



GRE CODE
GRE.EEC.R.25.IT.W.14706.00.010.00

PAGE
1 di/of 46

TITLE:

AVAILABLE LANGUAGE: IT

“IMPIANTO EOLICO LATIANO”

RELAZIONE GEOTECNICA

00	02/12/2020	EMISSIONE	C.MEDICO	V.D'AMICO	A.SERGI (SCS)
REV.	DATE	DESCRIPTION	PREPARED	VERIFIED	APPROVED

GRE VALIDATION

-	DISCIPLINE	PUOSI
COLLABORATORS	VERIFIED BY	VALIDATED BY

PROJECT / PLANT IMPIANTO EOLICO LATIANO	GRE.EEC.R.25.IT.W.14706.00.010.00																		
	GROUP	FUNCION	TYPE	ISSUER	COUNTRY	TEC	PLANT	SYSTEM	PROGRESSIVE	REVISION									
	GRE	EEC	R	7	3	I	T	W	1	4	7	0	6	0	0	0	1	0	0

CLASSIFICATION	UTILIZATION SCOPE
-----------------------	--------------------------

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	11
6.1. CARATTERI GEOLOGICI LOCALI	13
7. INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO.....	19
8. IDROGEOLOGIA ED IDROGRAFIA SUPERFICIALE.....	21
8.1. ASSETTO IDROLOGICO	21
8.2. ACQUE SOTTERRANEE	23
8.2.1. CARATTERISTICHE DELL'ACQUIFERO SUPERFICIALE.....	24
8.2.2. CARATTERISTICHE DELL'ACQUIFERO PROFONDO	24
9. INDAGINI GEOGNOSTICHE E GEOFISICHE	26
10. MODELLO GEOLOGICO E GEOTECNICO	31
11. CRITERI DI VERIFICA.....	35
11.1. MODELLAZIONE	35
11.2. VERIFICHE ESEGUITE	35
11.3. APPROCCI DI PROGETTO E COMBINAZIONI DI CARICO	36
11.1. ANALISI DEI CARICHI.....	37
11.1.1. AZIONI DERIVANTI DALLA SOVRASTRUTTURA	38
11.1.2. PESO PROPRIO DELLA FONDAZIONE	39
11.1.3. PESO PROPRIO DEL RIEMPIMENTO	39
11.2. RIEPILOGO CONDIZIONI DI CARICO	40
12. VERIFICHE GLOBALI / GEOTECNICHE	41
12.1. COMBINAZIONI DI CARICO E FATTORI DI SICUREZZA.....	41
12.2. CARICO LIMITE.....	41
12.3. SLITTAMENTO	43
12.4. VALUTAZIONE MODULO DI REAZIONE (WINKLER)	44
12.5. VALUTAZIONE DEI CEDIMENTI	44
12.6. VALUTAZIONE DELLA RIGIDEZZA ROTAZIONALE DINAMICA.....	45

1. PREMESSA

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

L'area di progetto oggetto di indagine, comprendente n. 13 aerogeneratori (nel seguito WTG) e, ricade nell'ambito del territorio amministrato dai Comuni di Latiano e Mesagne in Provincia di Brindisi.

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

SISTEMA DI RIFERIMENTO UTM WGS 84 - FUSO 33N			ID. CATASTO		
WTG	EST [m]	NORD [m]	COMUNE	FG	P.LLA
1	727561	4497784	LATIANO	8	54
2	729449	4497237	LATIANO	9	306
3	730314	4497021	LATIANO	9	319
4	733012	4497300	LATIANO	17	35
5	728316	4495815	LATIANO	12	475
6	729376	4495890	LATIANO	13	126
7	731274	4495999	LATIANO	24	1
8	731967	4495907	LATIANO	24	8
9	732497	4496151	MESAGNE	10	1
10	732997	4496386	MESAGNE	10	45
11	730635	4495094	LATIANO	23	61
12	732072	4494258	LATIANO	32	68
13	733802	4495632	MESAGNE	11	1

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.

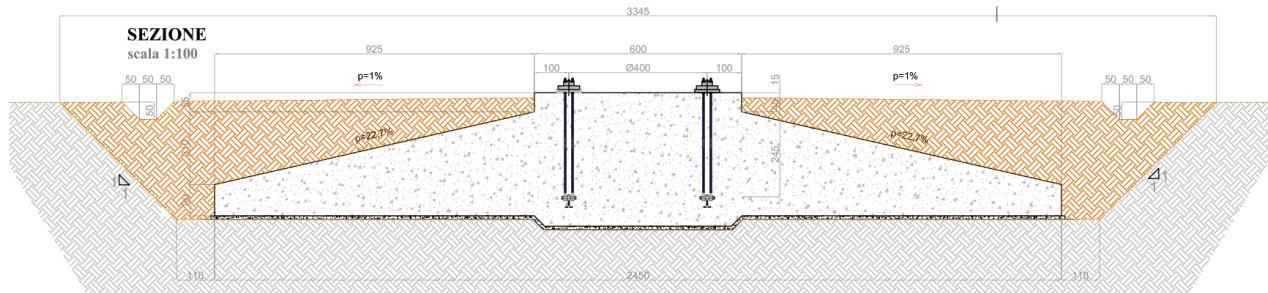


Figura 1: Geometria della fondazione dell'aerogeneratore

GEOMETRIA FONDAZIONE	
Diametro esterno fondazione	24,50 m
Diametro esterno piedistallo	6,00 m
Spessore fondazione al bordo esterno	0,90 m
Spessore massimo della suola di fondaz.	3,00 m
Scalino esterno del piedistallo	0,55 m
Ringrosso inferiore plinto (zona centrale)	0,30 m
Diametro zona di ringrosso inferiore plinto	6,00 m
Altezza massima piedistallo	3,55 m
Spessore minimo di ricoprimento fondaz.	0,50 m
Pendenza profilo terra di ricoprimento	1,00%
Pendenza estradosso fondazione	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 Latiano e di Mesagne (BR). Tutti gli aerogeneratori sorgono in zone agricole.

Per quanto concerne le quote topografiche, variano da un massimo di circa 120 m s.l.m. (zona WTG1 ad un minimo di circa 75 m s.l.m. (zona WTG04-WTG13). In generale le quote topografiche tendono a degradare da Ovest verso Est, Sud-Est, dalla piattaforma carbonatica verso la piana di Brindisi.

Cartograficamente l'area all'interno delle tavolette I.G.M. alla scala 1:50.000 denominate "Brindisi" Foglio 476 e "Mesagne" Foglio 495. Alla scala 1:5.000 il sito di interesse ricade nella sezione Brindisi n° 476133 – Masseria La Colura, nelle sezioni Mesagne n° 495011 - Masseria Partemio, n° 495012 – Latiano, n° 495014 – Masseria Tossano, n° 495024 – Masseria L'Orfani della Carta Tecnica Regionale della Puglia.

L'area interessata dal progetto è raggiungibili grazie ad una fitta rete di strade di vario ordine presenti in zona; tra queste l'arteria di collegamento più importante è costituita dalla Strada Provinciale n. 46 accessibile a sud dal raccordo la Strada Statale n. 7.

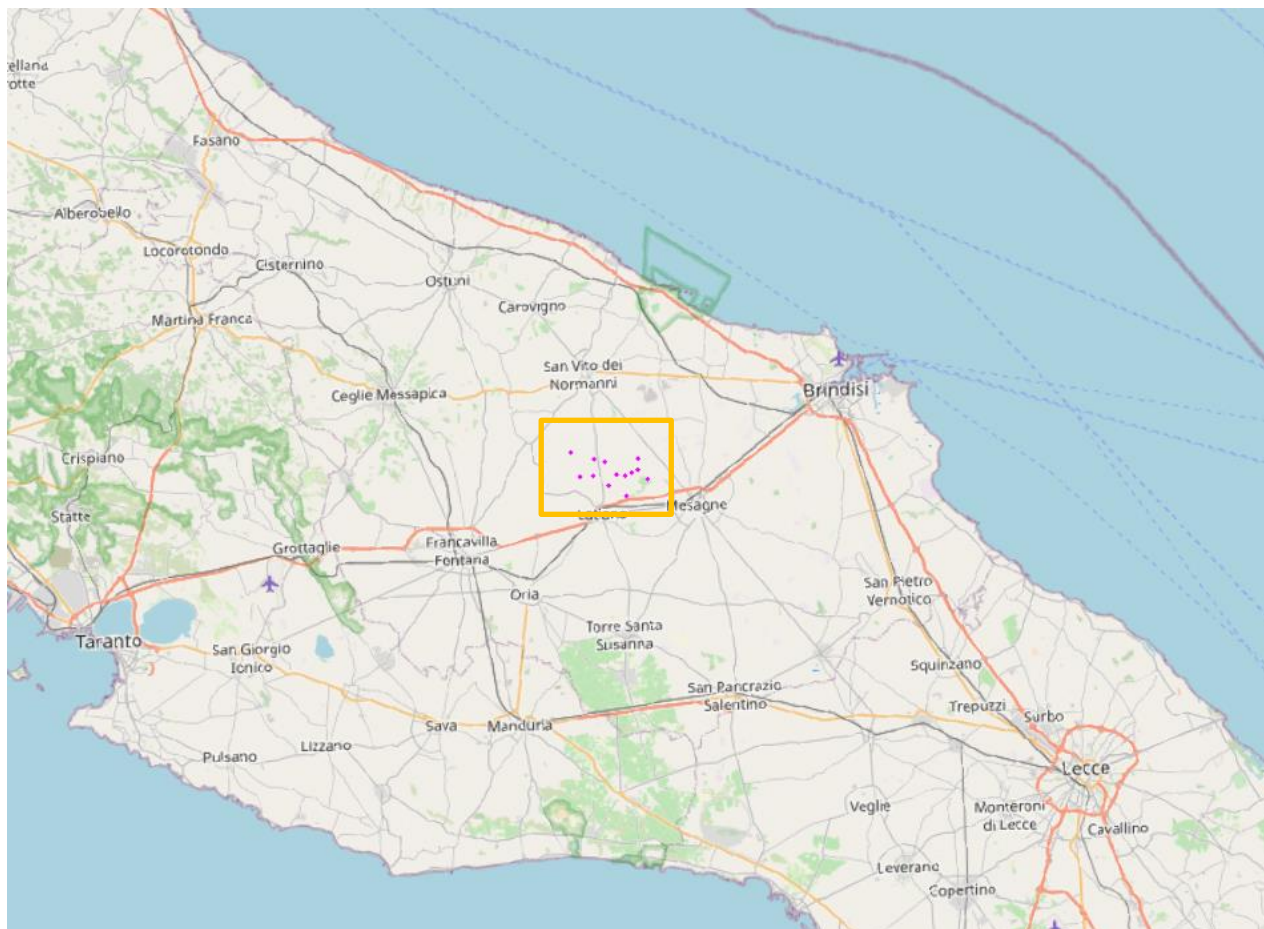
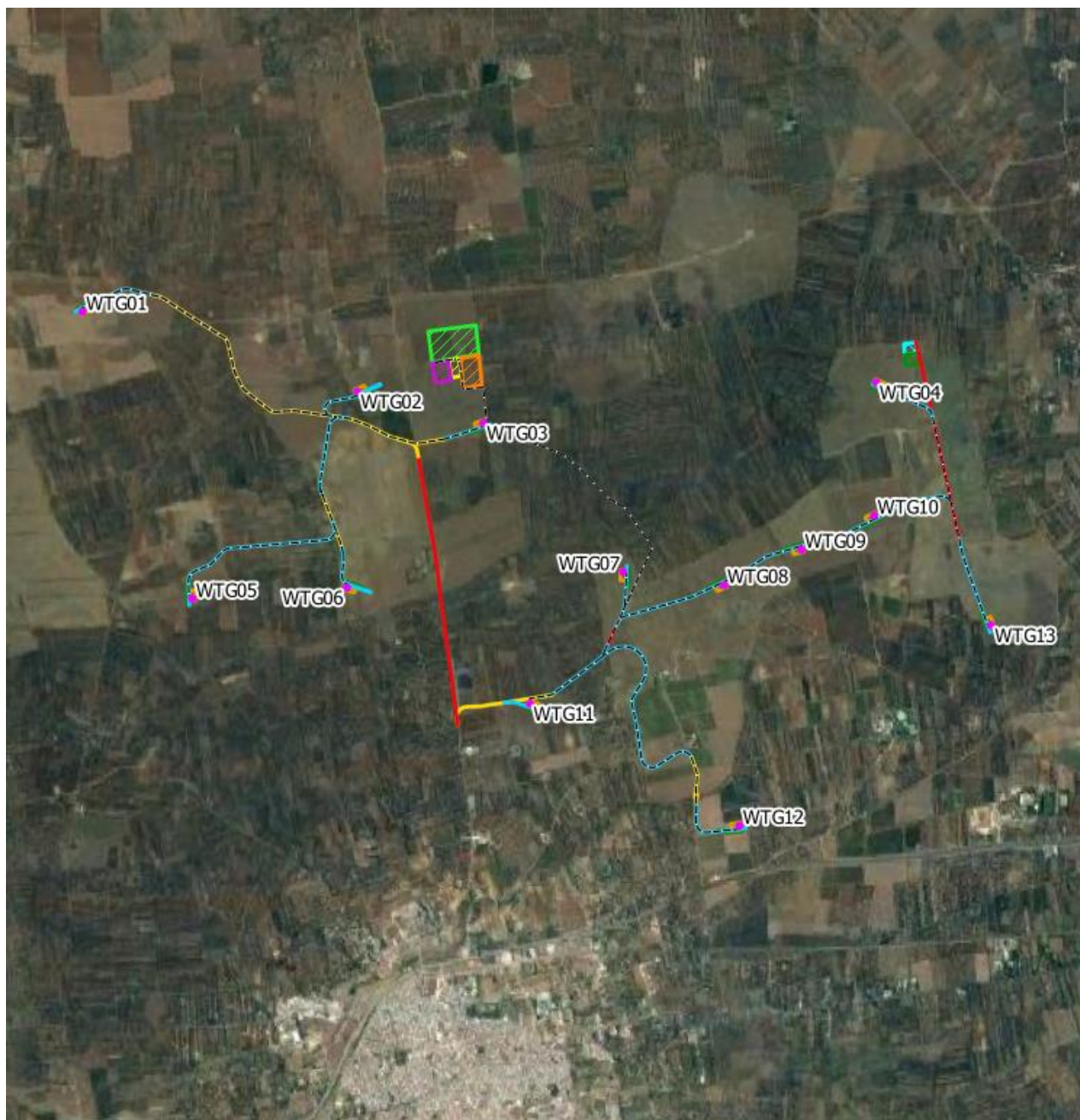


