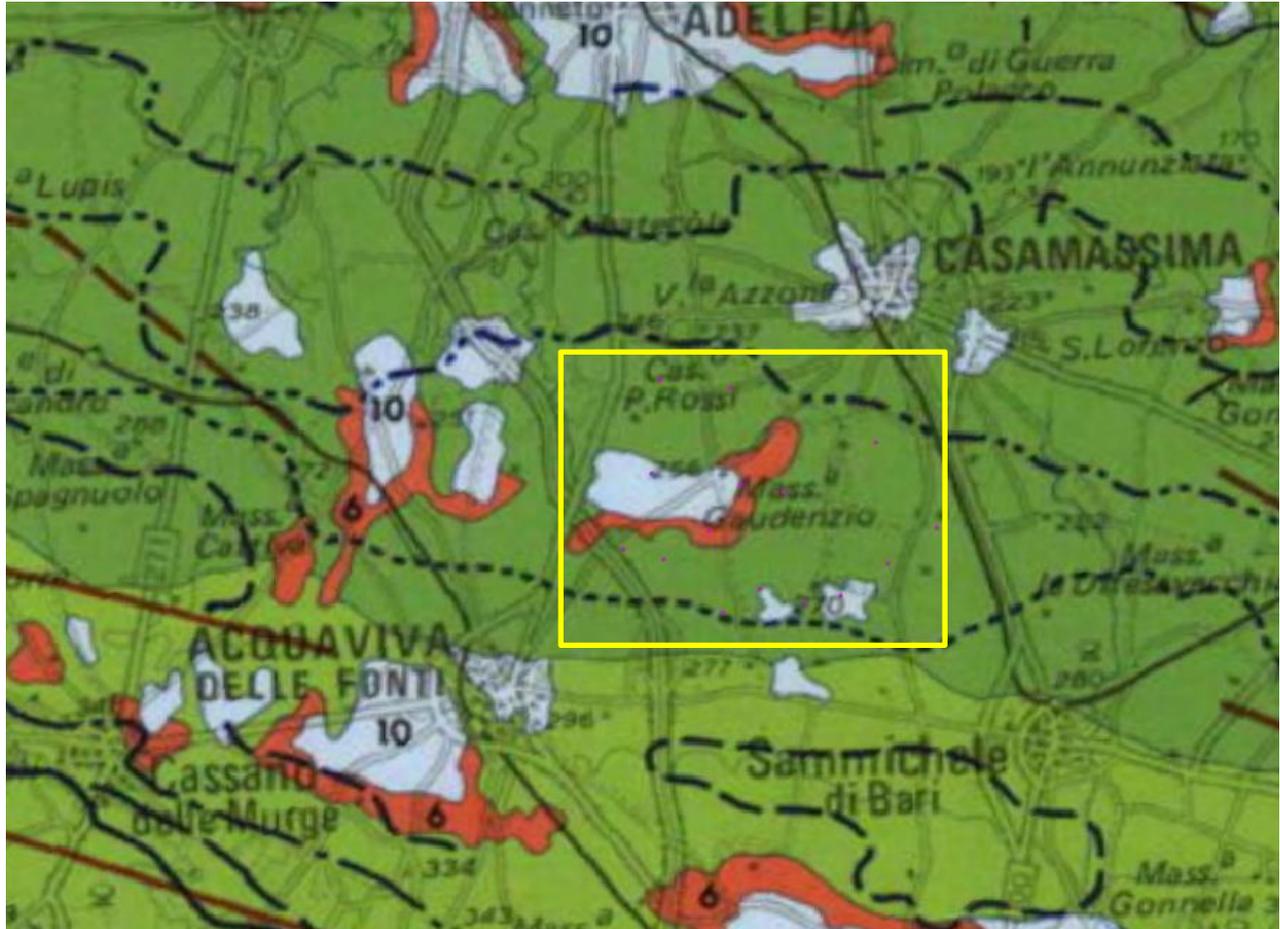
#### 6.1. CARATTERI GEOLOGICI LOCALI

Nell'area in studio affiorano essenzialmente termini litologici della successione carbonatica cretacea delle Murge sui quali poggiano in trasgressione depositi della copertura plio-pleistocenica in lembi residuali; sono, inoltre, presenti depositi alluvionali, di età olocenica, localizzati sul fondo dei principali solchi erosivi. Facendo riferimento alla Carta Geologica d'Italia in scala 1:100.000 (Serv. Geol. d'It., 1966) e alla Carta Geologica delle Murge e del Salento in scala 1:250.000 (Ciaranfi et al., 1988; Figura X), nell'area del parco eolico si riconoscono le seguenti unità litostratigrafiche:

- Calcari delle Murge (Cretaceo medio-superiore);
  - Calcari di Bari
  - Calcari di Altamura
- Calcarenite di Gravina (Pliocene medio-Pleistocene inferiore);
- Depositi Marini Terrazzati (Pleistocene medio-superiore);
- Depositi alluvionali (Olocene).

# CARTA GEOLOGICA DELLE MURGE E DEL SALENTO

N. CIARANFI - P. PIERI - G. RICCHETTI  
\* Dipartimento di Geologia e Serifica dell'Università di Bari  
Scala 1:250.000



**DEPOSITI MARINI TERRAZZATI**  
10  
Complesso di depositi di spiaggia e di piana costiera, riferibili a numerose unità litostратigrafiche terrazzate in vari ordini collegate a distinte fasi eustatico-tettoniche: sabbie, conglomerati, calcareniti e calcari coralligali; PLEISTOCENE MEDIO E SUPERIORE.

## DEPOSITI DEL CICLO DELLA FOSSA BRADANICA

**6**  
**Calcarenite di Gravina:** depositi calcarenitici e calciruditi in facies litorale, con foraminiferi, alghe, molluschi ed echini. PLIO-CENE MEDIO (?) - PLEISTOCENE INFERIORE.

**2**  
**Calcare di Aitamura:** successione carbonatica di piattaforma interna caratterizzata da ripetute sequenze cicliche di mare sottile (tidale, lagunare), con sedimentazione compensata da subsidenza; lacune stratigrafiche nella parte alta della successione sono testimoniate da facies di soglia; micriti ad alghe, calcareniti a foraminiferi e frequenti livelli con Rudiste; nella parte alta calcareniti, calciruditi e patch reef a Rudiste. CRETACEO (*Turoniano superiore?* - *Maastrichtiano*).

Lacuna con continentalizzazione (Bauxiti)

**1**  
**Calcare di Bari:** Successione carbonatica di piattaforma interna con sedimentazione di mare sottile (tidale, lagunare) compensata da subsidenza; micriti e dolomicriti ad alghe e foraminiferi, con episodici livelli a Rudiste. CRETACEO (*Valanginiano - Turoniano inf.?*).

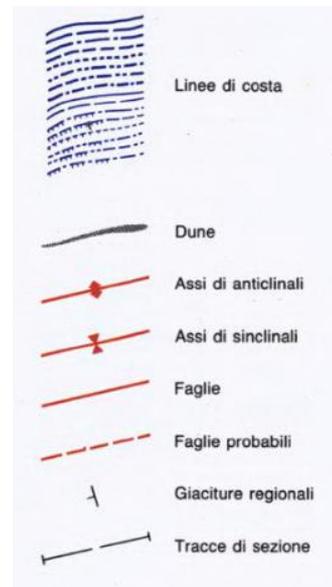


Figura 6: Stralcio Carta Geolitologica delle Murge e del Salento in scala 1:250.000 (Ciaranfi, Pieri, Ricchetti). In giallo area del parco eolico.

### **Depositi Marini Terrazzati**

L'unità pleistocenica dei Depositi di Terrazzo è litologicamente costituita da calcareniti giallastre a grana grossa ben cementate con intercalati livelli sabbiosi ed altri costituiti da calcari organogeni in strati di spessore variabile da qualche centimetro a 10÷15 cm.

La facies sabbiosa è costituita da prevalenti granelli di quarzo, feldspati, materiale carbonatico di origine detritica e bioclastica nonché da subordinati cristalli di mica. I fossili rappresentati da prevalenti lamellibranchi ed alghe, sono frequenti tanto da costituire a luoghi vere lumachelle; le osservazioni al microscopio hanno messo in evidenza che sono frequenti anche i microrganismi rappresentati da foraminiferi. Da quanto sopra esposto se ne deduce che, dal punto di vista granulometrico, per quanto riguarda la facies sabbiosa, i contenuti in ghiaia (0%÷28%), in sabbia (3%÷84%) e limo (2%÷75%) sono estremamente variabili in funzione degli intervalli stratigrafici presi in considerazione.

Il contenuto naturale d'acqua oscilla intorno ad un valore medio del 20,79% con indice dei vuoti variabile e compreso tra 0,49 e 0,87.

Per quanto riguarda l'estensione areale di questa unità si può supporre che sia totale per tutta l'area oggetto di studio.

Lo spessore dell'unità è molto variabile, compreso tra pochi decimetri e una ventina di metri pur essendo i valori più ricorrenti di 5÷6 m.

### **Calcareniti di Gravina**

L'unità della Calcarenite di Gravina rappresenta la più antica delle unità pleistoceniche presenti nell'area. La formazione, caratterizzata da calcareniti a grana grossa di colore giallastro e ben diagenizzata, con frequenti macro e microfossili (foraminiferi bentonici, briozoi, lamellibranchi, gasteropodi, echinodermi, alghe calcaree e serpulidi), poggia con contatto discontinuo e discordante sul basamento carbonatico cretaceo.



**Figura 7: Calcareniti di Gravina: scavo di fondazione localizzato a nord dell'area in studio.**

Dal punto di vista chimico questi depositi sono costituiti da calcite normale con un basso contenuto in

magnesio. Costituenti minori sono la kaolinite, l'illite, la clorite, la smectite, la gibsite e la goethite che si trovano dispersi nel sedimento mentre quarzo e feldspati si rinvencono come singoli grani. La matrice micritica è più o meno completamente assente.

Gli affioramenti di maggiore estensione, nell'intorno dell'area in studio, si rinvencono tra gli abitati di Adelfia e Sannicandro e in corrispondenza dell'incrocio tra le Strade Provinciali Sannicandro-Acquaviva e Adelfia-Cassano.

I Calcari delle Murge raggruppano le unità carbonatiche con il nome di Calcare di Bari e di Calcare di Altamura (Valduga, 1965).

### **Calcari di Bari**

Il Calcare di Bari, che di tale serie, ne costituisce la parte inferiore e mediana, rappresenta l'unità litostratigrafia più antica affiorante nell'area oggetto di studio. Esso affiora diffusamente all'interno dell'area di progetto e ne costituisce in pratica il sedime di fondazione.

Le migliori esposizioni si rinvencono in corrispondenza dei fronti di cava o dei solchi erosivi scavati più in profondità dai due rami principali del T. Picone.

La suddetta unità è formata da una successione di calcari, in strati o banchi, micritici e granulari, a luoghi dolomitici, di colore biancastro, compatti e tenaci.

Sulla base dei dati bibliografici, il Calcare di Bari è riferibile ad un'età compresa nell'intervallo Valanginiano-Turoniano.



**Figura 8: Calcare di Altamura (Affioramento in scavi di fondazione a nord dell'area in studio).**

### **Calcari di Altamura**

Il Calcare di Altamura rappresenta la parte superiore della serie cretacea del Gruppo dei Calcari delle Murge. Tale unità, è di norma trasgressiva sul Calcare di Bari; si passa, infatti, al Calcare di Altamura

attraverso una lacuna datata al Turoniano, marcata a scala regionale da una discordanza angolare (Ricchetti, 1975). Si tratta di una successione di calcari granulari e calcari micritici, in strati o banchi, caratterizzati da abbondanti resti di Rudiste con intercalazioni di dolomie e di calcari dolomitici di colore grigio.

Esistono, oltre che la presenza di una discontinuità stratigrafica, altre differenze che permettono di distinguere il Calcarea di Altamura dal Calcarea di Bari, come la maggiore frequenza nel primo di livelli macro-organogeni e biostromali, il maggiore spessore degli strati e la presenza di tracce di emersione e di depositi salmastri.



