

# **COMUNE DI TROIA (FG)**

**Committente: Eolo 3W Sicilia S.r.l.**



**STUDIO DI COMPATIBILITA' GEOLOGICA,  
GEOTECNICA ED IDROGEOLOGICA PER LA  
PROPOSTA DI VARIANTE DEL PROGETTO DI  
UN IMPIANTO DI PRODUZIONE DI ENERGIA  
ELETTRICA DA FONTE EOLICA**

## **RELAZIONE GEOLOGICA**

Il Tecnico  
*Dott. Geol. Roberto Menichelli*



A handwritten signature in blue ink that reads "Roberto Menichelli".

Roma Ottobre 2019

**INDICE**

<b>1</b>	<b>PREMESSA.....</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>INQUADRAMENTO GEOLOGICO DELL'AREA .....</b>	<b>15</b>
<b>3</b>	<b>GEOLOGIA DEL PARCO EOLICO .....</b>	<b>16</b>
<b>4</b>	<b>MORFOLOGIA .....</b>	<b>18</b>
<b>5</b>	<b>IDROLOGIA ED IDROGEOLOGIA .....</b>	<b>19</b>
<b>6</b>	<b>CARATTERIZZAZIONE SISMICA .....</b>	<b>20</b>
<b>7</b>	<b>COMPATIBILITA' GEOLOGICA E GEOTECNICA .....</b>	<b>21</b>
<b>8</b>	<b>COMPATIBILITA' IDROGEOLOGICA.....</b>	<b>22</b>
<b>9</b>	<b>INDAGINI SISMICHE A RIFRAZIONE .....</b>	<b>26</b>
9.1	STRUMENTAZIONE IMPIEGATA .....	26
9.2	TEORIA DELLA METODOLOGIA A RIFRAZIONE .....	28
9.3	DESCRIZIONE GENERALE DELLA METODOLOGIA A RIFRAZIONE.....	29
9.4	MODALITA' OPERATIVE DELLA METODOLOGIA A RIFRAZIONE .....	30
9.5	RISULTATI DELLE INDAGINI SISMICHE A RIFRAZIONE .....	34
<b>10</b>	<b>DEFINIZIONE DEL MODELLO GEOLOGICO ED ATTRIBUZIONE DEI PARAMETRI GEOTECNICI.....</b>	<b>41</b>
<b>11</b>	<b>VERIFICHE DI STABILITA' .....</b>	<b>52</b>
11.1	METODOLOGIA UTILIZZATA PER LE VERIFICHE DI STABILITA' .....	54
11.2	RISULTATI DELLE VERIFICHE DI STABILITA' .....	56
<b>12</b>	<b>CONCLUSIONI .....</b>	<b>63</b>

## **1 PREMESSA**

Oggetto del presente studio di compatibilità geologica, geotecnica ed idrogeologica è la variante del progetto proposto dalla società Eolo 3W Sicilia, nella Regione Puglia, relativamente allo sviluppo ed alla realizzazione di un impianto di produzione di energia elettrica da fonte eolica sito nel Comune di Troia (FG); per tale iniziativa, avviata nel 2004, è stata conseguita l'Autorizzazione Unica ai sensi dell'art. 12 del D.L.vo 387/2006 con Determinazione Dirigenziale n. 6 del 30 gennaio 2014.

A causa del lungo tempo trascorso per l'espletamento del procedimento autorizzativo, il progetto risulta oggi superato ed inadeguato da un punto di vista tecnologico e ciò ha determinato la necessità di una revisione che trovi peraltro una migliore coerenza e compatibilità rispetto ad alcune mutate condizioni locali intervenute sia a seguito dell'approvazione del Piano Paesaggistico Territoriale Regionale sia a seguito della realizzazione di opere (impianti ed infrastrutture) successivamente autorizzate e realizzate in maniera disarmonica rispetto l'impianto in oggetto.

Nella rimodulazione progettuale, inoltre, si è tenuto in considerazione di quanto indicato all'art. 7 della L. R. 24 settembre 2012, n. 25 così come modificato dall'art. 19 della L.R. 10 agosto 2018, n. 44.

In particolare, le modifiche introdotte al progetto autorizzato prevedono:

- una riduzione del numero degli aerogeneratori da 10 a 6 con un aumento della potenza nominale di ciascuno di essi; l'impiego di aerogeneratori caratterizzati da prestazioni energetiche notevolmente superiori ed all'avanguardia tecnologica;
- l'invarianza:
  - della porzione di territorio impegnato dal progetto che resta perlopiù compresa all'interno di una ipotetica poligonale tracciata unendo le posizioni degli aerogeneratori già autorizzati, con la sola eccezione della macchina n. 16;
  - dell'impianto di connessione alla rete elettrica nazionale rispetto al progetto approvato;
  - della volumetria delle sottostazioni elettriche;

- una riduzione dello sviluppo dei tracciati stradali e dei cavidotti.