Figura 1: Ubicazione geografica dell'intervento



LEGENDA:

Layout di progetto

LATIANO_WTG

Strade e Cavidotto

Strada Esistente

Strada esistente da adeguare

Strada di nuova realizzazione

Cavidotto MT

Piazzole, aree di cantiere, stoccaggio, SSU

BESS

AREA DI CANTIERE

AREA FUTURA STAZIONE ELETTRICA 380/150Kv LATIANO

PIAZZOLA DEFINITVA

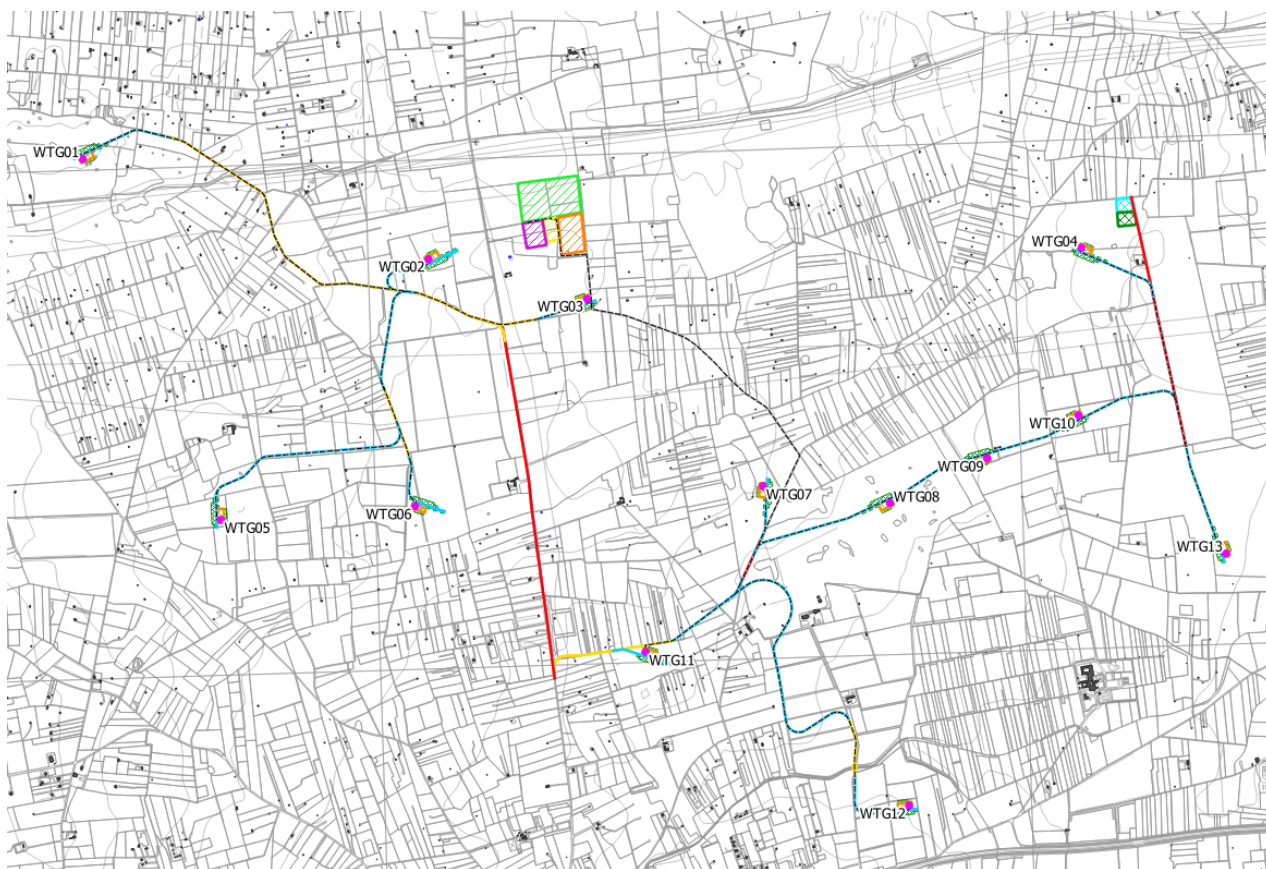
PIAZZOLA TEMPORANEA

AREA INDICATIVA SSU - ALTRO PRODUTTORE

AREA SSU LATIANO

AREA DI STOCCAGGIO

Figura 2: Ubicazione del progetto su ortofoto



LEGENDA:	Piazzole, aree di cantiere, stoccaggio, SSU
Layout di progetto	■ BESS
■ LATIANO_WTG	■ AREA DI CANTIERE
Strade e Cavidotto	■ AREA FUTURA STAZIONE ELETTRICA 380/150kv LATIANO
— Strada Esistente	■ PIAZZOLA DEFINITVA
— Strada esistente da adeguare	■ PIAZZOLA TEMPORANEA
— Strada di nuova realizzazione	■ AREA INDICATIVA SSU - ALTRO PRODUTTORE
--- Cavidotto MT	■ AREA SSU LATIANO
	■ AREA DI STOCCAGGIO

Figura 3: Ubicazione del progetto su stralcio CTR

L'impianto eolico ricade sui fogli catastali del Comune di Latiano: 9, 12, 13, 17, 23, 24, 32 sui Fogli catastali del Comune di Mesagne: 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.



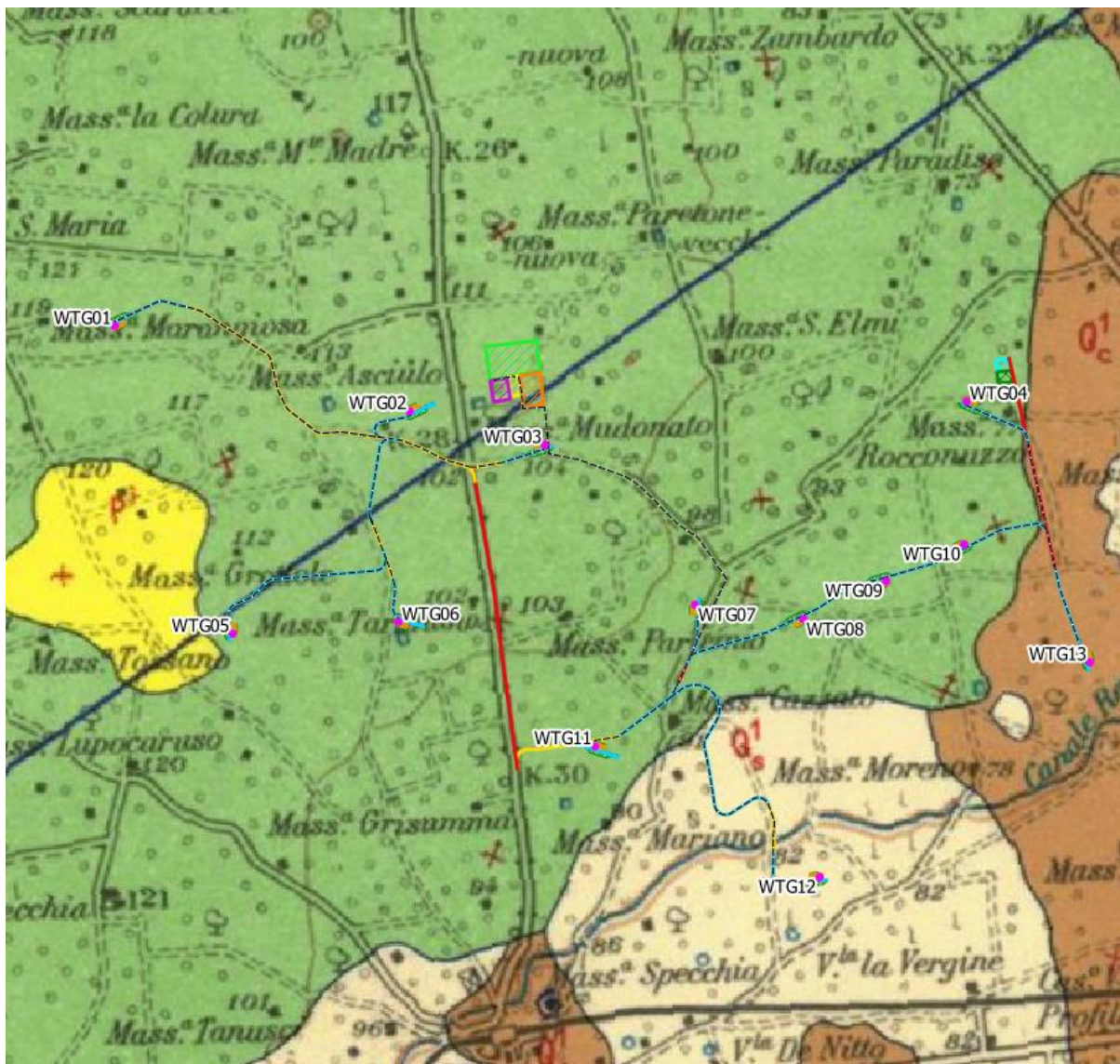
SERVIZIO GEOLOGICO D'ITALIA
ORIGINE CARTOGRAFICA DELLO STATO
 DATUM 1940 - P. 2 - 100.000 - 85