**Figura 9: Calcarea di Altamura (Affioramento in scavi di fondazione a nord dell'area in studio).**

## **7. INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO**

Il territorio in studio in una visione generale, è caratterizzato da una morfologia ondulata e/o a sub-pianeggiante, con escursioni altimetriche difficilmente apprezzabili sul terreno.

L'attuale assetto morfologico è il frutto di una genesi complessa ed articolata, sicuramente dominata da un ciclico alternarsi di fenomeni di modellamento di ambiente marino e continentale.

Il fattore che ha forse influenzato in maniera più evidente e peculiare l'assetto morfologico dell'area è sicuramente quello legato alla morfogenesi carsica.

La composizione prevalentemente carbonatica delle unità litologiche affioranti, ha sicuramente favorito lo sviluppo dei fenomeni carsici, che, tuttavia, a causa della particolare evoluzione paleogeografica dell'area, si sono talvolta esplicitati in maniera discontinua e policiclica.

In pratica, si tratta di un sistema carsico molto complesso e articolato, sviluppatosi in più periodi, su più livelli e a diverse profondità nel sottosuolo. La causa di tale complessità è individuabile nelle numerose vicissitudini paleogeografiche che hanno interessato il territorio murgiano durante il Terziario e il Quaternario. In tale arco di tempo il livello marino ha subito numerose e frequenti oscillazioni di origine prevalentemente glacio-eustatica, con escursioni altimetriche anche superiori ai 100 metri, mentre le zone continentali sono state a loro volta interessate da movimenti verticali di origine sia tettonica che isostatica.

Tali movimenti relativi tra il livello marino e le aree continentali hanno determinato numerose e frequenti variazioni del livello di base carsico regionale e la conseguente formazione, all'interno delle successioni carbonatiche del basamento mesozoico pugliese, di più livelli particolarmente carsificati, che rappresentano testimonianze di un "paleo-carsismo" esplicitatosi in condizioni paleogeografiche molto differenti da quelle attuali.

I processi di dissoluzione carsica si sono impostati in maniera preferenziale lungo le principali discontinuità tettoniche e lungo i più importanti sistemi di frattura, sviluppandosi prevalentemente secondo delle direttrici NW-SE.

Gli effetti della morfogenesi carsica si evidenziano sul territorio con la presenza di strutture di piccole, medie e grandi dimensioni.

Le strutture più frequenti e di maggiori dimensioni sono indubbiamente le doline e le grotte; queste ultime non sono state censite nell'intorno dell'area in esame.

Le prime si presentano sotto forma di blande depressioni dal contorno pseudo-circolare o ellittico, con una forma generalmente piuttosto piatta (a "piatto" o a "scodella") legata, in molti casi, al colmamento dell'originaria depressione con materiali ivi trasportati dalle acque di ruscellamento.

Le depressioni dolinari si formano per effetto dell'azione solvente delle acque pluviali che si esplica in corrispondenza e nelle vicinanze di strutture che permettono l'infiltrazione concentrata delle acque nel sottosuolo (come ad es. sistemi di fratture beanti). In alcuni casi al centro delle doline sono presenti dei veri e propri inghiottitoi, il cui imbocco è, nella maggior parte dei casi, occultato da accumuli detritici.

I depositi che spesso colmano parzialmente o quasi interamente le doline sono in prevalenza costituiti da accumuli detritici a granulometria grossolana (ghiaie) e/o da accumuli di "terra rossa" di spessore variabile in funzione della morfologia e del grado di evoluzione delle singole doline.

Quanto esplicitato in precedenza è mostrato in forma grafica nella Tavola 3 – Carta Geomorfologica.

Proprio per le peculiarità sopra descritte, ogni area di allocazione degli aerogeneratori, dovrà in fase esecutiva essere indagata in maniera dettagliata, al fine di scongiurare la presenza di sistemi carsici nel



GRE CODE

**GRE.EEC.R.25.IT.W.14622.00.010.00**

PAGE

21 di/of 48

sottosuolo (vuoti, sacche di terra rossa, sistemi di fratturazione complessi, ecc) all'interno del volume di influenza della torre eolica.

## 8. IDROGEOLOGIA ED IDROGRAFIA SUPERFICIALE

### 8.1. ASSETTO IDROLOGICO

Il sito studiato, in un'ampia visione, ricade a cavallo di 4 differenti bacini idrografici, codificati e descritti nel PTA (Piano di tutela delle Acque della regione Puglia) come da tabella seguente (Figura 17).

Bacini idrografici esoreici con immissione nel mare Adriatico					
Denominazione Bacino	Macroarea	Tipologia	Autorità di Bacino	Superficie (km <sup>2</sup> )	Codice
Lama Picone	Murgia	regionale	Puglia	266	R16-104
Lama Montrone	Murgia	regionale	Puglia	56	R16-105
Lama San Giorgio	Murgia	regionale	Puglia	648	R16-108
Bacini idrografici endoreici					
---	Murgia	locale	Puglia	6	R16-216

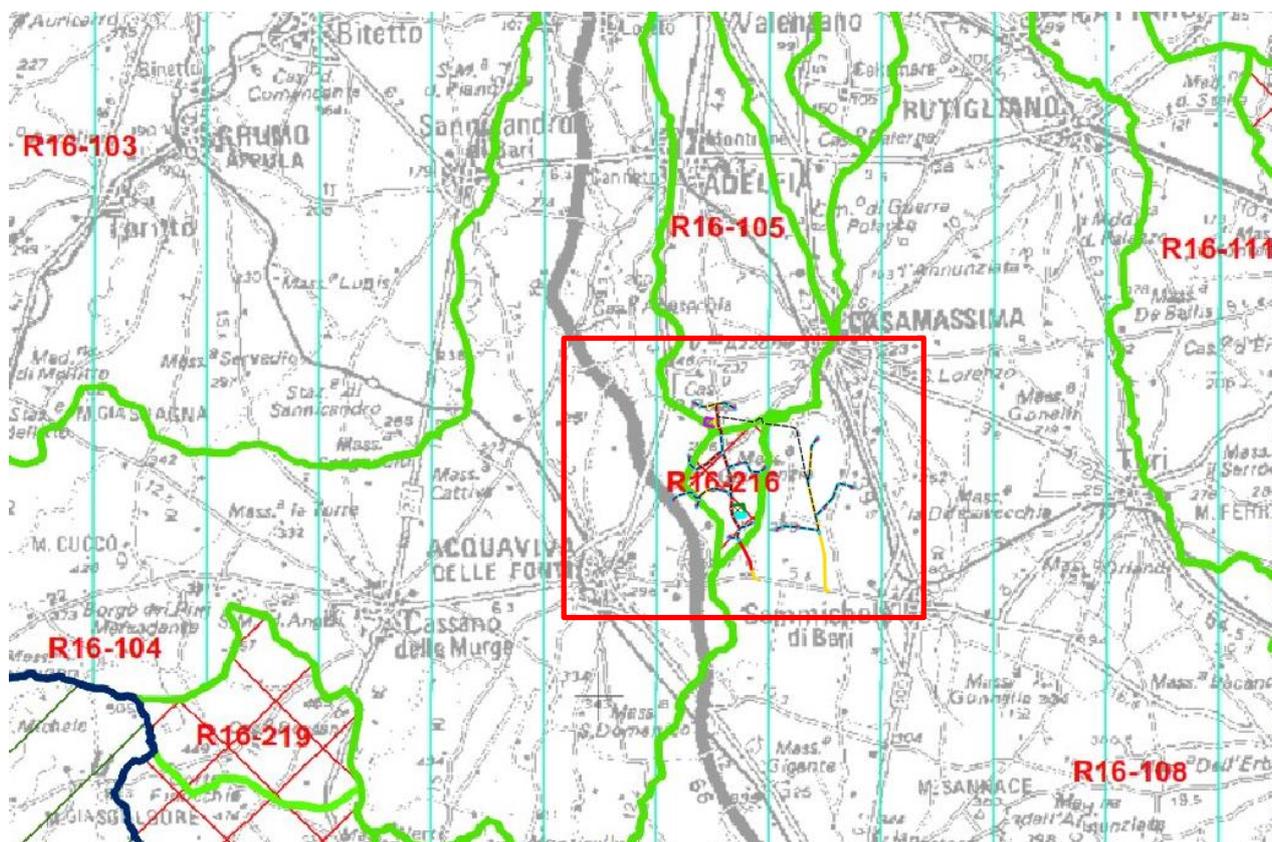


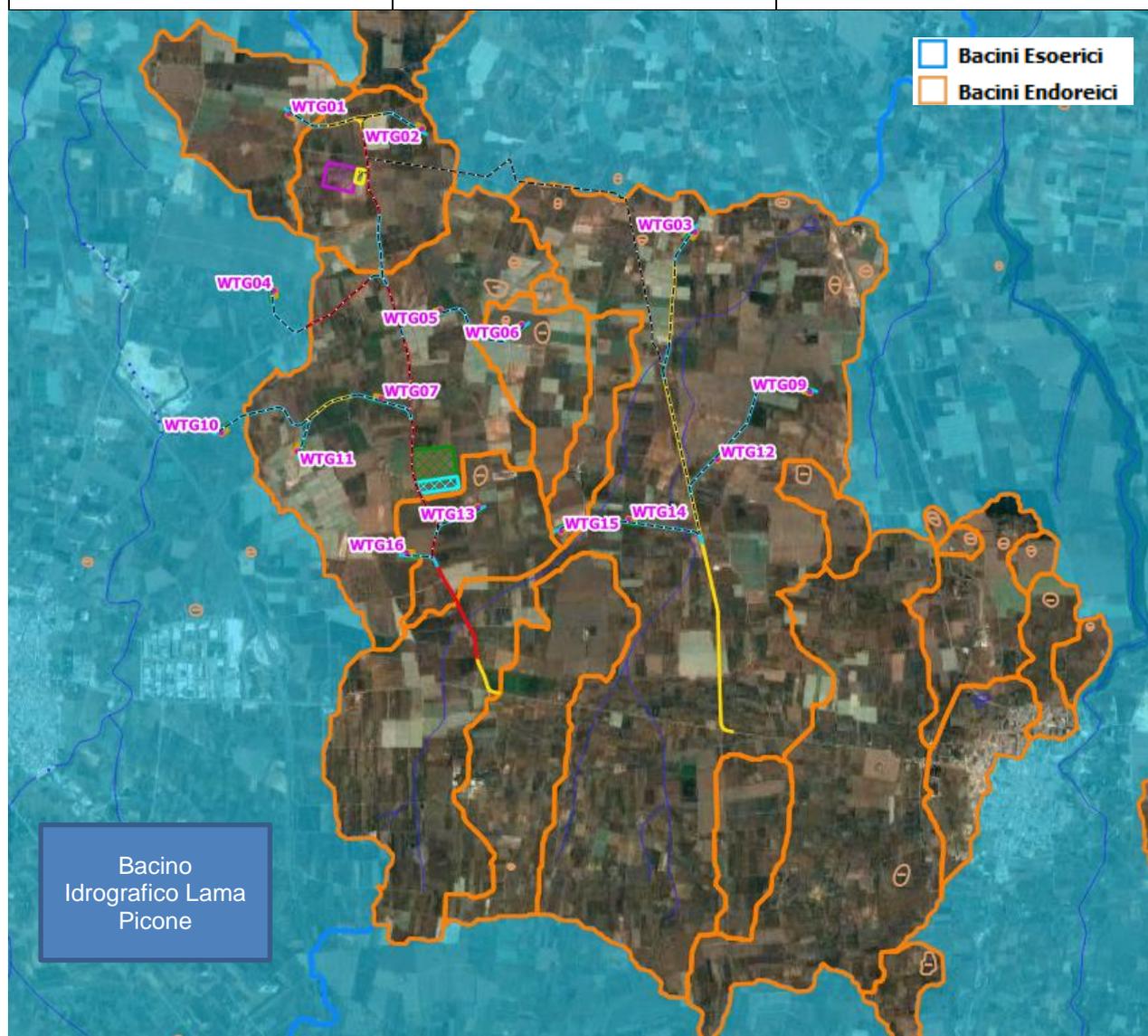
Figura 10: Bacini idrografici significativi (dal Piano Tutela Acque – Tav. 1.4).