Lo schema di allacciamento alla Rete Elettrica Nazionale (RTN) resta inalterato e prevede che l'impianto eolico venga collegato in antenna a 150 kV con il futuro ampliamento della sezione a 150 kV della stazione elettrica della RTN a 380/150 kV "Troia", inserita in entra-esce sulla linea RTN a 380 kV "Benevento 2- Foggia".

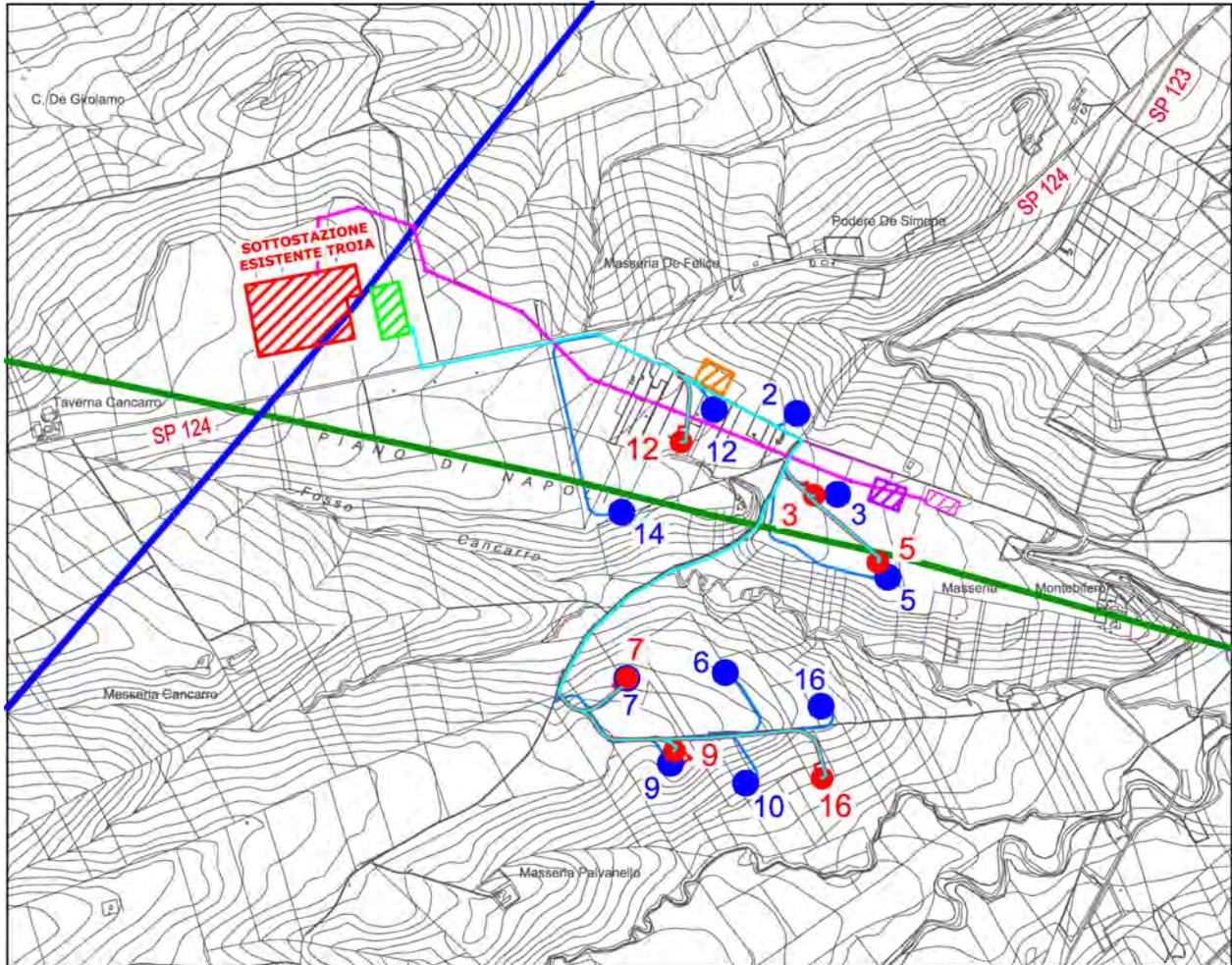
La diversa collocazione della cabina di raccolta (per la quale Terna ha richiesto la condivisione con altri produttori) è risultata essere obbligata allo scopo di evitare interferenze con la cabina Enel, nel frattempo realizzata.