CARTA GEOLOGICA D'ITALIA

BRINDISI
(11 Edizione)

Dal rilevamento geologico 1:25.000

FOGLIO 203
della Carta 1:500.000 dell'I.G.M.



Q¹ Sabbie argillose giallastre, talora debolmente cementate, in strati di qualche cm. Di spessore, che passano inferiormente a sabbie argillose e argille grigio-azzurrastre (Q²); spesso l'unità ha intercalati banchi arenacei calcareniti ben cementati (Q²). Nelle sabbie più elevate si notano talora *Cassidulina laevigata* D'ORB., *Carinata* SILV., *Bulimina marginata* D'ORB., *Ammonia beccarii* (LIN.), *Ammonia perluca* (HER. ALL. EARL) (PLEISTOCENE). Nelle sabbie argillose ed argille sottostanti, accanto a *Arctica islandica* (LIN.), *Chlamys septemradita* MULL. Ed altri molluschi, sono frequenti: *Hyalinea balthica* (SCHR.), *Cassidulina laevigata* D'ORB., *Carinata* SILV., *Bulimina marginata* D'ORB., *Bolivina catanesis* SEG. (CALABRIANO). **FORMAZIONE DI GALLIPOPOLI.**



(Q¹ - P³) Sabbie calcaree poco cementate, con intercalati banchi di panchina; sabbie argillose grigio-azzurre. Verso l'alto associazione calabriana: *Hyalinea balthica* (SCHR.), *Cassidulina laevigata* D'ORB. var. *carinata* SILV., *Bulimina marginata* D'ORB., *Ammonia beccarii* (LIN) (CALABRIANO-PLIOCENE SUP.?). In trasgressione sulle formazioni più antiche.

(P³) Calcareniti, calcari tipo panchina, calcareniti argillose giallastre. Macrofauna a Coralli, Cirripedi, Molluschi, Echinidi, Crostacei tra cui *Cancer sismondai* MEY. Var. *antiatina* MAX. Microfauna ad Ostracoidi e Foraminiferi: *Bulimina marginata* D'ORB., *Cassidulina laevigata* D'ORB. var. *carinata* SILV., *Discardis orbicularis* (TERQ.), *Bibicides ungeriana* (D'ORB.), *G. sacculiter* (BRADY), *Orbulina universon* D'ORB., *Hastigerina aequilateralis* (BRADY) (PLIOCENE SUP.-MEDIO?). In trasgressione sulle forme più antiche.



Q² Calcari dolomiti e dolomie grigio-nocciola, a frattura irregolare, calcari grigio-chiaro. Microfossili non molto frequenti: *Thaumatoporella* sp., *Praeglobotruncana stephani stephani* (GRAND.), *P. stephani turbinata* (REICH.), *Rotalipora appenninica* (RENZ), *R. cf. reicheli* (MORN.), *Nummuloculina* sp. (CENOMANIANO SUP. e forse TURONIANO). DOLOMIE DI GALATINA con passaggio graduale al CALCARE DI ALTAMURA (verso Nord e verso Ovest).

Figura 4: Inquadramento su cartografia geologica – Foglio 203 (Brindisi) della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:100.000

6. CONTESTO GEOLOGICO DI RIFERIMENTO

La geologia, in generale, rispecchia, i peculiari aspetti geotettonici regionali (Ciaranfi et al, 1992).

La formazione più antica presente, affiorante sulle Murge, è quella calcarea e calcarea-dolomitica del cretaceo superiore (calcarea di Altamura) che, come noto, costituisce il basamento regionale ove ha sede la più importante risorsa idrica sotterranea pugliese.

CARTA GEOLOGICA DELLE MURGE E DEL SALENTO

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

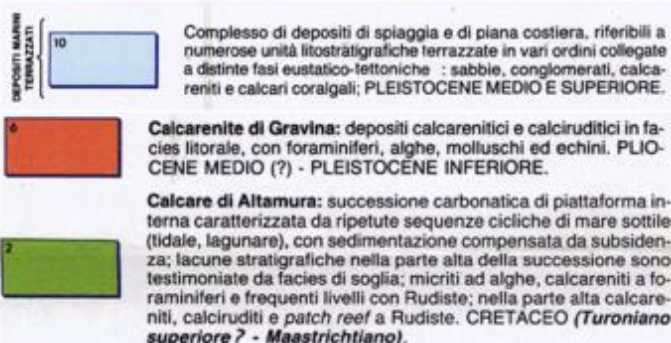
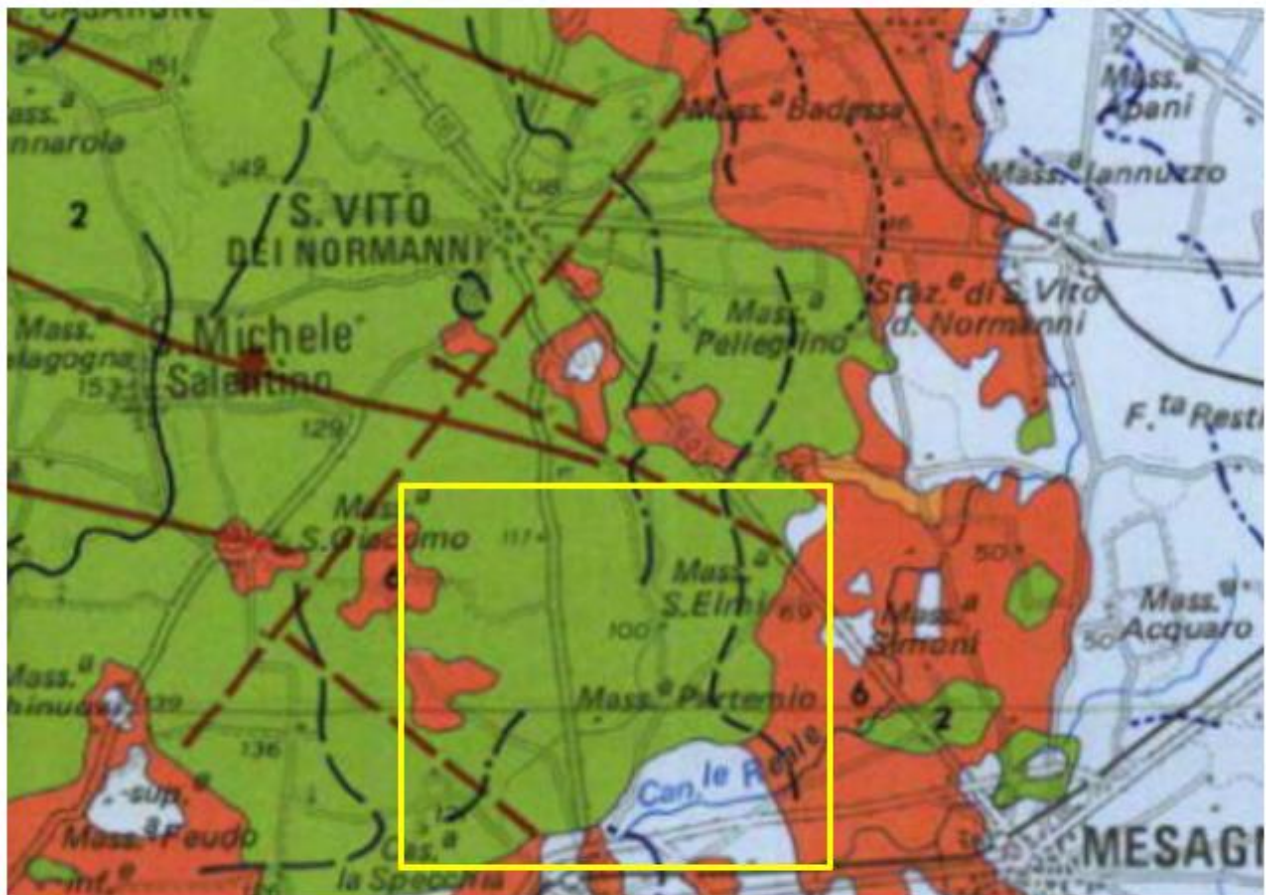


Figura 5: Stralcio Carta Geolitologica delle Murge e del Salento in scala 1:250.000 (Ciaranfi, Pieri,

Ricchetti). In giallo area del parco eolico.

La formazione carbonatica cretacea digrada sino a quote di circa -60 metri sul lato adriatico; risulta coperta trasgressivamente da depositi sabbioso-calcarenitici di età calabriana (Calcarenitici di Gravina), caratterizzati da un grado di cementazione variabile e da spessori massimi di 30-40 metri.

La formazione calcarenitica al tetto e lateralmente passa, con continuità di sedimentazione, ad argille marnose grigio-azzurre del Pleistocene inf. (Argille Subappennine), affioranti con continuità in una fascia ad E di Taranto e in piccoli lembi attorno al Mar Piccolo. Lo spessore della formazione argillosa varia da alcune decine di metri a 100-150 m.

Ove non affiorante, la formazione argillosa si rinviene al di sotto delle formazioni del Pleistocene medio-sup., raggruppate sotto il nome di Depositi marini terrazzati e comprendenti sia calcarenitici, affioranti sul versante ionico, sia sabbie fini calcaree più o meno argillose, con intercalazioni calcarenitiche, affioranti diffusamente tra Francavilla F. e Brindisi. In questi depositi, di spessore variabile da pochi metri a circa 10 metri, molto spesso hanno sede falde idriche, piuttosto contenute, a carattere stagionale e localmente indicate come falde sospese. I depositi olocenici principali, di estensione e spessori modesti, sono costituiti da sabbie calcaree poco cementate (dune costiere) oppure da limi e argille (area paludosa di Torre Guaceto ed incisioni fluviali, Sciannabolo et al., 1992; Tavolini et al., 1994).