All'interno delle macro-aree individuate dal PTA, partendo dai dati del DTM della Regione Puglia, sono stati perimetrati nel dettaglio i bacini idrografici dell'area in oggetto.

In particolare si rileva la presenza di una serie di bacini endoreici che di fatto interessano la quasi totalità dell'area. Alcuni di questi bacini risultano avere un volume di riempimento inferiore rispetto al volume netto di pioggia, e di fatto sversano le acque a valle, all'interno del bacino esoreico della Lama Picone.

Nel dettaglio per l'area di progetto si individua il seguente assetto idrografico:

Aree di progetto	Bacino idrografico	Estensione (km <sup>2</sup> )
<b>WTG04, WTG10</b>	Bacino esoreico Lama Picone	---
<b>WTG01</b>	Bacino Endoreico	1,64
<b>WTG2, AREA SSU, AREA SE</b>	Bacino Endoreico	1,70
<b>WTG05, WTG07, WTG11</b>	Bacino Endoreico	5,20
<b>WTG13, WTG16</b>	Bacino Endoreico	1,22
<b>WTG6</b>	Bacino Endoreico	0,98
<b>WTG15</b>	Bacino Endoreico	0,70
<b>WTG03, WTG09, WTG12, WTG14</b>	Bacino Endoreico	15,75



**Figura 11: Bacini idrografici di dettaglio dell'area in studio.**

## 8.2. ACQUE SOTTERRANEE

Nell'area in studio, di rinviene il complesso acquifero murgiano, la cui falda profonda percola, in pressione, a circa 100 sopra il livello medio marino fra i 130 ed i 180 m dal p.c.

Le delimitazioni fisiche di questa unità idrogeologica sono date superiormente dal corso del fiume Ofanto ed inferiormente dall'allineamento ideale Brindisi-Taranto.

La Murgia è caratterizzata prevalentemente dagli affioramenti delle rocce carbonatiche mesozoiche, di rado ricoperte per trasgressione da sedimenti calcarenitici quaternari. La distribuzione dei caratteri di permeabilità delle rocce carbonatiche mesozoiche è legata principalmente all'evoluzione del fenomeno carsico. Detto fenomeno non ha ovunque le stesse caratteristiche di intensità.

L'attuale assetto morfostrutturale della Murgia è essenzialmente espressione sia degli eventi tettonici che si sono prodotti dal Pliocene ad oggi che dei movimenti glacioeustatici. I movimenti verticali di subsidenza (causa dell'ingressione Pleistocenica) si sono sviluppati in forma differenziale non solo fra grossi blocchi, ma anche fra blocchi elementari.

Il sollevamento regionale è stato, tra l'altro, oltre che la causa del ritiro del mare infra-pleistocenico (particolarmente rilevante prevalentemente in alcune aree della Murgia NW e tale da indurre variazione del livello marino dell'ordine di 400-450m rispetto a quello attuale).

Conseguenza di tale storia evolutiva è che l'idrografia sotterranea negli ultimi 700.000-800.000 anni ha subito notevoli variazioni per compensare i movimenti prodotti.

Le ripetute e sostanziali variazioni di quota subite dal livello di base della circolazione idrica sotterranea hanno notevolmente influenzato i processi di carsificazione. Di fatto hanno dato luogo ad una carsopoliciclica e quindi più volte hanno rallentato (o ringiovanito) l'attività speleogenetica, favorito (o ostacolato) gli accumuli di terra rossa e rotto l'unitarietà dei sistemi carsici drenanti, causando fossilizzazioni precoci e vistose sovrapposizioni morfologiche. Gli effetti sono stati marcati e determinanti ai fini della circolazione idrica sotterranea.

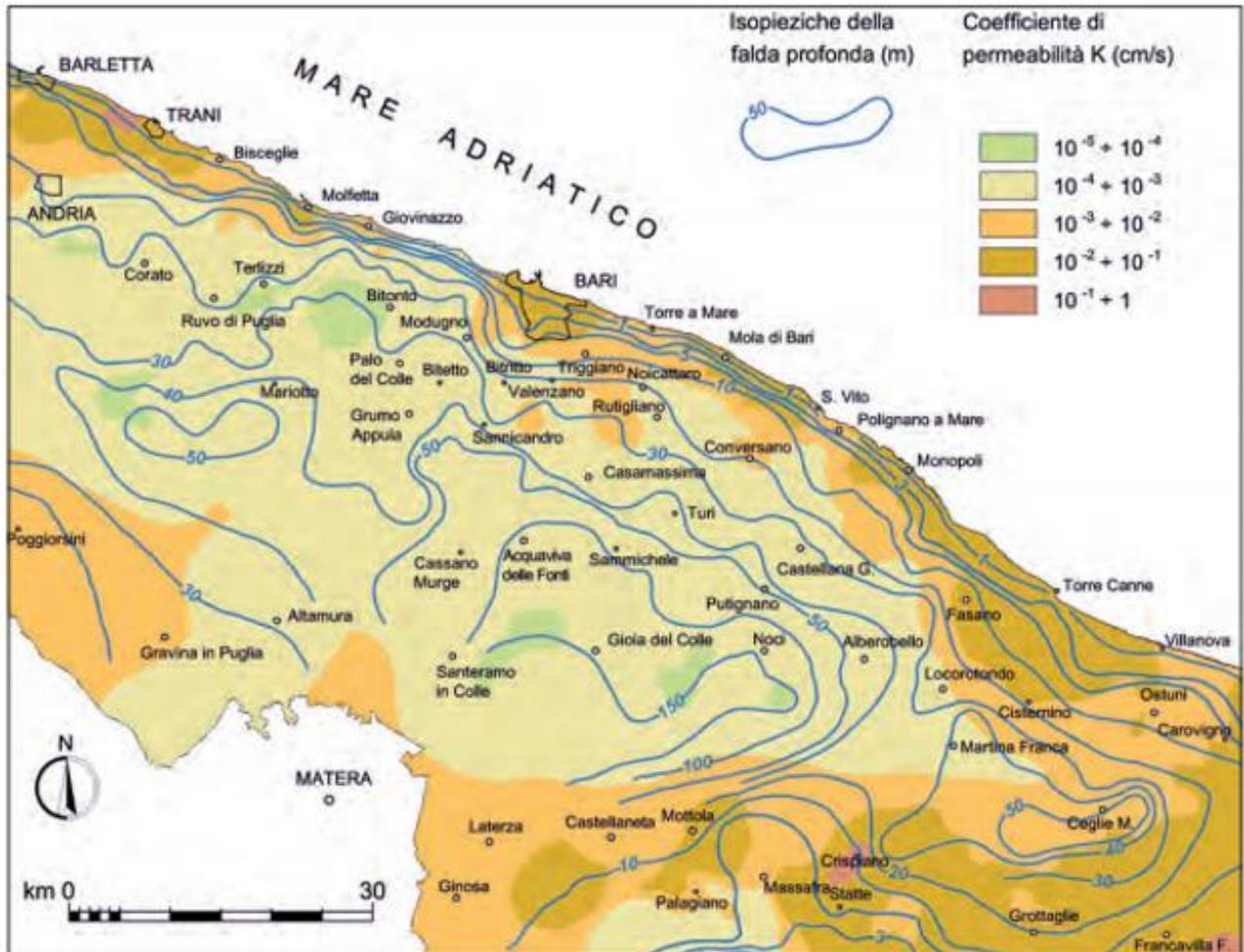
Sicché ad aree interessate da un macrocarsismo, molto spesso si affiancano aree manifestanti un microcarsismo, come non mancano zone dove, indipendentemente dalle quote, detto fenomeno è quasi assente. Da un punto di vista idrogeologico assume notevole importanza anche l'estesa ed a volte spessa copertura di terra rossa.

In definitiva la distribuzione del grado di permeabilità delle rocce è influenzato dallo stato di incarsimento e fratturazione delle stesse.

Essendo l'acquifero murgiano talora limitato al tetto da rocce praticamente impermeabili e dotato di una permeabilità d'insieme spesso relativamente bassa (se paragonata a quella riconosciuta nel Salento), le acque di falda sono generalmente costrette a muoversi in pressione, spesso a notevole profondità al di sotto del livello mare, con carichi idraulici ovunque alti (spesso dell'ordine dei 30 ÷ 50 m s.l.m.) e sensibilmente variabili lungo la verticale dell'acquifero. Anche le cadenti piezometriche, con le quali la falda defluisce verso il mare, sono alte (2 ÷ 8 per mille).

I massimi carichi piezometrici si riscontrano nelle aree più interne dell'altopiano murgiano, ove si raggiungono valori di circa 200 m s.l.m., ma non di rado carichi idraulici di 10 ÷ 15 m s.l.m. si osservano anche in aree situate ad appena pochi chilometri dalla linea di costa.

Di seguito viene riportata una elaborazione del modello di distribuzione media dei carichi piezometrici dell'acquifero in argomento e del grado di permeabilità.



**Figura 12: Isopieziche della falda profonda e distribuzione del coefficiente di permeabilità dell'acquifero carbonatico appartenente all'area idrogeologica della Murgia**

L'irregolare distribuzione della permeabilità in senso verticale fa sì che la parte più alta della falda risulti talora frazionata in più livelli idrici sovrapposti, spesso modesti e separati da orizzonti rocciosi praticamente impermeabili e solo a luoghi permeabili, non di rado dotati di carichi idraulici e di mobilità sensibilmente diversi.

Il deflusso e la discarica a mare delle acque di falda avviene in forma ora essenzialmente diffusa ora concentrata per la locale presenza di sistemi carsici ipogei.