Nella Tabella che segue si pongono a confronto le principali caratteristiche del progetto autorizzato e la variante proposta.

*TABELLA 1 -PROGETTO AUTORIZZATO vs VARIANTE PROPOSTA*

<b>Parametri di confronto</b>	<b>Progetto autorizzato</b>	<b>Variante di progetto</b>
Potenza nominale	2 MW	5,6 MW
N. aerogeneratori	10	6
Potenza elettrica installata complessiva	20 MW	33,6 MW
Diametro rotore	92 m	162 m
Altezza del mozzo da catalogo	85 m	120 m
Altezza massima aerogeneratore	131 m	201 m
Ore equivalenti di funzionamento	2.600 h/anno	
Producibilità P50	52 GWh/anno	

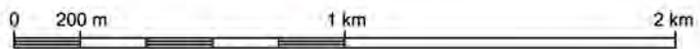
Nella Figura 1, nella pagina successiva, si pone a confronto il progetto autorizzato con la variante proposta.



**CONFRONTO FRA IL PROGETTO AUTORIZZATO  
E LA VARIANTE PROPOSTA (su base CTR)  
LEGENDA**

- |     |   |     |   |
|-----|---|-----|---|
| 3 ● | Aerogeneratore (posizione autorizzata)                    | 5 ● | Aerogeneratore (posizione variante proposta)                    |
| ▨   | Punto di raccolta e trasferimento (posizione autorizzata) | ▨   | Punto di raccolta e trasferimento (posizione variante proposta) |
| —   | Linea elettrica AT Foggia-Benevento 2                     | ▨   | Ampliamento sottostazione Troia                                 |
| —   | Metanodotto   | —   | Nuovi cavidotti   |
| —   | Linea aerea AT (variante proposta)                        | —   | Nuova viabilità/opere   |
| —   | Cavidotto MT (progetto autorizzato)                       | ▨   | Stazione ENEL 150 kV  |

Scala 1:20.000



**Fig. 1**

Come meglio illustrato nella documentazione depositata a corredo dell'istanza di V.I.A. ed Autorizzazione alla costruzione e l'esercizio ai sensi dell'art. 12 del D.L.vo 387/2003, le modifiche introdotte risultano in linea con quanto previsto dal Regolamento Regionale 30 dicembre 2010, n. 24 Regolamento attuativo del Decreto del Ministero per lo Sviluppo Economico del 10 settembre 2010, "Linee Guida per l'autorizzazione degli impianti alimentati da fonti rinnovabili", recante la individuazione di aree e siti non idonei alla installazione di specifiche tipologie di impianti alimentati da fonti rinnovabili nel territorio della Regione Puglia".

Il progetto, proposto dalla Società Eolo 3W Sicilia srl, è situato in località Cancarro, nel settentrione della Puglia, circa 6 km a Nord rispetto a Orsara di Puglia (FG) e 4 km a Sud-Ovest di Troia (FG) e ricade nel foglio IGM 163, quadrante II SO "Troia", e nel Foglio 174, quadrante I NO "Orsara di Puglia".

La necessità di uno studio di compatibilità geologica e geotecnica nasce dal fatto che il territorio interessato dal progetto ricade in area PG1 (pericolosità media e moderata) del Piano di Bacino Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI) dell'Autorità di Bacino della Puglia (Legge Regionale del 09/12/2002) approvato in data 30/11/2005 ed aggiornato al 27/02/2017.

L'esigenza di uno studio di compatibilità idrogeologica deriva dal fatto che l'area interessata, come gran parte del territorio comunale di Troia, è in parte sottoposta a vincolo idrogeologico, derivante dal Regio D. L. n. 3267 del 30/12/1923, come possibile rilevare dal Piano Paesaggistico Territoriale Regionale della Puglia (PPTR).

Tale Piano è stato recentemente aggiornato con Delibera del Consiglio Regionale della Puglia n. 2439 del 21/12/2018, "Aggiornamento e rettifica degli elaborati del PPTR ai sensi degli artt. 104 e 108 delle NTA del PPTR e dell'art. 3 dell'Accordo del 16.01.2015 fra Regione Puglia e Ministero dei Beni e delle Attività Culturali e del Turismo", pubblicato sul BURP n. 19 del 18/02/2019".