Per quanto concerne i caratteri strutturali, nella zona il basamento carbonatico è dislocato da due sistemi di faglie (Ciaranfi et al., 1983): quello "principale", con orientazioni NW-SE ed E-W, e quello secondario, con direzione SW-NE. Si tratta di faglie dirette, che configurano il basamento carbonatico a "gradinata" con blocchi digradanti verso il mare. Studi strutturali pregressi (Cotecchia, 1997-99), hanno altresì evidenziato un sistema prevalente di fratture, orientate NW-SE, quasi sempre bene aperte, subverticali e, spesso, totalmente o in parte, riempite di Terra Rossa.

Tale sistema tettonico ha influenzato sia le caratteristiche stratigrafiche così come quelle geomorfologiche di tutte le aree interessate, infatti tutta l'area di Brindisi, fino al territorio di San Pietro Vernotico, ha subito una forte tettonizzazione che ha dato origine alla così detta "Conca di Brindisi".

Il territorio brindisino, presenta nell'insieme un aspetto tabulare con quote che degradano leggermente verso il mare; il paesaggio è interrotto da solchi erosivi di diversa estensione ed andamento.

Tutta l'area, come accennato, è stata interessata, nel periodo Orogenetico Appenninico, da intense forze tettoniche che hanno dato origine alla Conca di Brindisi, abbassando nella parte centrale i calcari cretacei, che costituiscono l'ossatura rigida dell'intera Puglia.

Una diminuzione altimetrica del tetto dei calcari si riscontra da W verso E; valutando le isobate del tetto del calcare, si nota una discontinuità fra le stesse; la causa è molto probabilmente da ricercarsi in una presumibile faglia che deve aver provocato uno scorrimento orizzontale nella direzione ENE - WSW di parte del massiccio carbonatico (Monterisi, Romanizzi, Salvemini,

1978). Il rigetto di tale faglia è al massimo di 30-40 m e sembrerebbe annullarsi all'altezza del canale pigolati, all'interno del Porto di Brindisi.

Il combinarsi delle azioni tettoniche ha creato l'abbassamento dei calcari, che in tal modo hanno creato la conca di Brindisi, e successivamente sono stati ricolmati da sedimenti silicoclastici di origine marina.

Da un punto di vista tettonico tale conformazione strutturale può essere assimilata ad una struttura a Horst e Graben, in cui gli alti strutturali "Horst" sono rappresentati dai calcari bordanti la conca di Brindisi, mentre la parte depressa "Graben" è quella che comprende la conca.

6.1. CARATTERI GEOLOGICI LOCALI

Per la definizione dello scenario territoriale di riferimento, alla scala del progetto in epigrafe, è stato effettuato un rilievo geologico e strutturale all'intorno dell'area di intervento.

La geologia del territorio dell'area del parco eolico, è caratterizzata da un potente basamento carbonatico cretaceo (riferibile al "Calcarea di Altamura") sovrastato, in trasgressione, dai termini basali della sequenza sedimentaria marina plio-pleistocenica della "Fossa Bradanica" (Calcarenite di Gravina e Argille subappennine) su cui, durante le fasi di ritiro del mare presso le attuali linee di costa, si sono accumulati, ai vari livelli, depositi terrazzati marini e/o, depositi continentali.

La stratigrafia della zona di studio, dalla più antica alla più recente, è rappresentata da:

DEPOSITI MARINI

- "Calcarea di Altamura" (Cretaceo sup.)
- "Calcarenite di Gravina" (Pliocene sup. - Pleistocene inf.)
- "Argille subappennine" (Pleistocene inf.)
- "Deposit Marini Terrazzati" - DMT (Pleistocene medio - sup.)

DEPOSITI CONTINENTALI

- "Deposit colluviali ed eluviali" - (Olocene)

Deposit colluviali ed eluviali

Sono coperture di origine eluviale e/o colluviale comunemente indicate con il termine di "terra rossa".

Si tratta di terreni di origine residuale, prodotti dagli effetti dell'alterazione e della dissoluzione carsica sulle rocce calcaree affioranti e dal progressivo accumulo dei prodotti residuali insolubili di composizione non carbonatica.

La composizione chimico-mineralogica delle terre rosse è caratterizzata da una notevole abbondanza di idrossidi di ferro ed alluminio, di minerali argillosi (soprattutto illite e caolinite) e da componenti minori quali quarzo, feldspati, pirosseni, ecc..

La granulometria delle terre rosse presenta di norma un ampio spettro di variabilità, poiché dipende strettamente dalle caratteristiche genetiche ed evolutive dei singoli depositi.

In linea di massima si tratta, nella maggior parte dei casi, di terreni composti da particelle delle dimensioni del limo e/o delle sabbie fini, con una discreta presenza di frazione argillosa: si va pertanto – dal punto di vista granulometrico - dalle sabbie limose ai limi sabbioso-argillosi, con variazioni sensibili ed imprevedibili anche nell'ambito di uno stesso deposito.

Le terre rosse possono presentarsi con caratteristiche sia di depositi eluviali che colluviali, vale a dire sia come prodotto di alterazione e disfacimento della roccia in posto che come accumulo di materiali rimossi (ad esempio, ad opera delle acque dilavanti o di ruscellamento) dalla loro posizione originaria e ridepositati in corrispondenza di aree morfologicamente più depresse.

Le coperture eluviali presentano spessori generalmente modesti (poche decine di centimetri), mentre i depositi colluviali, che si concentrano quasi esclusivamente in avvallamenti, cavità e depressioni, manifestano degli spessori estremamente mutevoli ed imprevedibili, in quanto strettamente connessi all'andamento morfologico del substrato.

Depositi Marini Terrazzati [WTG12]

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; a luoghi, nell'ambito della successione, in particolare nel tratto basale della stessa, a diretto contatto con le Argille Subappennine, sono presenti strati decimetrici di calcari molto compatti e tenaci.



Figura 6: Affioramento dell'Unità dei Depositi di Terrazzo lungo un taglio stradale della SS7 a sud dell'area in studio.

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. Il passaggio alle sottostanti Argille subappennine può avvenire in maniera diretta o tramite dei termini di passaggio rappresentati da sabbie e limi sabbiosi che si descrivono nel successivo paragrafo.

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. Il tetto di questa unità si trova a quote variabili tra 30 m e -15 m rispetto al l.m.m.

I Depositi Marini Terrazzati (DMT) si rinvengono nell'area di allocazione della WTG12.

Argille Subappennine

La formazione infrapleistocenica che si descrive è caratterizzata da argille e argille sabbiose grigio azzurre, fossilifere. Dal punto di vista granulometrico, questi depositi possono essere definiti come limi sabbiosi con argilla; ciò nonostante notevoli sono le variazioni relativamente alla dimensione dei granuli. La percentuale in sabbia varia dal 2% al 55%, quella in limo dal 11%; il contenuto medio in carbonati è del 31%, valore quest'ultimo che tende ad aumentare man mano che ci si avvicina alle sottostanti Calcareniti di Gravina. All'interno della successione, il cui spessore è di difficile valutazione ma sempre perlomeno decametrico, si possono individuare livelli sabbiosi, anch'essi di colore grigio azzurro, la cui estensione laterale e verticale non è ben definibile. Il passaggio stratigrafico con le sottostanti Calcareniti di Gravina avviene mediante un livello continuo sabbioso limoso particolarmente ricco in fossili. Il contenuto naturale d'acqua varia passando da un valore minimo del 14,05% al 43,5% ed il grado di saturazione è anch'esso estremamente variabile passando dal 71,84% al valore limite pari al 100%.

Le analisi geotecniche di laboratorio, eseguite sui campioni indisturbati prelevati in corrispondenza dello strato argilloso, indicano una bassa permeabilità, che si attesta intorno a valori compresi tra 10⁻¹⁰ e 10⁻¹¹ m/s (media 1,81E -10 m/s).

Localmente, tale formazione non è stata rilevata in affioramento.

Calcareniti di Gravina [WTG13]

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.

Lo spessore di questa formazione è molto variabile e raggiunge valori massimi superiori alla trentina di metri. Il grado di porosità è variabile tra il 42,90% ed il 49,40%.

Le calcareniti di Gravina affiorano diffusamente nell'area della WTG13 e in maniera marginale ad ovest della WTG5.

Calcari di Altamura [WTG1, WTG2, WTG3, WTG4, WTG5, WTG6, WTG7, WTG8, WTG9, WTG10, WTG11]

L'intervallo stratigrafico, è costituito da un'alternanza tra calcari e calcari dolomitici, micritici, compatti e tenaci di colore biancastro, grigio chiaro o nocciola, in strati di spessore variabile da qualche centimetro a circa un metro. A luoghi gli strati si presentano fittamente laminati e sono facilmente riducibili in lastre. Gli affioramenti sono limitati a qualche metro di spessore, a luoghi coperti da terreno agrario; spessori maggiori, sino a 30÷40 m, sono esposti nelle pareti delle cave, attive e no, in alcuni casi utilizzate come discariche, ubicate nell'entroterra brindisino. In più luoghi gli strati risultano fratturati e disarticolati. I macrofossili sono in genere scarsi,

caratterizzati da frammenti di rudiste e subordinati coralli e pettinidi.

Il tetto del basamento carbonatico cretacico si trova a quote molto differenti tra loro anche in aree relativamente vicine, in ciò evidenziando la probabile presenza di faglie che presentano rigetto decametrico.

La formazione è rappresentata dai seguenti tipi litologici:

1. dolomie e calcari dolomitici, grigi, talora bituminosi; in alcuni livelli la dolomitizzazione si è compiuta durante la prima diagenesi (dolomitizzazione penecontemporanea, dimostrata dalla grana assai minuta, dalla porosità scarsa, dalle strutture originarie ben conservate), mentre in altri livelli, più frequenti, la dolomitizzazione è di diagenesi tardiva (grana più grossa, porosità notevole, strutture originarie praticamente scomparse);
2. calcari micritici, chiari, spesso laminari;
3. calcari ad intraclasti;
4. calcari a pellets;
5. calcari a bioclasti;
6. brecce calcaree.

Le brecce sono particolarmente frequenti a nord dell'area in studio, soprattutto in prossimità di S. Vito dei Normanni, dove sembrano rappresentare un livello abbastanza continuo, di qualche metro di potenza, che potrebbe segnare un episodio regressivo.

I frammenti, calcarei, sono angolosi, di dimensioni variabili (che talora superano i 30 cm di diametro) e derivano chiaramente dagli strati cretacici sottostanti.

La stratificazione è molto spesso evidente, con periodo da 5 a 40 cm. Sono pure spesso presenti, nei singoli strati, laminazioni e suddivisioni ritmiche (Figura 16).

I calcari cretacei appartenenti alla formazione sopra descritta costituiscono il sedime di fondazione della quasi totalità dell'area del parco eolico, ed in particolare si rinvencono nelle aree di allocazione delle WTG 1, 2, 3, 4, 4, 6, 7, 8, 9, 10 e 11.



Figura 8: Calcere 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.