## 9. INDAGINI GEOGNOSTICHE E GEOFISICHE

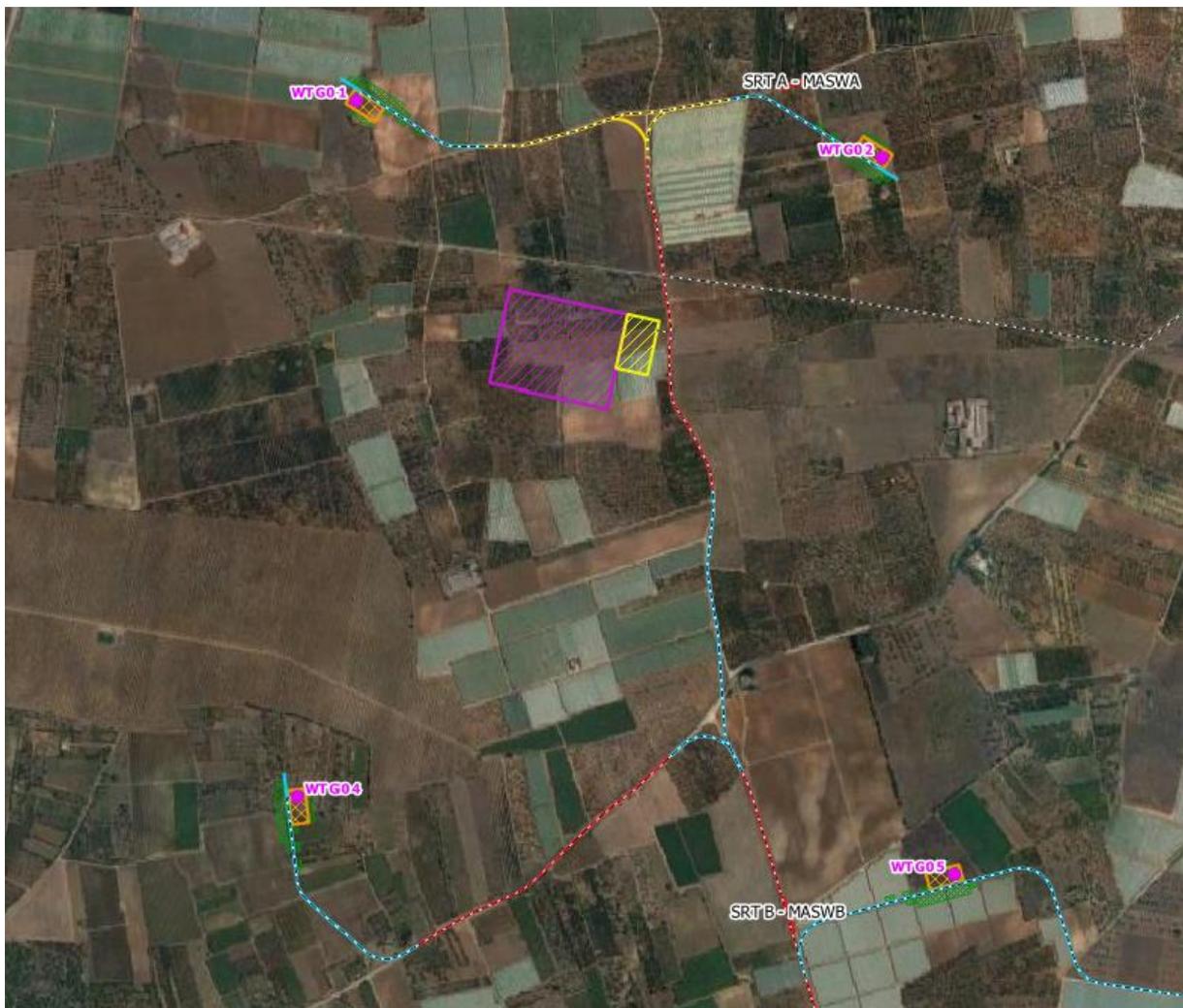
La campagna di indagini geognostiche, pianificata per il presente progetto ha indagato aree in cui l'accesso era consentito, cercando di investigare le litologie caratteristiche del sedime di fondazione degli aerogeneratori. Le indagini eseguite, rappresentano una prima caratterizzazione di massima dei litotipi affioranti all'interno dell'area di progetto, che dovranno necessariamente essere integrate in fase di progettazione esecutiva, andando ad investigare puntualmente ogni postazione in cui è prevista l'ubicazione degli aerogeneratori, nonché di ogni struttura interagente con il sottosuolo.

Nello specifico la campagna di indagini è consistita in:

- ✓ esecuzione di n. 5 indagini sismiche a rifrazione con restituzione tomografica in onde P;
- ✓ Esecuzione di n. 5 Indagini Sismiche MASW, al fine di definire la  $V_s$ , eq e di conseguenza la categoria del suolo di fondazione (NTC18).

L'ubicazione, le metodologie di indagine ed i report dettagliati sono riportati nell'Allegato 1 – REPORT SULLE INDAGINI IN SITO.

Le indagini sono state commissionate dal soggetto proponente, Enel Green Power Italia SRL ed eseguite dalla ditta SOCOTEC SRL.



**Figura 13: Ubicazione indagini geofisiche.**



**Figura 14: Ubicazione indagini geofisiche.**



**Figura 15: Ubicazione indagini geofisiche.**

Con l'Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni (DM 17.1.2018), per quanto riguarda le categorie di sottosuolo, vengono eliminate le categorie S1 ed S2, mentre con l'utilizzo della VSeq, le categorie di sottosuolo B, C e D vengono ampliate inglobando alcune configurazioni che rientravano in S2, quando il bedrock sismico si posizionava tra i 3 ed i 25 metri dal piano di riferimento. Inoltre la Categoria di sottosuolo D (che nelle NTC08 erano definite con  $V_{s,30} < 180$  m/sec) viene classificata con valori di  $V_{s,eq}$  compresi tra 100 e 180 m/sec.

La VSeq, è data dai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio,  $V_{s,eq}$  (in m/s), definita dall'espressione:

$$V_{s,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{s,i}}}$$

con

$h_i$  = spessore dello strato  $i$ -esimo;

$V_{s,i}$  = velocità delle onde di taglio nell' $i$ -esimo strato;

$N$  = numero di strati;

$H$  = profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da  $V_s$  non inferiore a 800 m/sec.

Per le fondazioni superficiali, la profondità del substrato viene riferita al piano di imposta delle stesse. Per depositi con profondità  $H$  del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio  $V_{s,eq}$  è definita dal parametro  $V_{s,30}$ , ottenuto ponendo  $H=30$  m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

Il valore della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio ( $V_{s,eq}$ ), ottenuto dal Modello Medio dell'elaborazione dei dati acquisiti attraverso le basi sismiche, è risultato essere in riferimento al piano piano di posa delle fondazioni, supposte superficiali ad una profondità di 3,5 m dal p.c. il seguente:

### MASW\_A

Profondità del piano d'imposta delle fondazioni:  m da p.c. [Info](#)

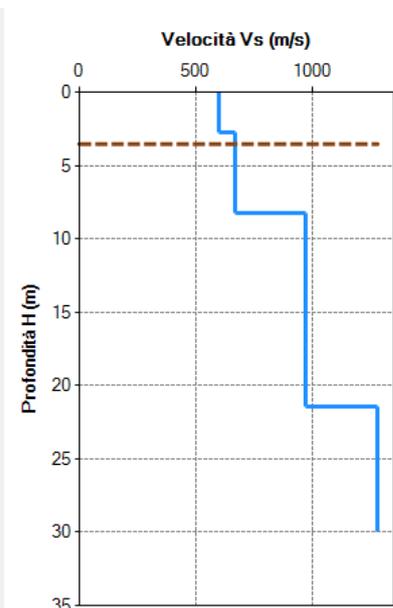
Caratteristiche dei sismostrati:

Nr.	Profondità (m)	Spessori (m)	$V_s$ (m/s)	Hcalc (m)	hi calc (m)	hi/ $V_s$ (s)	Retino
1	2,70	2,70	600,00	0,00	0,00	0,000000	
2	8,20	5,50	670,00	4,70	4,70	0,007015	
3	21,40	13,20	970,00	17,90	13,20	0,000000	
4	30,00	8,60	1.280,00	26,50	8,60	0,000000	
»*							

Categoria di sottosuolo (Tab. 3.2.II da NTC 2018):   $V_{s,eq}$ :  m/s [Info](#)

Descrizione per la categoria:

Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.



### MASW\_B

Profondità del piano d'impasto delle fondazioni:  m da p.c. Info

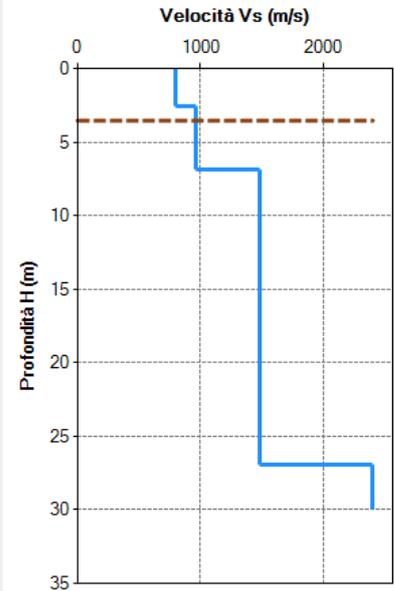
Caratteristiche dei sismostrati:

Nr.	Profondità (m)	Spessori (m)	Vs (m/s)	Hcalc (m)	hi calc (m)	hi/Vs (s)	Retino
1	2,50	2,50	796,00	0,00	0,00	0,000000	
2	6,80	4,30	960,00	3,30	3,30	0,007015	
3	26,90	20,10	1.480,00	23,40	20,10	0,000000	
4	30,00	3,10	2.400,00	26,50	3,10	0,000000	
»							

Categoria di sottosuolo (Tab. 3.2.II da NTC 2018):  Vs:  m/s Info

Descrizione per la categoria:

Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.



### MASW\_C

Profondità del piano d'impasto delle fondazioni:  m da p.c. Info

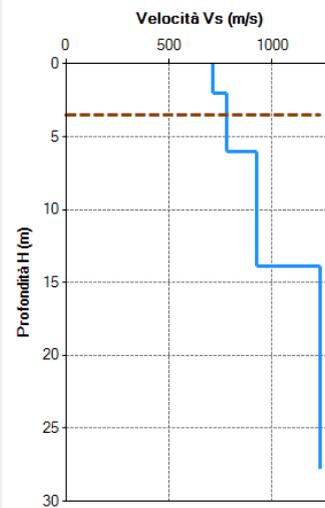
Caratteristiche dei sismostrati:

Nr.	Profondità (m)	Spessori (m)	Vs (m/s)	Hcalc (m)	hi calc (m)	hi/Vs (s)	Retino
1	2,00	2,00	710,00	0,00	0,00	0,000000	
2	6,00	4,00	780,00	2,50	2,50	0,007015	
3	13,90	7,90	925,00	10,40	7,90	0,000000	
4	27,80	13,90	1.230,00	24,30	13,90	0,000000	
»							

Categoria di sottosuolo (Tab. 3.2.II da NTC 2018):  Vs:  m/s Info

Descrizione per la categoria:

Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.



### MASW\_D

Profondità del piano d'imposta delle fondazioni:  m da p.c. [Info](#)

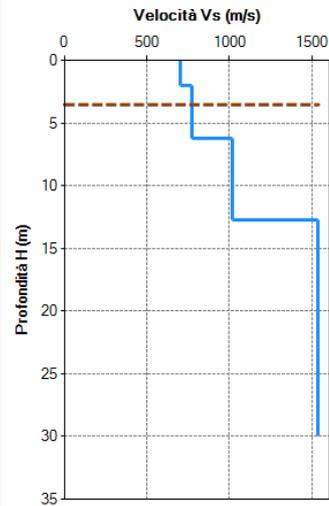
Caratteristiche dei sismostrati:

Nr.	Profondità (m)	Spessori (m)	Vs (m/s)	Hcalc (m)	hi calc (m)	hi/Vs (s)	Retino
1	2,00	2,00	700,00	0,00	0,00	0,000000	
2	6,20	4,20	770,00	2,70	2,70	0,007015	
3	12,70	6,50	1.020,00	9,20	6,50	0,000000	
4	30,00	17,30	1.540,00	26,50	17,30	0,000000	
»							

Categoria di sottosuolo (Tab. 3.2.II da NTC 2018):  Vs:  m/s [Info](#)

Descrizione per la categoria:

Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.



### MASW\_E

Profondità del piano d'imposta delle fondazioni:  m da p.c. [Info](#)

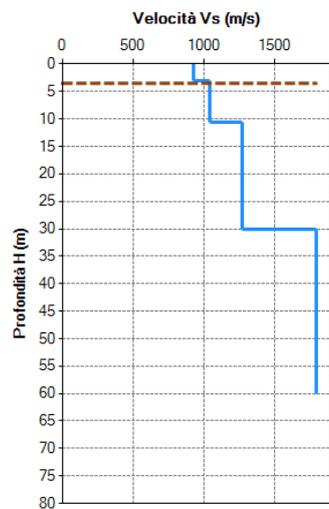
Caratteristiche dei sismostrati:

Nr.	Profondità (m)	Spessori (m)	Vs (m/s)	Hcalc (m)	hi calc (m)	hi/Vs (s)	Retino
1	3,00	3,00	930,00	0,00	0,00	0,000000	
2	10,70	7,70	1.040,00	7,20	7,20	0,007015	
3	30,00	19,30	1.270,00	26,50	19,30	0,000000	
4	60,00	30,00	1.790,00	30,00	3,50	0,000000	
»							

Categoria di sottosuolo (Tab. 3.2.II da NTC 2018):  Vs:  m/s [Info](#)

Descrizione per la categoria:

Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.



Sulla scorta delle risultanze delle analisi, si è deciso di procedere al predimensionamento di fondazioni del tipo superficiale.

Per l'interpretazione di dettaglio delle indagini si rimanda all'elaborato "GRE.EEC.R.25.IT.W.14622.00.009.00 - Relazione geologica sismica".