Di conseguenza la presente relazione è stata redatta in ottemperanza delle differenti Norme Tecniche di Attuazione ed in adempimento di quanto disposto dalla vigente normativa riguardo la disciplina dei processi di trasformazione fisica e dell'uso del territorio allo scopo di: tutelarne l'identità storica e culturale, rendere compatibili la

qualità del paesaggio, delle sue componenti strutturanti, il suo uso sociale e promuovere la salvaguardia e valorizzazione delle risorse territoriali.

Per il presente studio di compatibilità geologica, geotecnica ed idrogeologica relativo alla summenzionata variante di progetto si è reso necessario eseguire n. 5 verifiche di stabilità, n. 3 delle quali, laddove presente un aerogeneratore, *post operam*.

Per tali verifiche di stabilità sono state individuate le seguenti n. 5 sezioni (vedi Figura 9):

- in corrispondenza del versante dove si troverà l'aerogeneratore WTG 7;
- in corrispondenza del versante dove si troverà l'aerogeneratore WTG 9;
- in corrispondenza del versante dove si troverà l'aerogeneratore WTG 16;
- in corrispondenza del versante lungo il quale si sviluppa il tratto iniziale della nuova strada, lungo la quale verrà posato anche il cavidotto, per l'accesso ai futuri aerogeneratori WTG 7, WTG 9 e WTG 16.
- in corrispondenza del versante perpendicolare al tratto iniziale della strada esistente, che verrà adeguata e lungo la quale verrà posato il cavidotto, per l'accesso ai futuri aerogeneratori WTG 7, WTG 9 e WTG 16;

Per quanto riguarda la caratterizzazione geologica e geotecnica riportata nella presente relazione è stato eseguito un apposito rilevamento geomorfologico e sono state visionate le:

- Relazione Geologica per la "Realizzazione di n. 18 alloggi di edilizia residenziale pubblica nella zona P.E.E.P. del Comune di TROIA (FG)" (2015), redatte dalla Dott.ssa Geol. M. De Salvia, per conto del Comune di Troia;
- Relazione Geologica per "l'Elettrodotto aereo 150kV doppia terna S.E. Troia - C.P. Troia - S.E. Troia/EOS 1 ed opere connesse" (2014), redatta dal Dott. Geol. Pietro Lorenzo, per conto di TERNA - Rete Elettrica Nazionale

Inoltre poiché i terreni presenti appartengono al medesimo contesto geologico, quello delle argille plioceniche della Fossa Bradanica, è stato possibile utilizzare i copiosissimi dati provenienti da altre indagini, geognostiche e geofisiche, dirette dallo scrivente, per il progetto esecutivo di un impianto di produzione di energia elettrica da fonte eolica nel vicino Comune di Pietramontecorvino (FG).

Al fine di ricostruire le sezioni geologiche da sottoporre a verifica di stabilità, sono state invece utilizzate le informazioni provenienti dai modelli delle velocità sismiche (Vp) ottenuti dall'esecuzione di n. 5 prove sismiche a rifrazione (vedi Tabella 2).

Essendo stata già eseguita, nel 2010 e sempre nel corso dell'iter autorizzativo del medesimo Parco Eolico, una campagna di indagini sismiche a rifrazione, è stato possibile utilizzare i risultati di n. 2 delle prove sismiche già eseguite ma, a seguito delle modifiche derivanti dalla variante progettuale, si è reso necessario eseguire appositamente altre n. 3 prove sismiche a rifrazione, a 24 canali, lungo la linea di massima pendenza.

I modelli delle velocità sismiche, ottenuti dalle indagini sismiche a rifrazione hanno permesso di ricostruire n. 5 sezioni geologiche sulle quali sono state eseguite le n. 5 verifiche di stabilità sopra menzionate.

Gli elaborati grafici inseriti nella presente relazione sono di seguito elencati:

- n. 1 confronto fra il progetto autorizzato e la variante proposta (Figura 1);
- n. 1 ubicazione delle foto delle aree dove saranno ubicate gli aerogeneratori secondo il layout della variante proposta (Figura 2);
- n. 1 layout finale della variante dell'impianto proposta in relazione alla corografia (Figura 3);
- n. 1 carta geologica (Figura 4);
- n. 1 Database Macrosismico Italiano (Figura 5);
- n. 1 carta delle aree contraddistinte da pericolosità geomorfologica così come definite dal PAI (Figura 6);
- n. 1 carta del Vincolo Idrogeologico (Figura 7);
- n. 1 carta delle aree contraddistinte da vincoli ambientali legati alla legge "Galasso" oggi D. L. 42/04 art. 142 (Figura 8);
- n. 1 carta con le ubicazione delle prove sismiche a rifrazione, dei profili geologici ricostruiti e delle verifiche di stabilità eseguite (Figura 9);
- n. 5 elaborazioni prove sismiche a rifrazione (Figure 10, 11, 12, 13 e 14);
- n. 5 sezioni geologiche (Figure 15, 16, 17, 18 e 19);
- n. 5 verifiche di stabilità (Figure 20, 21, 22, 23 e 24).