Per quanto concerne le quote topografiche, variano da un massimo di circa 120 m s.l.m. (zona WTG1 ad un minimo di circa 75 m s.l.m. (zona WTG04-WTG13). In generale le quote topografiche tendono a degradare da Ovest verso Est, Sud-Est, dalla piattaforma carbonatica verso la piana di Brindisi.

Da NW verso NE si passa dai rilievi collinari dell'altopiano murgiano alla piana di Brindisi: i due elementi geomorfologici.

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" esplicitosi 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.

8. IDROGEOLOGIA ED IDROGRAFIA SUPERFICIALE

8.1. ASSETTO IDROLOGICO

Il sito studiato, in un'ampia visione, ricade all'interno del Bacino Idrografico del Reale, codificato nel PTA (Piano di tutela delle Acque della regione Puglia) con la sigla R16-144 (Figura 17).

All'interno del macro bacino idrografico del canale Reale, è possibile inoltre distinguere nella parte settentrionale del bacino, in cui ricadono le WTG 1, 2, 3, 5 e 6 una serie di bacini endoreici, che di fatto costituiscono dei bacini idrografici indipendenti.

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 del Canale Reale.

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

- WTG1: è localizzata interamente all'interno di un bacino endoreico dell'estensione di circa 2,8 Km².
- WTG5 – WTG6: localizzate all'interno di un grosso bacino endoreico dell'estensione di circa 8,4 Km².
- WTG2 – WTG3: localizzate all'interno di un grosso bacino endoreico dell'estensione di circa 2,4 Km².
- WTG4 – WTG7 – WTG8 – WTG9 – WTG10 – WTG11 – WTG12 – WTG13: localizzate all'interno del Bacino Esoreico del Canale Reale, il cui corso principale (Figura 17) è localizzato a nord della WTG12 a circa 280 m.



Figura 9: Corso principale del Canale Reale a nord della WTG12.

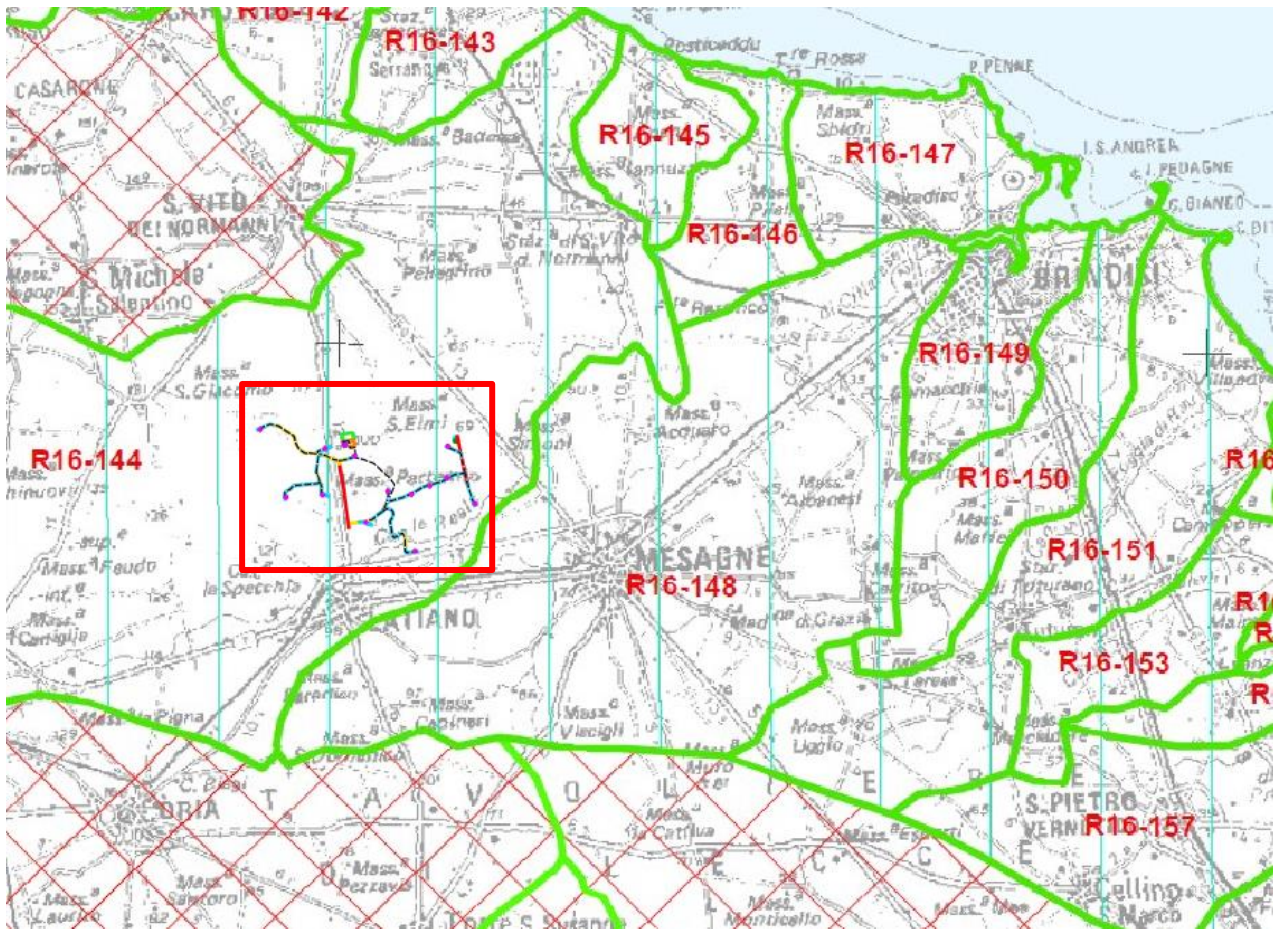


Figura 10: Bacini idrografici significativi (dal Piano Tutela Acque – Tav. 1.4).

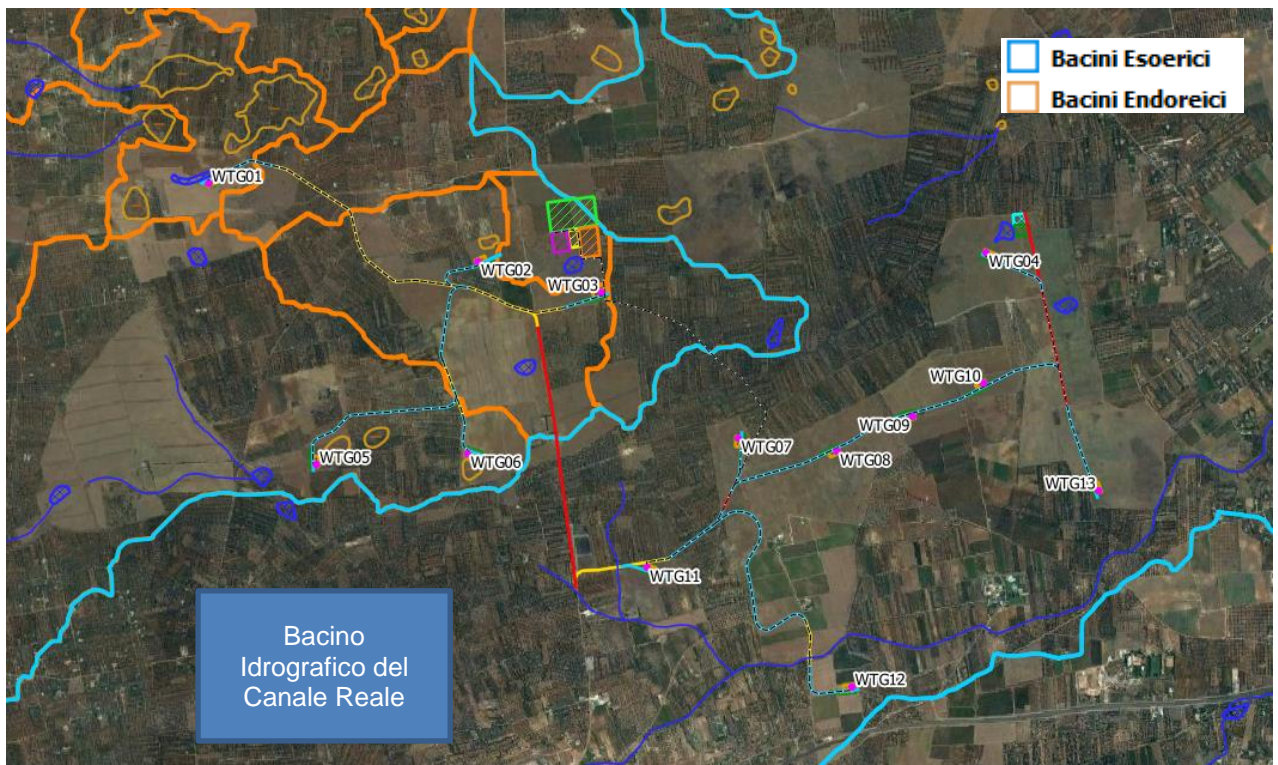


Figura 11: Bacini idrografici di dettaglio dell'area in studio.

8.2. ACQUE SOTTERRANEE

I caratteri di permeabilità della successione litostratigrafica che caratterizza l'area di intervento permettono di suddividere la stessa in 3 unità idrogeologiche che rivestono un diverso ruolo idrostrutturale. Queste, dalla più profonda a quella più superficiale, sono:

- ✓ unità calcarea profonda, corrispondente alla successione carbonatica cretaceo - pliocenica, permeabile essenzialmente per fessurazione e carsismo, con grado di permeabilità variabile da mediamente a molto permeabile e sede della falda di base circolante in pressione.
- ✓ unità argilloso - marnosa, corrispondente alle Argille subappennine, praticamente impermeabile, rappresenta un acquiclude;
- ✓ unità superiore, corrispondente ai depositi calcarenitico-sabbiosi ed indicativamente al primo metro delle Argille subappennine (livello di alterazione), permeabile per porosità e sede di una falda superficiale a pelo libero sostenuta dalla sottostante unità argilloso-marnosa;

In sintesi quindi, nell'area di interesse esiste un acquifero sede della cosiddetta falda di base o profonda, confinato superiormente dalle argille subappennine, ed un acquifero superficiale (confinato inferiormente dalle stesse argille) costituito dalla unità calcarenitica superiore interessato dalla presenza di acque dolci.

Tutto questo settore è caratterizzato dalla presenza di acque sotterranee circolanti nelle rocce carbonatiche basali (falda profonda) alimentate dall'acquifero Murgiano; esse drenano naturalmente verso il mare ma, a seconda delle barriere idrogeologiche presenti, vengono a giorno in forma concentrata o diffusa (sorgenti subcostiere, costiere, subaeree e sottomarine) oppure alimentano in parte l'acquifero superficiale, rappresentato per lo più dai depositi marini terrazzati (falda superficiale).