## 10. MODELLO GEOLOGICO E GEOTECNICO

Sulla scorta degli studi delle risultanze delle indagini geognostiche effettuate è stato possibile elaborare per l'area di progetto un modello geologico di riferimento, il quale tiene conto di tutte le informazioni acquisite durante il presente studio, che viene nel seguito esplicitato.

All'interno dell'area progettuale le caratteristiche stratigrafiche e geotecniche del sedime di fondazione sono abbastanza omogenee. In particolare si rilevano aree di affioramento di lembi residuali di terreni sabbioso-calcarenitici, di esiguo spessore che sovrastano substrato roccioso calcareo.

La falda idrica superficiale non è presente in nessuna delle aree investigate, mentre quella profonda, che circola all'interno della massa carbonatica è localizzata a quote che vanno dai 150 ai 200 m dal p.c., e pertanto non vi può essere alcuna interazione fra le acque sotterranee e le opere in progetto.

Alla luce di quanto detto è possibile distinguere all'interno dell'area interessata dal parco eolico quattro differenti unità litologiche [U.L.]:

- Unità Litologica 1: Unità dei depositi eluvio colluviali ("Terre rosse")
- Unità Litologica 2: Unità delle sabbie calcarenitiche concrezionate.
- Unità Litologica 3: Unità delle calcareniti bioclastiche.
- Unità Litologica 4: Unità dei calcari cretacei.

Sulla base dei modelli geologico di riferimento è possibile inoltre considerare i seguenti aspetti, valevoli per tutta l'area progettuale:

Categoria di sottosuolo	A-B
Categoria Topografica	T1
Rischio liquefazione dei terreni	Nulla
Rischio instabilità dei terreni	Situazione Stabile
Pericolosità geo-sismica del sito	Molto Bassa

In accordo con il modello geologico, sintetizzando le risultanze delle indagini geognostiche effettuate unitamente ai dati bibliografici in possesso dello scrivente, è stato elaborato il modello geotecnico dell'area in studio, il quale è formato dalle seguenti unità geotecniche:

Unità Geotecnica	Descrizione
U.G. 1)	TERRENO VEGETALE
U.G. 2)	SABBIE E SABBIE CALCARENITICHE CONCR.
U.G. 3)	CALCARENITI BIOCLASTICHE
U.G. 4)	CALCARI MICRITICI: è possibile all'interno della seguente unità distinguere a sua volta due differenti unità geotecnica, la prima costituita dai calcari alterati e fratturati [U.G.4a] ed una seconda costituita da calcari da poco fratturati ed alterati a compatti [U.G.4b]

I valori delle principali caratteristiche fisiche e meccaniche sono stati ricavati dall'elaborazione di tutte le prove eseguite oltre che da dati bibliografici in possesso dello scrivente riguardanti

indagini pregresse su terreni similari a quelli in studio.

In particolare sono state parametrizzate le Unità geotecniche 2, 3 , 4a e 4b; l'Unità 1, costituita da terreno vegetale, date le scadenti caratteristiche meccaniche non viene prese in considerazione, e dovrà necessariamente essere asportato.

Di seguito, viene esplicitata la parametrizzazione geotecnica di massima delle singole Unità precedentemente individuate, con l'indicazione degli aerogeneratori di cui ne costituiscono il sedime di fondazione.

### **UNITA' GEOTECNICA 2: Depositi sabbioso-ghiaioso-arenitici [WTG12]**

Formazione geologica: Depositi Marini Terrazzati

Descrizione litologica: alternanza di sabbie, sabbie con limo, e strati arenitici da mediamente a ben cementati.

Soggiacenza della falda: Assente.

Caratteristiche geotecniche generali: terreni a comportamento geotecnico da discreto a buono, prevalentemente incoerente, a consistenza generalmente medio-bassa nei livelli superficiali, che tende ad aumentare con la profondità.

Comportamento Strato: Granulare sciolto

Stato di addensamento: da mediamente addensato a semicoerente.

#### **Parametri geotecnici caratteristici:**

	<b>MIN</b>	<b>MAX</b>	<b>BEST FIT</b>
<b>g</b> (kN/m <sup>3</sup> ) Peso per unità di volume naturale	17,5	21,0	20,0
<b>g<sub>sec</sub></b> (kN/m <sup>3</sup> ) Peso per unità di volume secco	16,8	18,0	17,5
<b>g<sub>sat</sub></b> (kN/m <sup>3</sup> ) Peso per unità di volume saturo	19,5	21,8	20,5
<b>g<sub>s</sub></b> (kN/m <sup>3</sup> ) Peso specifico	---	---	24,0
<b>f'</b> (°) Angolo di attrito di picco	28,0	32,0	30,0
<b>f'<sub>vc</sub></b> (°) Angolo di attrito a volume costante	26,0	31,0	29,0
<b>c'</b> (kPa) Coesione efficace	0,0	9,0	4,0
E (Mpa) Modulo Elastico Statico	--	--	40
η Coefficiente di Poisson	--	--	0,40

### **UNITA' GEOTECNICA 3: Depositi calcarenitici [WTG13]**

Formazione geologica: Calcareniti di Gravina

Descrizione litologica: Calcareniti bioclastiche a grana grossolana di colore bianco giallastro da mediamente a scarsamente cementate

Caratteristiche geotecniche generali: terreni a comportamento geotecnico da discreto a buono, con comportamento assibilabile ad un ammasso roccioso dalle discrete qualità.

Comportamento Strato: Roccioso

Stato di addensamento: Da mediamente a ben cementato

**Parametri geotecnici caratteristici:**

	<b>MIN</b>	<b>MAX</b>	<b>BEST FIT</b>
<b>g</b> (kN/m <sup>3</sup> ) Peso per unità di volume naturale	19,5	22,0	21,0
<b>g<sub>sec</sub></b> (kN/m <sup>3</sup> ) Peso per unità di volume secco	18,0	19,5	18,5
<b>g<sub>sat</sub></b> (kN/m <sup>3</sup> ) Peso per unità di volume saturo	20,0	22,0	21,0
<b>g<sub>s</sub></b> (kN/m <sup>3</sup> ) Peso specifico	---	---	22,0
<b>f'</b> (°) Angolo di attrito	30,0	34,0	32,0
<b>c'</b> (kPa) Coesione efficace	0,0	10,0	5,0
E (Mpa) Modulo Elastico Statico	50	80	70
η Coefficiente di Poisson	--	--	0,40
<b>R.Q.D.</b> (%)	30	60	50

**UNITA' GEOTECNICA 4: Depositi calcarei [WTG1 – WTG2 – WTG3 – WTG4 – WTG5 – WTG6 – WTG7 – WTG8 – WTG9 - WTG10 - WTG11]**

Formazione geologica: Calcari di Altamura

Descrizione litologica: Calcari micritici biancastri da fratturati ed alterati a compatti.

Caratteristiche geotecniche generali: terreni a comportamento geotecnico in genere buono, con comportamento assibilabile ad un ammasso roccioso dalle buone qualità. La qualità dell'ammasso e le caratteristiche geotecniche tendono ad aumentare al diminuire del grado di alterazione e fratturazione dell'ammasso. Per tale motivo l'unità geotecnica viene distinta in due sottounità: quella più superficiale, costituita dai calcari alterati e fratturati e quella più profonda costituita dai calcari da poco fratturati a compatti.

**Parametri geotecnici caratteristici [U.G.4a] – calcari alterati e fratturati:**

	<b>MIN</b>	<b>MAX</b>	<b>BEST FIT</b>
<b>g</b> (kN/m <sup>3</sup> ) Peso per unità di volume naturale	22,0	23,0	22,5
<b>g<sub>sec</sub></b> (kN/m <sup>3</sup> ) Peso per unità di volume secco	20,0	21,0	20,5
<b>g<sub>sat</sub></b> (kN/m <sup>3</sup> ) Peso per unità di volume saturo	23,0	24,0	23,0
<b>g<sub>s</sub></b> (kN/m <sup>3</sup> ) Peso specifico	---	---	23,0
<b>f'</b> (°) Angolo di attrito	32,0	36,0	33,0
<b>c'</b> (kPa) Coesione efficace	100,0	150,0	120,0
E (Mpa) Modulo Elastico Statico	80	100	90
η Coefficiente di Poisson	--	--	0,35
<b>R.Q.D.</b> (%)	40	60	50

**Parametri geotecnici caratteristici [U.G.4b] – calcari da poco fratturati a compatti:**

	<b>MIN</b>	<b>MAX</b>	<b>BEST FIT</b>
<b>g</b> (kN/m <sup>3</sup> ) Peso per unità di volume naturale	21,5	24,0	22,5
<b>g<sub>sec</sub></b> (kN/m <sup>3</sup> ) Peso per unità di volume secco	20,0	21,5	20,5
<b>g<sub>sat</sub></b> (kN/m <sup>3</sup> ) Peso per unità di volume saturo	23,0	24,5	24,0

<b><math>g_s</math></b> (kN/m <sup>3</sup> ) Peso specifico	---	---	24,0
<b><math>f'</math></b> (°) Angolo di attrito	37,0	40,0	38,0
<b><math>c'</math></b> (kPa) Coesione efficace	150,0	180,0	160,0
E (Mpa) Modulo Elastico Statico	200	500	300
$\eta$ Coefficiente di Poisson	--	--	0,32
<b>R.Q.D.</b> (%)	80	100	90

elaborare per l'area di progetto un modello geologico di riferimento, il quale tiene conto di tutte le informazioni acquisite durante il presente studio, che viene nel seguito esplicitato.

All'interno dell'area progettuale si individuano due aree distinte, in cui le caratteristiche stratigrafiche e geotecniche del sedime di fondazione sono del tutto differenti tra loro. In particolare la prima è caratterizzata dalla presenza del substrato roccioso (calcarenitico/calcareo) sub-affiorante, mentre nella seconda, il substrato roccioso è sormontato da un deposito di sabbie, sabbie limose alternate a livelli di arenarie organogene, deposito ascrivibile alla formazione dei Depositi Marini Terrazzati.

La falda idrica superficiale non è presente in nessuna delle aree investigate, mentre quella profonda, che circola all'interno della massa carbonatica è localizzata a quote di circa ai 70-100 m dal p.c., e pertanto non vi può essere alcuna interazione fra le acque sotterranee e le opere in progetto.

Alla luce di quanto detto è possibile distinguere all'interno dell'area interessata dal parco eolico tre differenti unità litologiche [U.L.]:

- Unità Litologica 1: Unità dei depositi eluvio colluviali ("Terre rosse")
- Unità Litologica 2: Unità delle sabbie calcarenitiche concrezionate.
- Unità Litologica 3: Unità delle calcareniti bioclastiche.
- Unità Litologica 4: Unità dei calcari cretacei.

Sulla base dei modelli geologico di riferimento è possibile inoltre considerare i seguenti aspetti, vevoli per tutta l'area progettuale:

Categoria di sottosuolo	A-B
Categoria Topografica	T1
Rischio liquefazione dei terreni	Nulla
Rischio instabilità dei terreni	Situazione Stabile
Pericolosità geo-sismica del sito	Molto Bassa

In accordo con il modello geologico, sintetizzando le risultanze delle indagini geognostiche effettuate unitamente ai dati bibliografici in possesso dello scrivente, è stato elaborato il modello geotecnico dell'area in studio, il quale è formato dalle seguenti unità geotecniche:

Unità Geotecnica	Descrizione
U.G. 1)	TERRENO VEGETALE
U.G. 2)	SABBIE E SABBIE CALCARENITICHE CONCR.
U.G. 3)	CALCARENITI BIOCLASTICHE

U.G. 4) **CALCARI MICRITICI:** è possibile all'interno della seguente unità distinguere a sua volta due differenti unità geotecniche, la prima costituita dai calcari alterati e fratturati [U.G.4a] ed una seconda costituita da calcari da poco fratturati ed alterati a compatti [U.G.4b]

I valori delle principali caratteristiche fisiche e meccaniche sono stati ricavati dall'elaborazione di tutte le prove eseguite oltre che da dati bibliografici in possesso dello scrivente riguardanti indagini pregresse su terreni similari a quelli in studio.