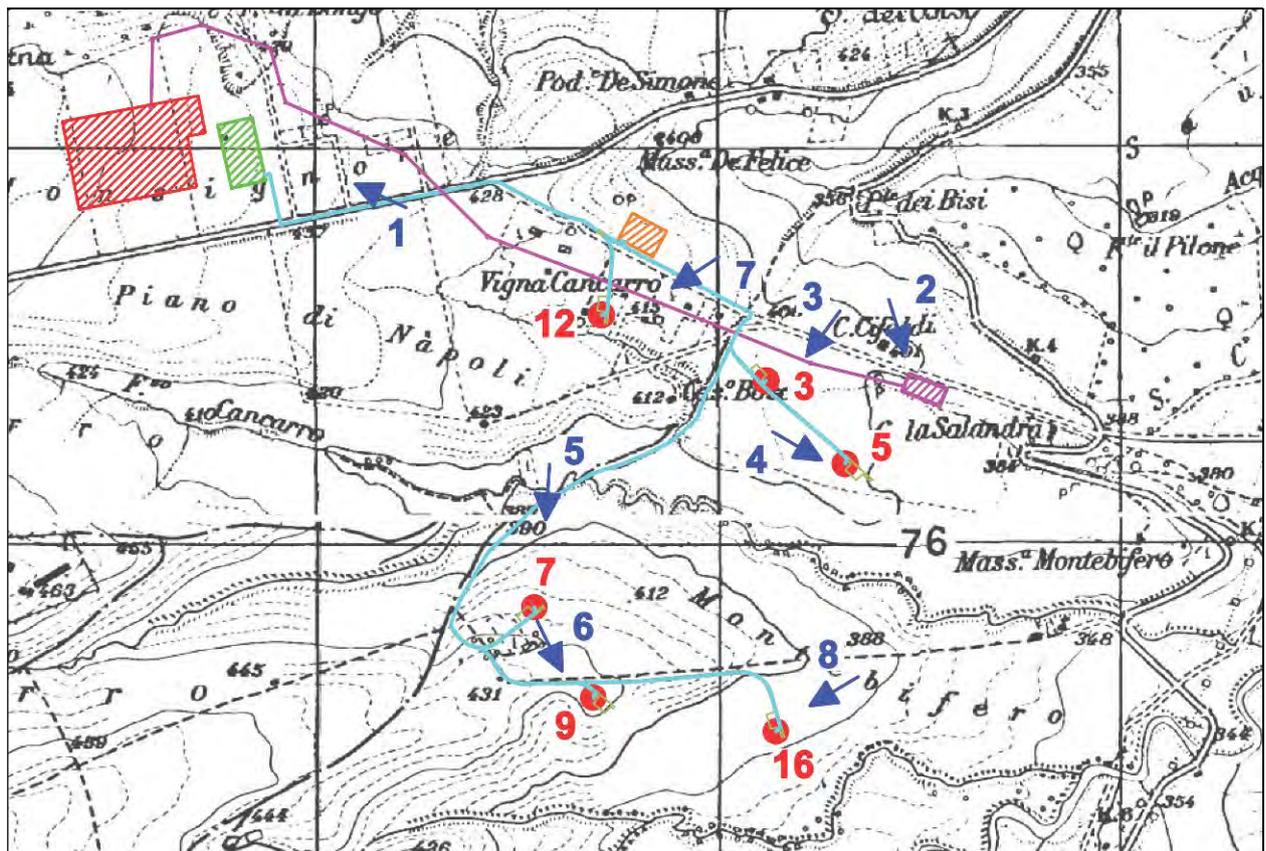


Fig. 2: disposizione delle foto allegate alle pagine seguenti



Foto 1: l'area dove sorge la sottostazione esistente "Troia" e sorgerà l'ampliamento della sottostazione "Troia", vista da Sud-Est