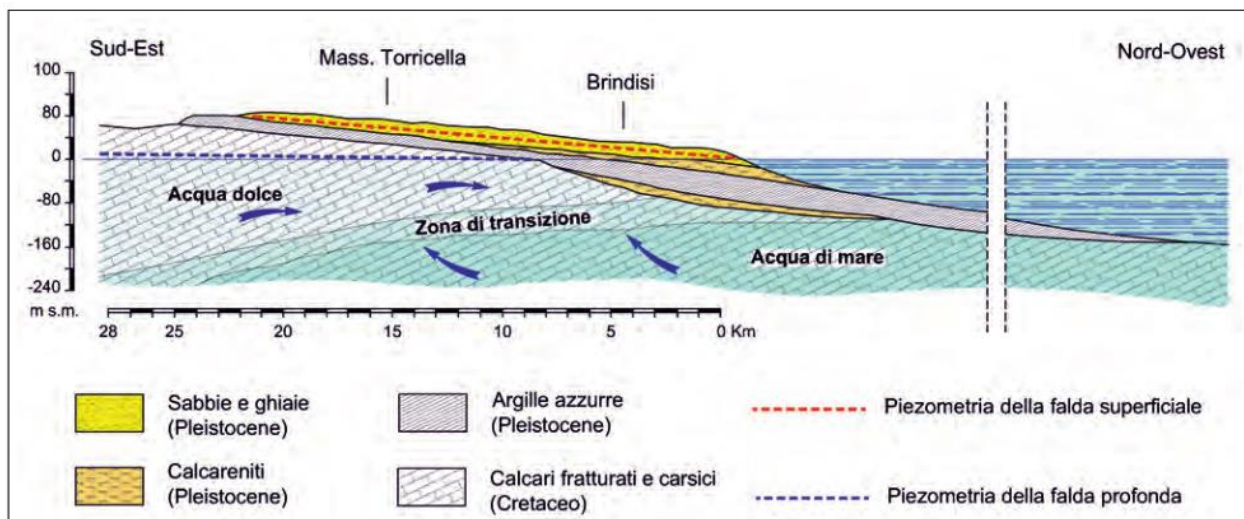


Figura 12: Sezione idrogeologica schematica della Piana di Brindisi perpendicolare al litorale adriatico.

8.2.1. CARATTERISTICHE DELL'ACQUIFERO SUPERFICIALE

In corrispondenza del settore di affioramento dei depositi di terrazzo tale acquifero ha una potenza estremamente variabile, pari mediamente a 4 - 5 metri e contiene una falda freatica che interessa la parte inferiore delle calcareniti sabbiose affioranti ed i primi decimetri della sottostante successione argillosa, più ricca nella frazione limoso-argillosa e coincidente probabilmente con un fronte di alterazione.

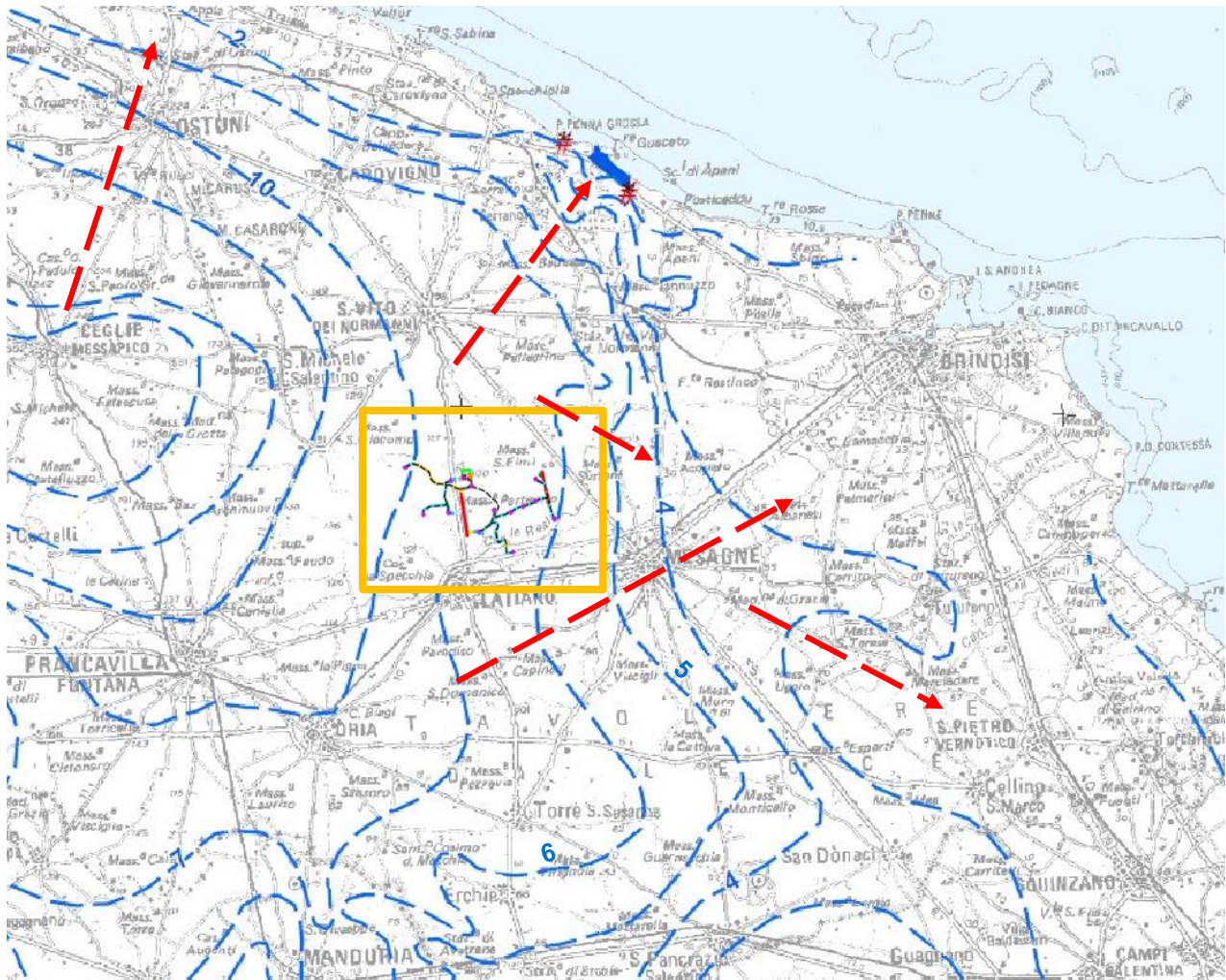
Nell'area strettamente interessata al progetto, le particolari condizioni litostratigrafiche, fa sì che la falda idrica superficiale sia del tutto assente.

8.2.2. CARATTERISTICHE DELL'ACQUIFERO PROFONDO

Nell'area in studio, di rinviene il complesso acquifero murgiano, la cui falda profonda percola, in pressione, a qualche metro sopra il livello medio marino fra i 100 ed i 70 m dal p.c.

La permeabilità media dei terreni affioranti è molto buona ed è variabile a seconda del grado di alterazione dei calcari; in ogni caso non inferiore a $K = 1 \times 10^{-4}$ m/sec.

L'andamento della superficie piezometrica, mostrato in Figura 21, evidenzia un deflusso idrico sotterraneo nella zona piuttosto omogeneo, caratterizzato da ampi fronti di drenaggio con direzione principale di deflusso orientata verso la costa.



LEGENDA
 isopiezica (m s.l.m.)

EMERGENZE CENSITE DA S.I.M. DI BARI
 Portata < 10 l/s

 Portata > 10 l/s

N.B.: le frecce indicano la direzione di deflusso delle acque della falda profonda.

Figura 13: Isofreatiche dell'acquifero carsico calcareo (Fonte: Piano Regionale di Tutela delle Acque, SOGESID S.p.a., 2005).

L'acquifero risulta quindi caratterizzato da un discreto grado di permeabilità d'insieme, visualizzato dal sensibile distanziamento delle curve isopiezometriche rappresentative dei parametri idrogeologici ben definiti, all'interno dell'altopiano murgiano, per poi aumentare il gradiente in corrispondenza della scarpata che raccorda la piana costiera all'altopiano murgiano. In generale la cadente piezometrica è ovunque relativamente bassa ed il deflusso è prevalentemente a pelo libero, con bassi carichi rispetto al livello medio marino.

L'andamento medio delle isofreatiche (Figura 21), riferito al tetto della falda acquifera profonda murgiana, evidenzia un andamento complesso, non riconducibile a modelli schematici semplificati.

La circolazione e l'alimentazione avvengono, probabilmente, per sistemi idrici indipendenti, con meccanismi di alimentazione, drenaggio e di deflusso determinati dai relativi sistemi idrogeologici.

Il livello marino a cui tende la superficie piezometrica della falda profonda è denominato "interfaccia", cioè zona di graduale passaggio tra acqua di falda dolce e acqua salata sottostante, passaggio che si sviluppa con spessori dell'ordine delle decine di metri.

Il contatto avviene per galleggiamento, seguendo la legge di gravità dei liquidi a diversa densità, pertanto la determinazione dello spessore dell'interfaccia risulta sempre molto azzardato.

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 SRL ed eseguite dalla ditta SOCOTEC SRL.

Ad integrazione delle indagini pianificate e svolte per il presente progetto, ci si è avvalsi di alcune prove penetrometriche dinamiche (DPSH) fatte eseguire dallo scrivente per un progetto di realizzazione di un parco fotovoltaico. In particolare sono state prese a riferimento n. 8 Prove DPSH, utilizzate per la caratterizzazione meccanica dell'area di affioramento dei Depositi di Terrazzo (WTG12).

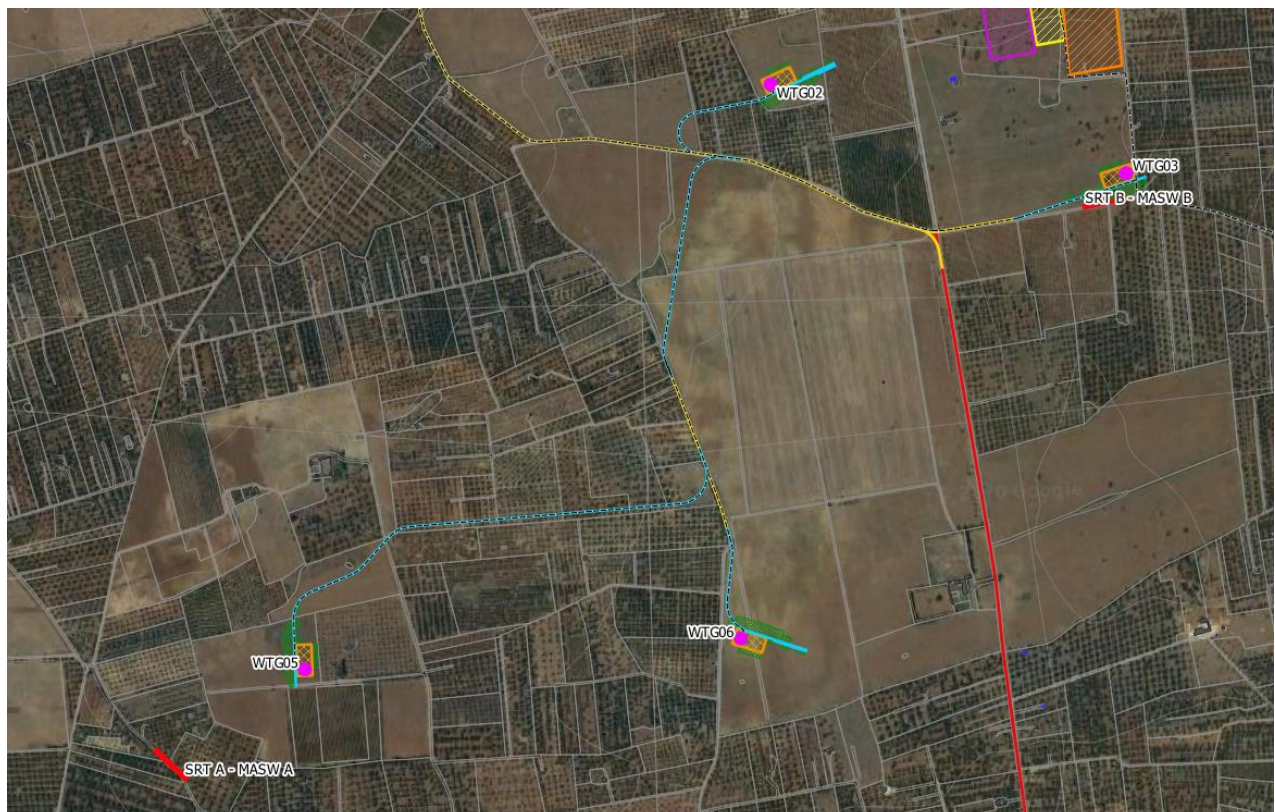


Figura 14: Ubicazione indagini geofisiche.