In particolare sono state parametrizzate le Unità geotecniche 2, 3, 4a e 4b; l'Unità 1, costituita da terreno vegetale, date le scadenti caratteristiche meccaniche non viene presa in considerazione, e dovrà necessariamente essere asportato.

Di seguito, viene esplicitata la parametrizzazione geotecnica di massima delle singole Unità precedentemente individuate, con l'indicazione degli aerogeneratori di cui ne costituiscono il sedime di fondazione.

### **UNITA' GEOTECNICA 2: Depositi sabbioso-ghiaioso-arenitici [WTG12]**

Formazione geologica: Depositi Marini Terrazzati

Descrizione litologica: alternanza di sabbie, sabbie con limo, e strati arenitici da mediamente a ben cementati.

Soggiacenza della falda: Assente.

Caratteristiche geotecniche generali: terreni a comportamento geotecnico da discreto a buono, prevalentemente incoerente, a consistenza generalmente medio-bassa nei livelli superficiali, che tende ad aumentare con la profondità.

Comportamento Strato: Granulare sciolto

Stato di addensamento: da mediamente addensato a semicoerente.

#### **Parametri geotecnici caratteristici:**

	<b>MIN</b>	<b>MAX</b>	<b>BEST FIT</b>
<b>g</b> (kN/m <sup>3</sup> ) Peso per unità di volume naturale	17,5	21,0	20,0
<b>g<sub>sec</sub></b> (kN/m <sup>3</sup> ) Peso per unità di volume secco	16,8	18,0	17,5
<b>g<sub>sat</sub></b> (kN/m <sup>3</sup> ) Peso per unità di volume saturo	19,5	21,8	20,5
<b>g<sub>s</sub></b> (kN/m <sup>3</sup> ) Peso specifico	---	---	24,0
<b>f'</b> (°) Angolo di attrito di picco	28,0	32,0	30,0
<b>f'<sub>vc</sub></b> (°) Angolo di attrito a volume costante	26,0	31,0	29,0
<b>c'</b> (kPa) Coesione efficace	0,0	9,0	4,0
E (Mpa) Modulo Elastico Statico	--	--	40
η Coefficiente di Poisson	--	--	0,40

### **UNITA' GEOTECNICA 3: Depositi calcarenitici [WTG13]**

Formazione geologica: Calcarenitici di Gravina

Descrizione litologica: Calcareniti bioclastiche a grana grossolana di colore bianco giallastro da mediamente a scarsamente cementate

Caratteristiche geotecniche generali: terreni a comportamento geotecnico da discreto a buono, con comportamento assibilabile ad un ammasso roccioso dalle discrete qualità.

Comportamento Strato: Roccioso

Stato di addensamento: Da mediamente a ben cementato

**Parametri geotecnici caratteristici:**

	MIN	MAX	BEST FIT
<b>g</b> (kN/m <sup>3</sup> ) Peso per unità di volume naturale	19,5	22,0	21,0
<b>g<sub>sec</sub></b> (kN/m <sup>3</sup> ) Peso per unità di volume secco	18,0	19,5	18,5
<b>g<sub>sat</sub></b> (kN/m <sup>3</sup> ) Peso per unità di volume saturo	20,0	22,0	21,0
<b>g<sub>s</sub></b> (kN/m <sup>3</sup> ) Peso specifico	---	---	22,0
<b>f'</b> (°) Angolo di attrito	30,0	34,0	32,0
<b>c'</b> (kPa) Coesione efficace	0,0	10,0	5,0
E (Mpa) Modulo Elastico Statico	50	80	70
η Coefficiente di Poisson	--	--	0,40
<b>R.Q.D.</b> (%)	30	60	50

**UNITA' GEOTECNICA 4: Depositi calcarei [WTG1 – WTG2 – WTG3 – WTG4 – WTG5 – WTG6 – WTG7 – WTG8 – WTG9 - WTG10 - WTG11]**

Formazione geologica: Calcari di Altamura

Descrizione litologica: Calcari micritici biancastri da fratturati ed alterati a compatti.

Caratteristiche geotecniche generali: terreni a comportamento geotecnico in genere buono, con comportamento assibilabile ad un ammasso roccioso dalle buone qualità. La qualità dell'ammasso e le caratteristiche geotecniche tendono ad aumentare al diminuire del grado di alterazione e fratturazione dell'ammasso. Per tale motivo l'unità geotecnica viene distinta in due sottounità: quella più superficiale, costituita dai calcari alterati e fratturati e quella più profonda costituita dai calcari da poco fratturati a compatti.

**Parametri geotecnici caratteristici [U.G.4a] – calcari alterati e fratturati:**

	MIN	MAX	BEST FIT
<b>g</b> (kN/m <sup>3</sup> ) Peso per unità di volume naturale	22,0	23,0	22,5
<b>g<sub>sec</sub></b> (kN/m <sup>3</sup> ) Peso per unità di volume secco	20,0	21,0	20,5
<b>g<sub>sat</sub></b> (kN/m <sup>3</sup> ) Peso per unità di volume saturo	23,0	24,0	23,0
<b>g<sub>s</sub></b> (kN/m <sup>3</sup> ) Peso specifico	---	---	23,0
<b>f'</b> (°) Angolo di attrito	32,0	36,0	33,0
<b>c'</b> (kPa) Coesione efficace	100,0	150,0	120,0
E (Mpa) Modulo Elastico Statico	80	100	90
η Coefficiente di Poisson	--	--	0,35
<b>R.Q.D.</b> (%)	40	60	50

**Parametri geotecnici caratteristici [U.G.4b] – calcari da poco fratturati a compatti:**

	<b>MIN</b>	<b>MAX</b>	<b>BEST FIT</b>
<b>g</b> (kN/m <sup>3</sup> ) Peso per unità di volume naturale	21,5	24,0	22,5
<b>g<sub>sec</sub></b> (kN/m <sup>3</sup> ) Peso per unità di volume secco	20,0	21,5	20,5
<b>g<sub>sat</sub></b> (kN/m <sup>3</sup> ) Peso per unità di volume saturo	23,0	24,5	24,0
<b>g<sub>s</sub></b> (kN/m <sup>3</sup> ) Peso specifico	---	---	24,0
<b>f'</b> (°) Angolo di attrito	37,0	40,0	38,0
<b>c'</b> (kPa) Coesione efficace	150,0	180,0	160,0
E (Mpa) Modulo Elastico Statico	200	500	300
η Coefficiente di Poisson	--	--	0,32
<b>R.Q.D.</b> (%)	80	100	90

## 11. CRITERI DI VERIFICA

### 11.1. MODELLAZIONE

La fondazione è stata analizzata considerando i carichi dovuti alle seguenti azioni:

- 1) il peso proprio
- 2) il peso del terreno di rinterro (sovraccarico permanente non compiutamente definito)
- 3) carichi provenienti dalla struttura in elevazione ( $F_z$ ,  $F_x$ ,  $F_y$ ,  $M_z$ ,  $M_x$ ,  $M_y$ ) e applicati a 20 cm dal piedistallo

Nell'ambito della valutazione geotecnica della fondazione si è proceduto alla determinazione delle rigidezza equivalente verticale alla **Winkler** del terreno di fondazione, adottata nell'ambito della modellazione strutturale: tale parametro è riportato al § 12.4.

Il modello geotecnico ipotizzato è il seguente:

SPESSORE STRATO	UNITÀ GEOTECNICA	PARAMETRI GEOTECNICI CARATTERISTICI
4 m	UG4a	$g_s$ (kN/m <sup>3</sup> ) Peso specifico: 23,0 $f'$ (°) Angolo di attrito: 33,0 $c'$ (kPa) Coesione efficace: 120,0 $E$ (Mpa) Modulo Elastico Statico: 90 $\eta$ Coefficiente di Poisson: 0,35 <b>R.Q.D.</b> (%): 50
30 m	UG4b	$g_s$ (kN/m <sup>3</sup> ) Peso specifico: 24,0 $f'$ (°) Angolo di attrito: 38,0 $c'$ (kPa) Coesione efficace: 160,0 $E$ (Mpa) Modulo Elastico Statico: 300 $\eta$ Coefficiente di Poisson: 0,32 <b>R.Q.D.</b> (%): 90

### 11.2. VERIFICHE ESEGUITE

Le verifiche riguardanti la sicurezza globale e geotecnica sono state eseguite in accordo con il metodo degli stati limite di cui al cap. 2, 4 e 6 di [1], tenendo conto delle ulteriori richieste prestazionali previste nella normativa di settore [5]. In particolare sono state eseguite le:

- 1) verifiche geotecniche di resistenza a slittamento e carico limite
- 2) valutazioni dei cedimenti massimi assoluti e differenziali
- 3) valutazione della rigidezza rotazionale dinamica
- 4) valutazione della costante di Winkler

Le verifiche esposte nel seguito si fondano sui dati di calcolo forniti dal progettista della parte in elevazione, e che sono riassunti nelle successive tabelle (§ 11.4).

### 11.3. APPROCCI DI PROGETTO E COMBINAZIONI DI CARICO

Per le verifiche geotecniche si fa riferimento all'approccio 2, in accordo con la combinazione A1+M1+R3 e le tabelle seguenti:

		Coefficiente	EQU	A1	A2
		$\gamma_F$			
Carichi permanenti $G_1$	Favorevoli	$\gamma_{G1}$	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevoli		1,1	1,3	1,0
Carichi permanenti non strutturali $G_2^{(1)}$	Favorevoli	$\gamma_{G2}$	0,8	0,8	0,8
	Sfavorevoli		1,5	1,5	1,3
Azioni variabili Q	Favorevoli	$\gamma_Q$	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevoli		1,5	1,5	1,3

<sup>(1)</sup> Nel caso in cui l'intensità dei carichi permanenti non strutturali o di una parte di essi (ad es. carichi permanenti portati) sia ben definita in fase di progetto, per detti carichi o per la parte di essi nota si potranno adottare gli stessi coefficienti parziali validi per le azioni permanenti.

**Tabella 11.1**

Verifica	Coefficiente parziale
	(R3)
Carico limite	$\gamma_R = 2,3$
Scorrimento	$\gamma_R = 1,1$

**Tabella 11.2**

Nella logica del metodo degli Stati Limite ogni azione è stata classificata in base alla "sorgente" (cioè alla norma di riferimento, [1] e [5]) e al tipo di carico. Ciò anche nell'ottica di operare una corretta applicazione della norma [5], specifica per gli aerogeneratori, assieme con i criteri di progettazione previsti dalla norma [1] valida per tutte le costruzioni civili ed industriali. La tabella seguente riassume, pertanto, i coefficienti parziali da applicare, che differiscono in caso di azione "Abnormal" o "Normal" in accordo con le precedenti tabelle (8.1 e 8.2) estratte da [1] e la tabella 3 di [5].

AZIONE	TIPO DI CARICO	NORMA DI RIFERIMENTO	COEFFICIENTI PARZIALI $\gamma_F$	
			GEO	EQU
Peso proprio fondazione	Permanente fondazione	[1]	1,00 / 1,30	0,90
Peso terreno riempimento	Permanente fondazione	[1]	0,80 / 1,50	0,80
Peso aerogeneratore	Permanente aerogener.	[1] [5]	0,90 / 1,10 / 1,50	0,90 / 1,00
Vento aerogen.	Variabile aerogeneratore	[1] [5]	/ 1,10 / 1,50	1,00 1,10 / 1,50

**Tabella 11.3: Possibili valori dei coefficienti parziali delle azioni adottati nel presente progetto**

Nella tabella a seguire si riporta l'elenco completo delle combinazioni di carico adottate nelle verifiche della fondazione dell'aerogeneratore in oggetto, esplicitate al successivo § 11.4; i coefficienti adottati sono in accordo con quanto riportato nella tabella precedente.