Foto 2: l'area dove sorgerà il punto di raccolta e trasformazione, vista da Nord-Ovest



Foto 3: l'area dove sorgerà l'aerogeneratore 3, vista da Nord-Est



Foto 4: l'area dove sorgerà l'aerogeneratore 5, vista da Nord-Ovest



Foto 5: l'area dove sorgerà l'aerogeneratore 7, vista da Nord



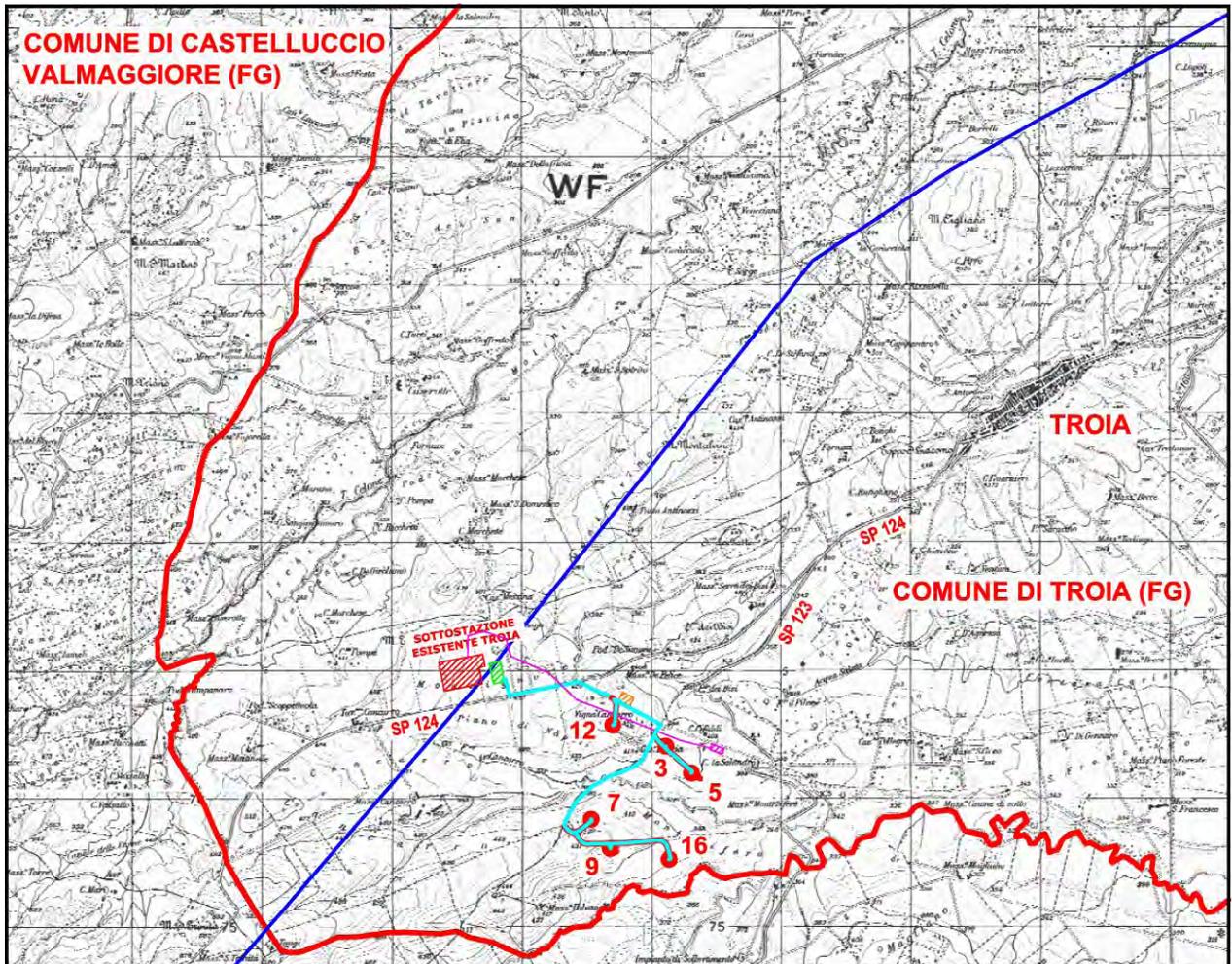
Foto 6: l'area dove sorgerà l'aerogeneratore 9, vista da Nord-Ovest