Figura 15: Ubicazione indagini geofisiche.

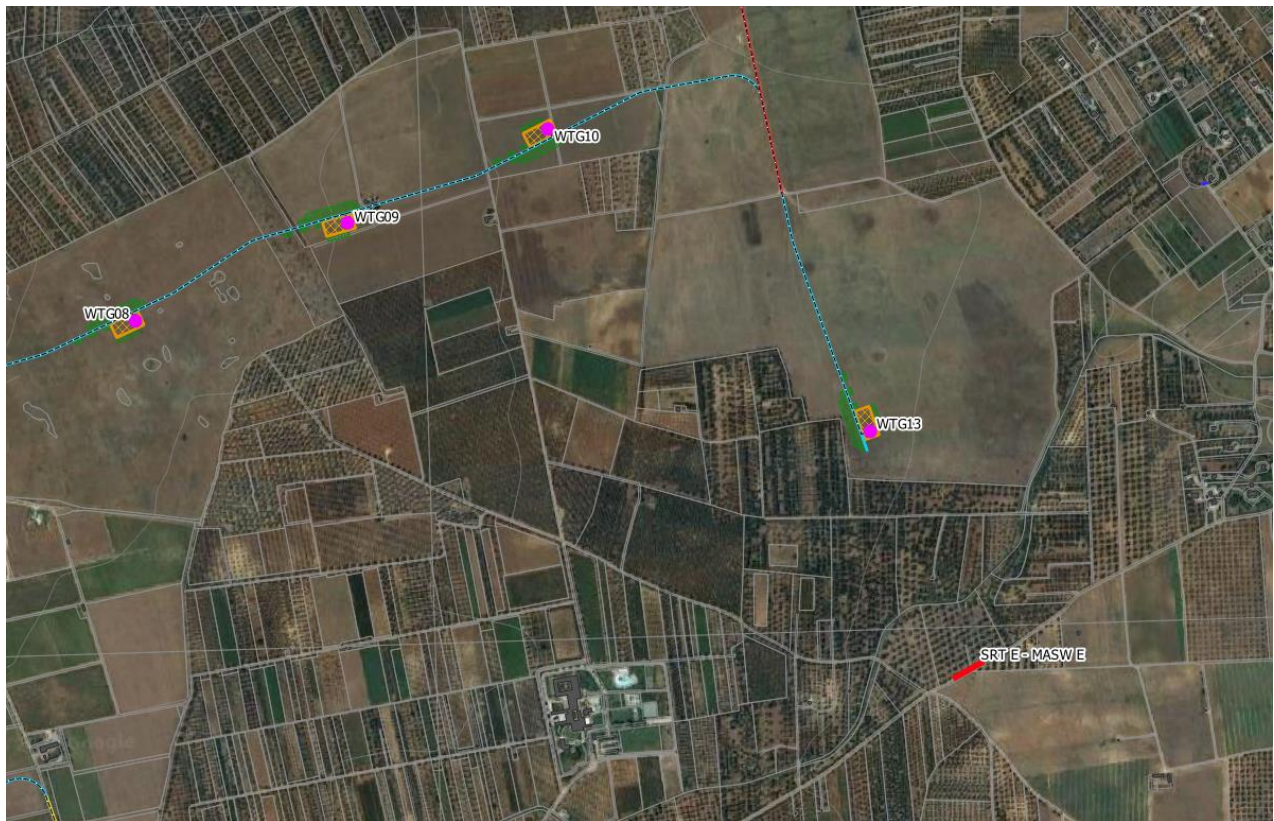


Figura 16: Ubicazione indagini geofisiche.



Figura 17: Ubicazione indagini penetrometriche DPSH prese a riferimento.

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 stato 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 4,0 m dal p.c. il seguente:

MASW_A

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

Caratteristiche dei sismostrati:

▲	Nr.	Profondità (m)	Spessori (m)	V_s (m/s)	Hcalc (m)	h_i calc (m)
	1	2,00	2,00	770,00	0,00	0,00
	2	6,00	4,00	800,00	2,00	2,00
	3	14,00	8,00	870,00	10,00	8,00
	4	30,00	16,00	940,00	26,00	16,00

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

MASW_B

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

Caratteristiche dei sismostrati:

▲	Nr.	Profondità (m)	Spessori (m)	V_s (m/s)	Hcalc (m)	h_i calc (m)	h_i/V_s (s)
	1	3,00	3,00	840,00	0,00	0,00	0,000000
	2	5,90	2,90	1.070,00	2,00	2,00	0,005000
	3	11,90	6,00	1.250,00	10,00	8,00	0,000000
	4	30,00	18,10	1.490,00	26,00	16,00	0,000000

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

MASW_C

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

Caratteristiche dei sismostrati:

▲ Nr.	Profondità (m)	Spessori (m)	Vs (m/s)	Hcalc (m)	hi calc (m)	hi/Vs (s)
1	3,00	3,00	1.000,00	0,00	0,00	0,000000
2	9,60	6,60	1.320,00	5,60	5,60	0,005000
3	28,20	18,60	1.740,00	24,20	18,60	0,000000
4	30,00	1,80	2.300,00	26,00	1,80	0,000000

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

MASW_D

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

Caratteristiche dei sismostrati:

▲ Nr.	Profondità (m)	Spessori (m)	Vs (m/s)	Hcalc (m)	hi calc (m)	hi/Vs (s)
1	5,40	5,40	230,00	1,40	1,40	0,006087
2	9,00	3,60	290,00	5,00	3,60	0,012414
3	19,80	10,80	650,00	15,80	10,80	0,016615
4	30,00	10,20	730,00	26,00	10,20	0,013973

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

MASW_E

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

Caratteristiche dei sismostrati:

▲ Nr.	Profondità (m)	Spessori (m)	Vs (m/s)	Hcalc (m)	hi calc (m)	hi/Vs (s)
1	3,00	3,00	750,00	0,00	0,00	0,006087
2	9,00	6,00	820,00	5,00	5,00	0,012414
3	22,10	13,10	1.020,00	18,10	13,10	0,016615
4	30,00	7,90	1.630,00	26,00	7,90	0,013973

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

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.14706.00.009.00 - 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 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 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 simili 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:

	MIN	MAX	BEST FIT
g (kN/m ³) Peso per unità di volume naturale	17,5	21,0	20,0
g_{sec} (kN/m ³) Peso per unità di volume secco	16,8	18,0	17,5
g_{sat} (kN/m ³) Peso per unità di volume saturo	19,5	21,8	20,5
g_s (kN/m ³) Peso specifico	---	---	24,0
f' (°) Angolo di attrito di picco	28,0	32,0	30,0
f'_{vc} (°) Angolo di attrito a volume costante	26,0	31,0	29,0
c' (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:

	MIN	MAX	BEST FIT
g (kN/m ³) Peso per unità di volume naturale	19,5	22,0	21,0
g_{sec} (kN/m ³) Peso per unità di volume secco	18,0	19,5	18,5
g_{sat} (kN/m ³) Peso per unità di volume saturo	20,0	22,0	21,0
g_s (kN/m ³) Peso specifico	---	---	22,0
f' (°) Angolo di attrito	30,0	34,0	32,0
c' (kPa) Coesione efficace	0,0	10,0	5,0
E (Mpa) Modulo Elastico Statico	50	80	70
η Coefficiente di Poisson	--	--	0,40
R.Q.D. (%)	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
g (kN/m ³) Peso per unità di volume naturale	22,0	23,0	22,5
g_{sec} (kN/m ³) Peso per unità di volume secco	20,0	21,0	20,5
g_{sat} (kN/m ³) Peso per unità di volume saturo	23,0	24,0	23,0
g_s (kN/m ³) Peso specifico	---	---	23,0
f' (°) Angolo di attrito	32,0	36,0	33,0
c' (kPa) Coesione efficace	100,0	150,0	120,0
E (Mpa) Modulo Elastico Statico	80	100	90
η Coefficiente di Poisson	--	--	0,35
R.Q.D. (%)	40	60	50

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

	MIN	MAX	BEST FIT
g (kN/m ³) Peso per unità di volume naturale	21,5	24,0	22,5

g_{sec} (kN/m ³) Peso per unità di volume secco	20,0	21,5	20,5
g_{sat} (kN/m ³) Peso per unità di volume saturo	23,0	24,5	24,0
g_s (kN/m ³) Peso specifico	---	---	24,0
f' (°) Angolo di attrito	37,0	40,0	38,0
c' (kPa) Coesione efficace	150,0	180,0	160,0
E (Mpa) Modulo Elastico Statico	200	500	300
η Coefficiente di Poisson	--	--	0,32
R.Q.D. (%)	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
10 m	UG 2	g_s (kN/m ³) Peso specifico: 24,0 f' (°) Angolo di attrito di picco: 30,0 c' (kPa) Coesione efficace: 4,0 E (Mpa) Modulo Elastico Statico: 40 η Coefficiente di Poisson: 0,40
20 m	UG3	g_s (kN/m ³) Peso specifico: 22,0 f' (°) Angolo di attrito: 32,0 c' (kPa) Coesione efficace: 5,0 E (Mpa) Modulo Elastico Statico: 70 η Coefficiente di Poisson: 0,40 R.Q.D. (%): 50

Parametri geotecnici caratteristici:

	BEST FIT
g_s (kN/m ³) Peso specifico	22,0
f' (°) Angolo di attrito	32,0
c' (kPa) Coesione efficace	5,0
E (Mpa) Modulo Elastico Statico	70
η Coefficiente di Poisson	0,40
R.Q.D. (%)	50

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

5) valutazione della rigidità rotazionale dinamica

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 (§ 11.1).