Tipo di combinazione				CdC N.	Coefficienti parziali delle azioni $\gamma_f$				
					Peso proprio	Riempimento	Fz	H	M
GEO (abnormal)	Approccio 2	A1+M1+R3	Abnormal SLU2	1	1,00	0,80	0,90	1,10	1,10
	Approccio 2	A1+M1+R3	Abnormal SLU1	2	1,30	1,50	1,10	1,10	1,10
	Approccio 2	A1+M1+R3	Abnormal SLU2	3	1,00	0,80	0,90	1,10	1,10
GEO (normal)	Approccio 2	A1+M1+R3	Normal SLU2	4	1,00	0,80	0,90	1,50	1,50
	Approccio 2	A1+M1+R3	Normal SLU1	5	1,30	1,50	1,50	1,50	1,50
	Approccio 2	A1+M1+R3	Normal SLU2	6	1,00	0,80	0,90	1,50	1,50
EQU	IEC	normal case	Normal EQU	7	0,90	0,80	0,90	1,50	1,50
	IEC	abnormal case	Abnorm.EQU	8	0,90	0,80	0,90	1,10	1,10
	IEC	normal case	Normal	9	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	IEC	abnormal case	Abnormal	10	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	IEC		Operational	11	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

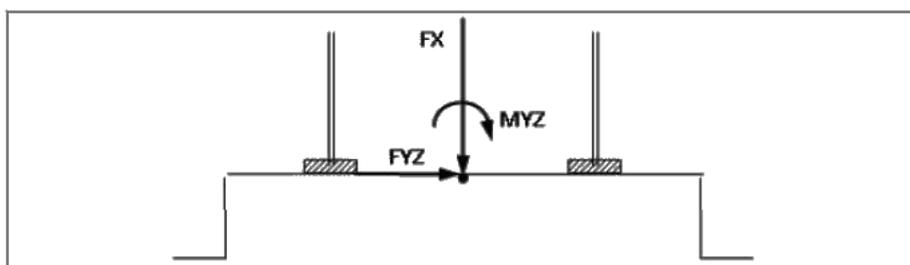
**Tabella 11.4: Coefficienti parziali delle azioni utilizzati ai fini del presente progetto**

L'azione della neve, che presenta un coefficiente di combinazione  $\psi_2 = 0$  in accordo con [1], non è stata mai assunta come azione variabile dominante e, pertanto, non compare in tabella. Le combinazioni 7 è assunta come Caratteristica (Rare) e, pertanto ad essa sono state riferite le valutazioni delle tensioni (SLE R) su calcestruzzo e armatura (si veda la relazione di calcolo strutturale delle fondazioni), oltre che per la valutazione dei cedimenti di fondazione. La combinazione 9 è utilizzata per le verifiche relative alla superficie di contatto (area d'impronta) terreno - plinto di fondazione (assieme alle combinazioni 7 e 8). Le combinazioni 10 e 11 fanno riferimento agli stati limite di esercizio strutturali (tensioni, fessurazione) e, pertanto, non sono prese in considerazione nell'ambito di questa relazione, ma saranno oggetto di successive fasi di progetto.

#### 11.4. ANALISI DEI CARICHI

##### 11.4.1. AZIONI DERIVANTI DALLA SOVRASTRUTTURA

Il documento « D2370721-004 SGRE ON SG 6.0-170 Foundation loads T115-50A.pdf » - fornito dal progettista degli aerogeneratori - riporta gli scarichi in fondazione derivanti dall'aerogeneratore, in accordo con le indicazioni della norma [5]. I valori dei carichi, non fattorizzati, sono riportati nelle successive tabelle e, pertanto ad essi sono da applicare i "Partial Load Factor" in accordo con quanto riportato nella tabella 3 al § 7.6.2.1 della norma [5]



**Figura 11.1: Simboli e segni adottati nelle successive tabelle fornite dal fabbricante degli aerogeneratori**

### Extreme load

The extreme loads for the design of the SG 6.0-170 T115-50A foundations are shown in Table 3.

Load case	Load factor	F <sub>x</sub> (kN)	F <sub>y</sub> (kN)	F <sub>z</sub> (kN)	F <sub>xy</sub> (kN)	M <sub>x</sub> (kNm)	M <sub>y</sub> (kNm)	M <sub>z</sub> (kNm)	M <sub>xy</sub> (kNm)
Dlc22_3bn_V11.0_n_s7	1,1	1688,55	55,55	-7508,71	1689,47	4580,25	196184,46	412,39	<b>196237,91</b>
Dlc22_3bn_V11.0_n_s7	1.0	1535,05	50,5	-6826,1	1535,88	4163,87	178349,5	374,9	<b>178398,1</b>

Table 3 SG 6.0-170 HH115m Factored/Unfactored Extreme loads at tower bottom

The loads provided by Siemens Gamesa as "Extreme Loads" in this section are the maximum static loads for the specific wind turbine calculated according to IEC 61400 or DIBt standard for each site class. These loads must not be combined with any other type of load. They include the dynamic behaviour of the structure and correspond to the most unfavourable case at the base of the wind turbine among the different load cases, according to IEC 61400 or DIBt. Therefore, the loads provided by Siemens Gamesa as "Extreme Loads" are directly the foundation design loads. They shall not be divided or combined with any other load.

### Characteristic load

Characteristic loads (maximum M<sub>xy</sub> bending moment load combination of groups N, E and T according to GL2012 Sec. 5.4.3.1.3, or equivalent groups N-T according to IEC 61400-1 2006) have been estimated as shown in Table 4:

Load case	F <sub>x</sub> (kN)	F <sub>y</sub> (kN)	F <sub>z</sub> (kN)	F <sub>xy</sub> (kN)	M <sub>x</sub> (kNm)	M <sub>y</sub> (kNm)	M <sub>z</sub> (kNm)	M <sub>xy</sub> (kNm)
Dlc62_V42.5_060_s9	1535,05	50,5	-6826,1	1535,88	4163,87	178349,5	374,9	<b>178398,1</b>

Table 4 SG 6.0-170 HH115m Characteristics Loads at the base of the tower

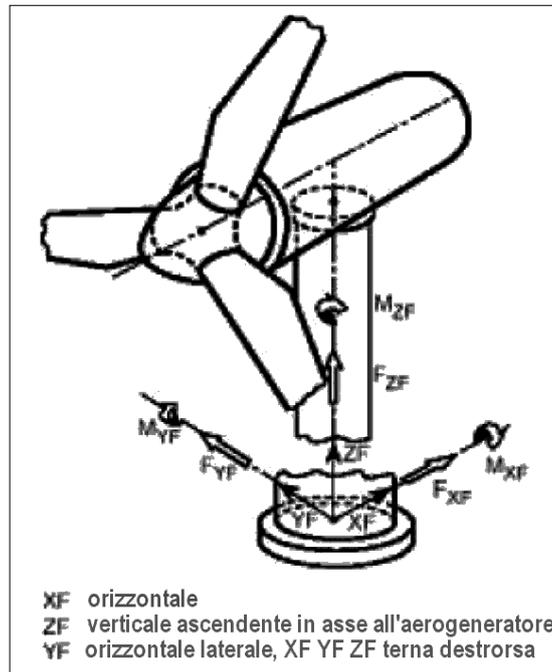
### Quasi-permanent load

Loads according to GL2010, considering DLC 1.1 and 6.4 with a probability of exceedance of  $pf = 10^{-2}$  (equivalent to 1750 h in 20 years) with  $\gamma_F = 1.0$  have been estimated as shown in Table 5:

pf=0.01000	Tower loads at section							
Section Height from bottom (m)	F <sub>x</sub> (KN)	F <sub>y</sub> (KN)	F <sub>xy</sub> (KN)	F <sub>z</sub> (KN)	M <sub>x</sub> (KNm)	M <sub>y</sub> (KNm)	M <sub>xy</sub> (KNm)	M <sub>z</sub> (KNm)
0	1002,07	123,15	1002,48	-6629,52	18223,36	119459,49	<b>119805,99</b>	4928,71

Table 5 SG 6.0-170 HH115m Quasi Permanent Loads at tower bottom

**Tabella 11.5: Scarichi in fondazione forniti sa Siemens Gamesa secondo [5]**



**Figura 11.2: Simbologia adottata nell'analisi dei carichi e nelle verifiche**

Oltre a queste azioni si sono considerate quelle derivanti dal peso proprio della struttura di fondazione e da peso del terreno di riempimento.

#### 11.4.2. PESO PROPRIO DELLA FONDAZIONE

Il peso del plinto di fondazione è pari a 21.489,75 kN.

#### 11.4.3. PESO PROPRIO DEL RIEMPIMENTO

E' previsto un ritombamento al di sopra e a fianco del plinto di fondazione, da realizzarsi con materiale drenante di buone caratteristiche meccaniche. Si assume un peso di volume pari a 18 kN/m<sup>3</sup>, e si assegna questo peso come pressione verticale secondo quanto riportato nella figura seguente.

CARICO TERRENO RIEMPIMENTO			
Raggio interno [m]	Raggio esterno [m]	H = spessore riempim. [m]	q riempim. [kN/m <sup>2</sup> ]
3,000	4,850	0,90	12,90
4,850	6,700	1,30	20,03
6,700	8,550	1,70	27,21
8,550	10,400	2,11	34,41
10,400	12,250	2,51	41,62

**Figura 11.3: Carico del riempimento**

La risultante del peso del riempimento vale 13.319,78 kN

### 11.5. RIEPILOGO CONDIZIONI DI CARICO

<b>SCARICHI IN CONDIZIONI ESTREME (IEC 64100)</b>	<b>Fx [kN]</b>	<b>Fy [kN]</b>	<b>Fz [kN]</b>	<b>Mx [kNm]</b>	<b>My [kNm]</b>	<b>Mz [kNm]</b>
Normal[Fc=1,35]	2.072,32	68,18	-9.215,24	5.621,22	240.771,83	506,12
Abnormal[Fc=1,1]	1.688,56	55,55	-7.508,71	4.580,26	196.184,45	412,39

<b>SCARICHI IN CONDIZIONI NORMAL (IEC 64100)</b>	<b>Fx [kN]</b>	<b>Fy [kN]</b>	<b>Fz [kN]</b>	<b>Mx [kNm]</b>	<b>My [kNm]</b>	<b>Mz [kNm]</b>
Normal	1.535,05	50,50	-6.826,10	4.163,87	178.349,50	374,90
Abnormal	1.535,05	50,50	-6.826,10	4.163,87	178.349,50	374,90

<b>SCARICHI COND. OPERAZIONALI (IEC 64100)</b>		<b>Fxy [kN]</b>	<b>Fz [kN]</b>	<b>Mxy [kNm]</b>	<b>Mz [kNm]</b>
Operational		1.002,48	-6.629,52	119.805,99	4.928,71

**Tabella 11.6: Riepilogo delle condizioni di carico secondo la convenzione di cui alla figura 11.2**

## 12. VERIFICHE GLOBALI / GEOTECNICHE

### 12.1. COMBINAZIONI DI CARICO E FATTORI DI SICUREZZA

Nella tabella a seguire si riporta un riepilogo dei fattori parziali, dei coefficienti e fattori di sicurezza.

Verifica		CdC N.	Tipo di combinazione			Fattore di Sicurezza
GEO (abnormal)	Carico limite	1	Approccio 2	A1+M1+R3	Abnormal SLU2	26,81
	Carico limite	2	Approccio 2	A1+M1+R3	Abnormal SLU1	13,75
	Scorrimento	3	Approccio 2	A1+M1+R3	Abnormal SLU2	27,00
GEO (normal)	Carico limite	4	Approccio 2	A1+M1+R3	Normal SLU2	15,24
	Carico limite	5	Approccio 2	A1+M1+R3	Normal SLU1	10,76
	Scorrimento	6	Approccio 2	A1+M1+R3	Normal SLU2	16,05

**Tabella 12.1: Riepilogo delle verifiche geotecniche e globali e relativi coefficienti di sicurezza (F.S.)**

### 12.2. CARICO LIMITE

Le verifiche a carico limite sono dettagliate nelle successive tabelle. Si è adottato il metodo di verifica di cui all'appendice D di [4] (Eurocodice 7).