Foto 7: l'area dove sorgerà l'aerogeneratore 12, vista da Nord-Est



Foto 8: l'area dove sorgerà l'aerogeneratore 16, vista da Nord-Est

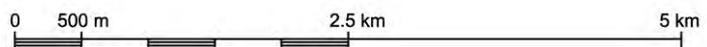


**COROGRAFIA GENERALE  
LEGENDA**

- |   |  |  |  |
|---|--|--|--|
|  | <b>Ampliamento sottostazione Troia</b>       |   | <b>Aerogeneratore</b>                    |
|  | <b>Nuovo cavidotto</b>                       |  | <b>Nuova viabilità/opere</b>             |
|  | <b>Linea elettrica AT Foggia-Benevento 2</b> |   | <b>Punto di raccolta e trasferimento</b> |
|  | <b>Stazione ENEL 150 kV e linea aerea AT</b> |  | <b>Confine comunale</b>                  |



Scala 1:50.000



(Tratta dalle Tavole IGM 1:25.000 163 II SO "Troia" e 174 I NO "Orsara di Puglia")

**Fig. 3**

## 2 INQUADRAMENTO GEOLOGICO DELL'AREA

Per quel che riguarda il reperimento dei dati geologici, geomorfologici e idrogeologici, ci si è avvalsi dei seguenti testi e pubblicazioni reperiti in letteratura:

- Foglio 163 "LUCERA", Carta geologica d'Italia, a cura del Servizio Geologico Nazionale;
- Foglio 174 "ARIANO IRPINO", Carta geologica d'Italia, a cura del Servizio Geologico Nazionale;
- Memorie della Società Geologica Italiana, Vol XLI - 1988 - "Appennino Campano-Lucano nel quadro geologico dell'Italia meridionale", autori vari;
- Guide Geologiche Regionali "8 - Puglia e Monte Vulture", a cura della Società Geologica Italiana, 1999;
- Bollettino della Società Geologica Italiana, Vol CXXV - 2006 - "Schema geologico del transetto Monti Picentini orientali - Monti della Daunia meridionali: unità stratigrafiche ed evoluzione tettonica del settore esterno dell'Appennino meridionale", Di Nocera et alii;
- Giornale di Geologia Applicata 3 - 167-172 - 2006 - "Valutazione della suscettività al dissesto idrogeologico della fascia pedemontana dell'Appennino Dauno: il caso dell'abitato di Troia (Foggia)", Bruno et alii.

Le unità geologiche e strutturali presenti nell'area d'indagine sono legate all'evoluzione della piattaforma Apula che nel Neogene venne interessata dalla collisione tra la zolla africana e quella europea fino al pervenire di una differenziazione sedimentaria a seguito dell'orogenesi Appenninica.

In particolare l'area di indagine è situata nella fascia compresa fra la dorsale montuosa del sub-appennino Dauno e quella, posta a quote inferiori, dell'avampese Apulo-Garganico; queste due zone sono separate da una faglia inversa con direzione NNO-SSE, che mette in contatto le unità appenniniche Meso-Cenozoiche con le unità bradaniche (Plio-Pleistocene).

L'area ad Ovest di questa lineazione strutturale è costituita da depositi carbonatici risalenti al Miocene, mentre ad Est sono presenti sedimenti terrigeni autoctoni che, dal tardo Neogene fino al Pleistocene, hanno colmato l'ampia depressione tettonica, ben conosciuta in letteratura, denominata Fossa Bradanica.