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
		γ_F			
Carichi permanenti G_1	Favorevoli	γ_{G1}	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevoli		1,1	1,3	1,0
Carichi permanenti non strutturali $G_2^{(1)}$	Favorevoli	γ_{G2}	0,8	0,8	0,8
	Sfavorevoli		1,5	1,5	1,3
Azioni variabili Q	Favorevoli	γ_{Q1}	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevoli		1,5	1,5	1,3

⁽¹⁾ 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 γ_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 § 11.1; i coefficienti adottati sono in accordo con quanto riportato nella tabella precedente.

Tipo di combinazione				CdC N.	Coefficienti parziali delle azioni γ_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.

11.1. ANALISI DEI CARICHI

11.1.1. 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 delle 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]

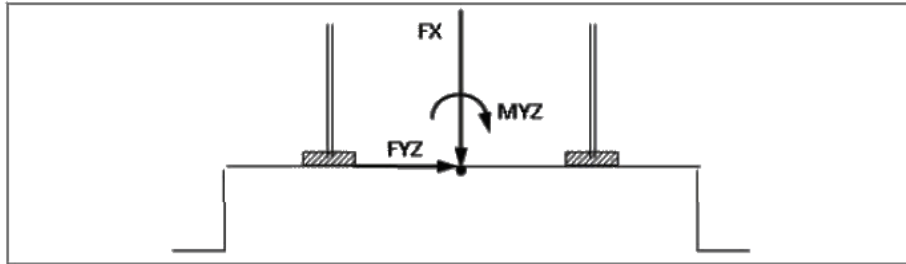


Figura 11.1: Simboli e segni adottati nelle successive tabelle fornite dal fabbricante degli aerogeneratori

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_x (kN)	F_y (kN)	F_z (kN)	F_{xy} (kN)	M_x (kNm)	M_y (kNm)	M_z (kNm)	M_{xy} (kNm)
Dlc22_3bn_V11.0_n_s7	1,1	1688,55	55,55	-7508,71	1689,47	4580,25	196184,46	412,39	196237,91
Dlc22_3bn_V11.0_n_s7	1.0	1535,05	50,5	-6826,1	1535,88	4163,87	178349,5	374,9	178398,1

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

Characteristics loads (maximum M_{xy} 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_x (kN)	F_y (kN)	F_z (kN)	F_{xy} (kN)	M_x (kNm)	M_y (kNm)	M_z (kNm)	M_{xy} (kNm)
Dlc62_V42.5_060_s9	1535,05	50,5	-6826,1	1535,88	4163,87	178349,5	374,9	178398,1

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_x (KN)	F_y (KN)	F_{xy} (KN)	F_z (KN)	M_x (KNm)	M_y (KNm)	M_{xy} (KNm)	M_z (KNm)
0	1002,07	123,15	1002,48	-6629,52	18223,36	119459,49	119805,99	4928,71

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

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

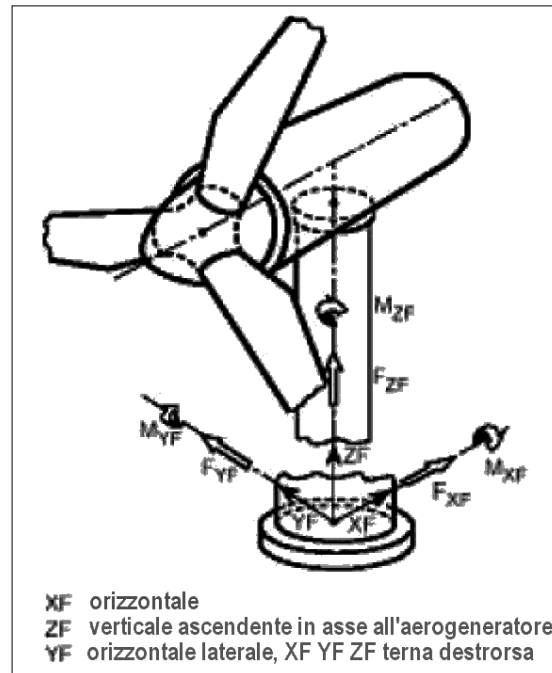


Figura 11.2: Simbologia adottata nell'analisi dei carichi e nelle verifiche

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

11.1.2. PESO PROPRIO DELLA FONDAZIONE

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

11.1.3. 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^3 , 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 ²]
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

11.2. RIEPILOGO CONDIZIONI DI CARICO

SCARICHI IN CONDIZIONI ESTREME (IEC 64100)	F_x [kN]	F_y [kN]	F_z [kN]	M_x [kNm]	M_y [kNm]	M_z [kNm]
Normal[F _c =1,35]	2.072,32	68,18	-9.215,24	5.621,22	240.771,83	506,12
Abnormal[F _c =1,1]	1.688,56	55,55	-7.508,71	4.580,26	196.184,45	412,39

SCARICHI IN CONDIZIONI NORMAL (IEC 64100)	F_x [kN]	F_y [kN]	F_z [kN]	M_x [kNm]	M_y [kNm]	M_z [kNm]
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

SCARICHI COND. OPERAZIONALI (IEC 64100)		F_{xy} [kN]	F_z [kN]	M_{xy} [kNm]	M_z [kNm]
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	8,11
	Carico limite	2	Approccio 2	A1+M1+R3	Abnormal SLU1	8,43
	Scorrimento	3	Approccio 2	A1+M1+R3	Abnormal SLU2	12,09
GEO (normal)	Carico limite	4	Approccio 2	A1+M1+R3	Normal SLU2	4,39
	Carico limite	5	Approccio 2	A1+M1+R3	Normal SLU1	6,16
	Scorrimento	6	Approccio 2	A1+M1+R3	Normal SLU2	8,71
EQU	Ribaltamento	7	IEC	normal case	Normal EQU	1,62
		8	IEC	abnormal case	Abnorm.EQU	2,21
	Sollevamento	9	IEC	normal case	Normal	1,65
		10	IEC	abnormal case	Abnormal	1,65
		11	IEC		Operational	1,04

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 _{rd} (kPA)	Q _{sd} (kPA)	FS	
Normal SLU1	1466,61	238,24	6,156	> 1 OK
Normal SLU2	1192,53	271,37	4,395	> 1 OK
Abnormal SLU1	1592,35	188,87	8,431	> 1 OK
Abnormal SLU2	1.408,97	173,72	8,11	> 1 OK

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



GRE CODE

GRE.EEC.R.25.IT.W.14706.00.010.00

PAGE

42 di/of 46

12.3. SLITTAMENTO

Di seguito di dettaglio la verifica a slittamento.

SCARICHI DI PROGETTO PER VERIFICHE A SLITTAMENTO					
	Peso proprio	Riempimento	Fz	H	M
Normal SLU2	1,00	0,80	0,90	1,50	1,50
Abnormal 2	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'			4	kPa
Design bending moment	M _{xy}			276.508	kNm
Design torque moment	M _z			759,17	kNm
Design vertical load	F _z			38.773	kN
Design tangential load	H			2.304	kN
Radius	R			12,25	m
Eccentricity	e	M _{xy} /F _z		7,13	m
Ellipse minor axes	B _e	2*(R-e)		10,24	m
Ellipse major axes	L _e	2 R [1-(1-B _e /2R) ²] ^{1/2}		19,92	m
Effective loaded area	A _{eff}	2*[R ² arccos(e/R)-e*(R ² - e ²) ^{1/2}]		142,88	m ²
Effective length	L _{eff}	(A _{eff} *L _e /B _e) ^{1/2}		16,67	m
Effective width	B _{eff}	L _{eff} *B _e /L _e		8,57	m
Horizontal force	H'	2*M _z /L _{eff} + [H ² +(2*M _z /L _{eff}) ²] ^{1/2}		2.396,68	kN
Friction angle	φ'			30,0°	
Struct.-ground friction	δ'		30° =	30,0°	
Adhesion	c _a			4	kPa
Resistance factor	γ _R			1,100	
Design sliding resist.	R _d		(F _z tan(δ) + A _{eff} c _a) / γ _R =	20.870	kN
Sliding check	FS		20870 / 2397 =	8,708	> 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'			4 kPa
Design bending moment	M _{xy}			202.773 kNm
Design torque moment	M _z			556,73 kNm
Design vertical load	F _z			38.773 kN
Design tangential load	H			1.689 kN
Radius	R			12,25 m
Eccentricity	e	M _{xy} /F _z		5,23 m
Ellipse minor axes	B _e	2*(R-e)		14,04 m
Ellipse major axes	L _e	2 R [1-(1-B _e /2R) ²] ^{1/2}		22,16 m
Effective loaded area	A _{eff}	2*[R ² arccos(e/R)-e*(R ² - e ²) ^{1/2}]		223,19 m ²
Effective length	L _{eff}	(A _{eff} *L _e /B _e) ^{1/2}		18,77 m
Effective width	B _{eff}	L _{eff} *B _e /L _e		11,89 m
Horizontal force	H'	2*M _z /L _{eff} + [H ² +(2*M _z /L _{eff}) ²] ^{1/2}		1.749,84 kN
Friction angle	φ'			30,0°
Struct.-ground friction	δ'		30° =	30,0°
Adhesion	c _a			4 kPa
Resistance factor	γ _R			1,100
Design sliding resist.	R _d		(F _z tan(δ) + A _{eff} c _a) / γ _R =	21.162 kN
Sliding check	FS		21162 / 1750 =	12,094 > 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		14,29 N/mm ²
Static Young modulus	E		40,00 N/mm ²
Poisson ratio	ν		0,40 -
Foundation radius	R		12,25 m
Thickness of layer	H		10,00 m
	α _r	(for circular rigid foundation)	-
Winkler modulus	K _w	$\frac{4GR}{1-\nu} \left(1 + 1.28 \frac{R}{H}\right) \frac{1}{\pi R^2}$	6.355,06 kN/m ³

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:

$$\text{Cedimento elastico medio atteso} = 100 * 124,69 / 6.355,06 \approx 1,96 \text{ cm.}$$

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:

Parameter	Symbol	Expression / note	Value
Poisson ratio	ν		
Static Young modulus	E	(Layer 1)	40,00 N/mm ²
		(Layer 2)	70,00 N/mm ²
		(mean value)	40,00 N/mm ²
Thickness of Layer 1	t1	(Layer 1)	10,00 m
Bending moment	M	(Rare)	184.338,89 kNm
Influence factor	I_{θ}	(rigid circular spread foundation)	5,53
Static rotation	$\tan(\theta)$	$\tan(\theta) = \frac{(1-\nu^2)}{E} \frac{M}{B^2 L} I_{\theta}$	1,58 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 (V_s) 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 ρ 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.

Soil density	$\rho =$		2,40 kg/dm ³
Shear wave velocity (design value)	$\langle V_s \rangle =$		260,00 m/s
Poisson ratio	$\nu =$		0,40
Dynamic shear modulus ($\gamma=0.001$)	$G_{dyn} =$	$0,35 * 2,4 * 260^2 / 1000 =$	56,78 N/mm ²
Foundation radius	$R =$		12,25 m
Rotational stiffness	$K_r =$	$8 * 56,78 * 12,25^3 / 3 / (1-0,4) =$	463.929,22 MNm/rad
Min required K_r (from manufacturer)	$K_{r,min} =$		150.000,00 MNm/rad
CHECK			OK