SCARICHI DI PROGETTO PER VERIFICHE DI PORTANZA					
	Peso proprio	Riempimento	Fz	H	M
Normal SLU2	1,00	0,80	0,90	1,50	1,50
Normal SLU1	1,30	1,50	1,50	1,50	1,50
Abnormal 2	1,00	0,80	0,90	1,10	1,10
Abnormal 1	1,30	1,50	1,10	1,10	1,10
FOUNDATION BOTTOM					
	Normal SLU2	Normal SLU1	Abnormal 2	Abnormal 1	
Fz	38.772,79	58.784,34	38.772,79	56.053,90	
Fxy	2.303,82	2.303,82	1.689,47	1.689,47	
Mxy	276.508,33	276.508,33	202.772,77	202.772,77	
Fz undrained	38.772,79	58.784,34	38.772,79	56.053,90	

**Tabella 12.2: Analisi scarichi in fondazione**

CdC	Q <sub>rd</sub> (kPA)	Q <sub>sd</sub> (kPA)	FS	
<b>Normal SLU1</b>	4.756,37	238,24	19,96	> 1 OK
<b>Normal SLU2</b>	4136,94	271,37	15,25	> 1 OK
<b>Abnormal SLU1</b>	5.045,58	188,87	26,72	> 1 OK
<b>Abnormal SLU2</b>	4.657,31	173,72	26,81	> 1 OK

**Tabella 12.3: Verifica a carico limite in condizioni drenate – Per tutte le combinazioni**

### 12.3. SLITTAMENTO

Di seguito di dettaglio la verifica a slittamento.

SCARICHI DI PROGETTO PER VERIFICHE A SLITTAMENTO					
	Peso proprio	Riempimento	Fz	H	M
<b>Normal SLU2</b>	1,00	0,80	0,90	1,50	1,50
<b>Abnormal 2</b>	1,00	0,80	0,90	1,10	1,10
FOUNDATION BOTTOM					
	Normal SLU2		Abnormal 2		
Fz	38.772,79		38.772,79		
Fxy	2.303,82		1.689,47		
Mxy	276.508,33		202.772,77		

**Tabella 12.4: Analisi scarichi in fondazione**

VALUTAZIONE DELLA RESISTENZA A SLITTAMENTO					
		Condition	Soil parameters	Load comb.	
SLIDING CHECK		drained	STR.-01 - Layer 1	Normal SLU2	
Cohesion	c'			120	kPa
Design bending moment	M <sub>xy</sub>			276.508	kNm
Design torque moment	M <sub>z</sub>			759,17	kNm
Design vertical load	F <sub>z</sub>			38.773	kN
Design tangential load	H			2.304	kN
Radius	R			12,25	m
Eccentricity	e	M <sub>xy</sub> /F <sub>z</sub>		7,13	m
Ellipse minor axes	B <sub>e</sub>	2*(R-e)		10,24	m
Ellipse major axes	L <sub>e</sub>	2 R [1-(1-B <sub>e</sub> /2R) <sup>2</sup> ] <sup>1/2</sup>		19,92	m
Effective loaded area	A <sub>eff</sub>	2*[R <sup>2</sup> arccos(e/R)-e*(R <sup>2</sup> - e <sup>2</sup> ) <sup>1/2</sup> ]		142,88	m <sup>2</sup>
Effective length	L <sub>eff</sub>	(A <sub>eff</sub> *L <sub>e</sub> /B <sub>e</sub> ) <sup>1/2</sup>		16,67	m
Effective width	B <sub>eff</sub>	L <sub>eff</sub> *B <sub>e</sub> /L <sub>e</sub>		8,57	m
Horizontal force	H'	2*M <sub>z</sub> /L <sub>eff</sub> + [H <sup>2</sup> + (2*M <sub>z</sub> /L <sub>eff</sub> ) <sup>2</sup> ] <sup>1/2</sup>		2.396,68	kN
Friction angle	φ'			33,0°	
Struct.-ground friction	δ'		33° =	33,0°	
Adhesion	c <sub>a</sub>			120	kPa
Resistance factor	γ <sub>R</sub>			1,100	
Design sliding resist.	R <sub>d</sub>	(F <sub>z</sub> tan(δ) + A <sub>eff</sub> c <sub>a</sub> ) / γ <sub>R</sub> =		38.477	kN
Sliding check	FS	38477 / 2397 =		16,054	> 1 OK

**Tabella 12.5: Verifica a slittamento – Combinazione Normal SLU 2**

SLIDING CHECK		Condition	Soil parameters	Load comb.
		drained	STR.-01 - Layer 1	Abnormal 2
Cohesion	c'			120 kPa
Design bending moment	M <sub>xy</sub>			202.773 kNm
Design torque moment	M <sub>z</sub>			556,73 kNm
Design vertical load	F <sub>z</sub>			38.773 kN
Design tangential load	H			1.689 kN
Radius	R			12,25 m
Eccentricity	e	M <sub>xy</sub> /F <sub>z</sub>		5,23 m
Ellipse minor axes	B <sub>e</sub>	2*(R-e)		14,04 m
Ellipse major axes	L <sub>e</sub>	2 R [1-(1-B <sub>e</sub> /2R) <sup>2</sup> ] <sup>1/2</sup>		22,16 m
Effective loaded area	A <sub>eff</sub>	2*[R <sup>2</sup> arccos(e/R)-e*(R <sup>2</sup> - e <sup>2</sup> ) <sup>1/2</sup> ]		223,19 m <sup>2</sup>
Effective length	L <sub>eff</sub>	(A <sub>eff</sub> *L <sub>e</sub> /B <sub>e</sub> ) <sup>1/2</sup>		18,77 m
Effective width	B <sub>eff</sub>	L <sub>eff</sub> *B <sub>e</sub> /L <sub>e</sub>		11,89 m
Horizontal force	H'	2*M <sub>z</sub> /L <sub>eff</sub> + [H <sup>2</sup> +(2*M <sub>z</sub> /L <sub>eff</sub> ) <sup>2</sup> ] <sup>1/2</sup>		1.749,84 kN
Friction angle	φ'			33,0°
Struct.-ground friction	δ'		33° =	33,0°
Adhesion	c <sub>a</sub>			120 kPa
Resistance factor	γ <sub>R</sub>			1,100
Design sliding resist.	R <sub>d</sub>		(F <sub>z</sub> tan(δ) + A <sub>eff</sub> c <sub>a</sub> ) / γ <sub>R</sub> =	47.238 kN
Sliding check	FS		47238 / 1750 =	26,996 > 1 OK

**Tabella 12.6: Verifica a slittamento – Combinazione Abnormal SLU 2**

#### 12.4. VALUTAZIONE MODULO DI REAZIONE (WINKLER)

##### VALUTAZIONE MODULO DI REAZIONE SOTTOFONDO (WINKLER)

n. stratigraphy 1

- on stratum over bedrock
- on stratum over half-space
- embedded in stratum over bedrock

Parameter	Symbol	Expression / note	Value
Static shear modulus	G		33,33 N/mm <sup>2</sup>
Static Young modulus	E		90,00 N/mm <sup>2</sup>
Poisson ratio	ν		0,35 -
Foundation radius	R		12,25 m
Thickness of layer	H		4,00 m
	α <sub>r</sub>	(for circular rigid foundation)	-
Winkler modulus	K <sub>w</sub>	$\frac{4GR}{1-\nu} \left(1 + 1,28 \frac{R}{H}\right) \frac{1}{\pi R^2}$	26.224,34 kN/m <sup>3</sup>

**Tabella 12.7: Valutazione della costante di Winkler**

#### 12.5. VALUTAZIONE DEI CEDIMENTI

I cedimenti medio e differenziale in combinazione SLE Rara (Normal) sono valutati attraverso

il metodo semplificato.

Si assume che il cedimento medio sia pari al rapporto tra la pressione media e la costante di Winkler di cui al punto precedente. La pressione media, sulla base dell'analisi di carichi esposta ai punti precedenti, vale

$$Q_{MEDIA,SLE R} = 58784,34 / (3,1416 * 12,25^2) = 124,69 \text{ kN/m}^2$$

Pertanto il cedimento medio atteso, se si escludono gli effetti legate alle pressioni efficaci litostatiche (dovute, in sostanza, al peso del terreno di scavo rimosso), vale:

$$\text{Cedimento elastico medio atteso} = 100 * 124,69 / 26.224,34 \approx 0,47 \text{ cm.}$$

Questa valutazione si basa, oltre che sul modello di terreno alla Winkler, sull'ipotesi di fondazione deformabile (rispetto al terreno), dunque in grado di trasmettere un campo di pressioni di contatto con andamento quasi lineare.

Il cedimento differenziale massimo atteso, sempre in combinazione rara, è valutato secondo Bowles:

**VALUTAZIONE DEL CEDIMENTO DIFFERENZIALE (ROTAZIONE)**

n. stratigraphy 1

Survey		STR.-01	
Parameter	Symbol	Expression / note	Value
Poisson ratio	v		
Static Young modulus	E	(Layer 1)	90,00 N/mm <sup>2</sup>
		(Layer 2)	300,00 N/mm <sup>2</sup>
		(mean value)	90,00 N/mm <sup>2</sup>
Thickness of Layer 1	t1	(Layer 1)	4,00 m
Bending moment	M	(Rare)	184.338,89 kNm
Influence factor	I <sub>θ</sub>	(rigid circular spread foundation)	5,53
Static rotation	tan(θ)	$\tan(\theta) = \frac{(1-\nu^2)}{E} \frac{M}{B^2 L} I_{\theta}$	0,70 mm/m

**Tabella 12.8: Valutazione del cedimento massimo differenziale (rotazione) in combinazione SLE rara**

Pertanto il cedimento medio vale 19,6 mm mentre la rotazione vale 1,58 mm/m.

Si tratta di valori assolutamente compatibili con la funzionalità delle strutture in elevazione.

**12.6. VALUTAZIONE DELLA RIGIDEZZA ROTAZIONALE DINAMICA**

Si riporta a seguire la valutazione della rigidezza rotazionale dinamica e la relativa verifica rispetto al valore minimo richiesto dal fabbricante della torre. La rigidezza rotazionale dinamica è assunta pari a:

$$K_r = 8 \text{ Gdyn } R^3 / [3 (1-\nu)]$$

- Gdyn = modulo a taglio dinamico di progetto
- R = raggio del plinto
- ν = coefficiente di Poisson

Per il calcolo del modulo a taglio dinamico si fa riferimento alla velocità delle onde di taglio (Vs) del sottosuolo, mediata sulla profondità significativa in funzione delle pressioni indotte dai

carichi.

Si adotta la formula  $G_{dyn} = 0.35 \rho \langle V_s \rangle^2$  in cui  $\langle V_s \rangle$  il valore medio ponderato della velocità delle onde di taglio e  $\rho$  la densità media del sottosuolo. Nel caso in esame la  $\langle V_s \rangle$  è stata assunta conservativamente pari al valore minimo della velocità equivalente delle onde a taglio valutate nell'ambito delle indagini geofisiche esecutive MASW di cui alla relazione geologica.

**DYNAMIC ROTATIONAL STIFFNESS (ALL STRATIGRAPHS)**

Soil density	$\rho =$		2,30 kg/dm <sup>3</sup>
Shear wave velocity (design value)	$\langle V_s \rangle =$		800,00 m/s
Poisson ratio	$\nu =$		0,35
Dynamic shear modulus ( $\gamma=0.001$ )	$G_{dyn} =$	$0,35 * 2,3 * 800^2 / 1000 =$	515,20 N/mm <sup>2</sup>
Foundation radius	$R =$		12,25 m
Rotational stiffness	$K_r =$	$8 * 515,2 * 12,25^3 / 3 / (1-0,35) =$	3.885.433,64 MNm/rad
Min required $K_r$ (from manufacturer)	$K_{r,min} =$		150.000,00 MNm/rad
		CHECK	OK