### **3 GEOLOGIA DEL PARCO EOLICO**

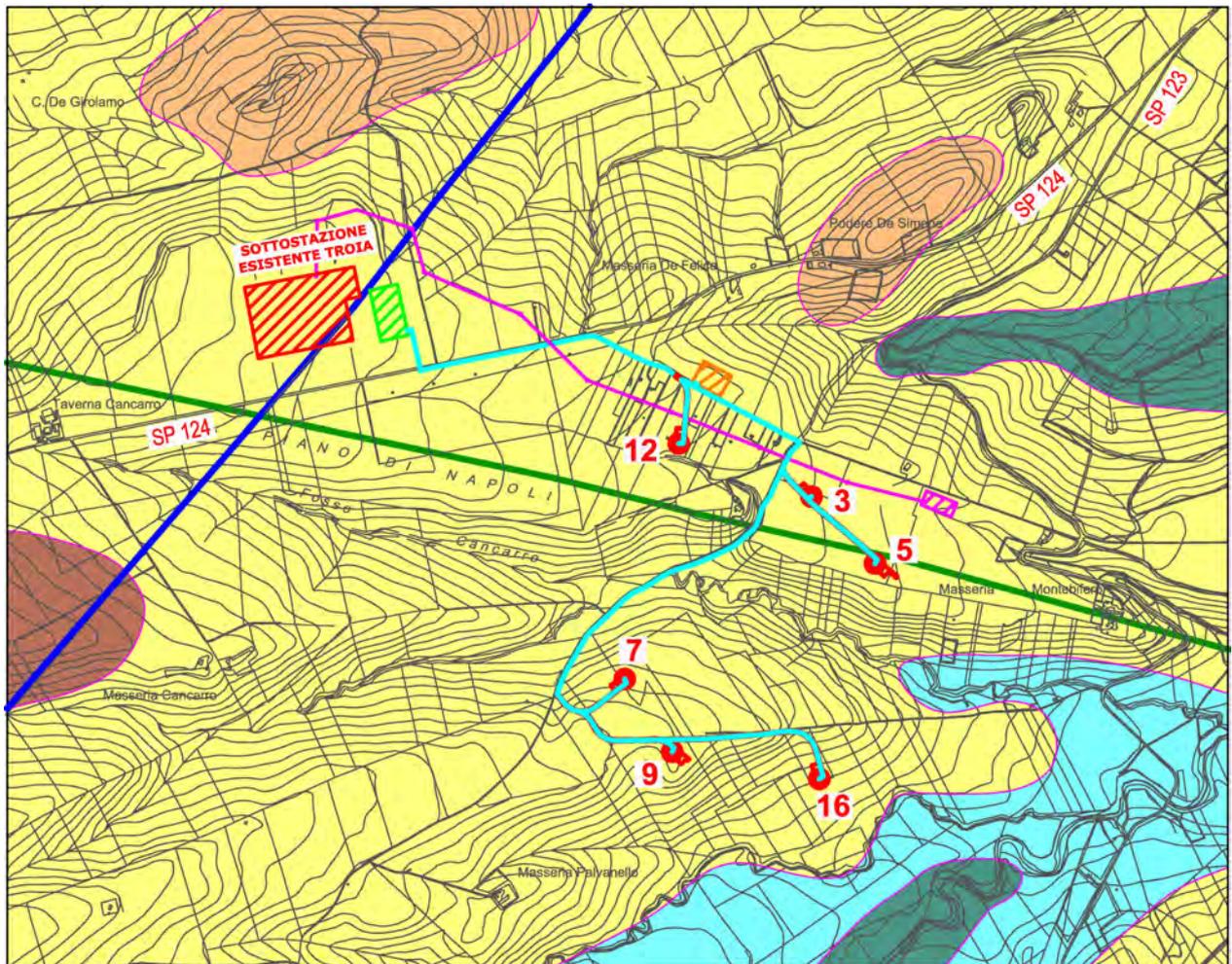
L'area oggetto di questo studio è situata interamente su formazioni autoctone plio-pleistoceniche di origine marina al di sopra delle quali si rinviene una modesta copertura eluviale ed alluvionale, talora terrazzata, in corrispondenza dei principali assi orografici olocenici; tali formazioni costituiscono i depositi di colmamento della Fossa Bradanica ed infatti prendono il nome di "Unità Bradanica".

Nel corso delle indagini relative alla presente relazione è stato eseguito il rilevamento geologico dell'area vasta inerente il Parco Eolico, al fine di produrre la carta geologica riportata in Fig. 3, dove è possibile osservare che i termini più recenti fra i depositi di età plio-pleistocenica sono rappresentati da sedimenti marini cui seguono verso il basso associazioni di facies legate ad una ciclicità sedimentaria di tipo trasgressivo.

Infatti laddove sono situati i principali alti morfologici presenti nell'area di indagine, denominati "Serra dei Bisi", "Monte Taverna" e "Monte S. Trinità", affiorano depositi costituiti da concrezioni e crostoni calcarei con ciottolame da sciolto ad addensato di natura calcarea, eterometrico (diametro compreso tra 1 e 10 cm), immerso in matrice limo-sabbiosa di colore marrone - avana che presentano uno spessore massimo di circa 5 metri o sabbie giallastre sciolte (in particolare verso "Monte S. Trinità").

Al di sotto dei depositi clastici grossolani, proseguendo nella descrizione della sequenza stratigrafica, si rinvencono sedimenti di natura argillosa, contraddistinti talora da una discreta componente sabbiosa, nei quali è frequente la presenza di concrezioni gessoso-evaporitiche soprattutto nella parte alta; questa litofacies prende il nome di formazione delle *argille subappennine* (in questa relazione chiamata UNITA' GEOTECNICA 2).

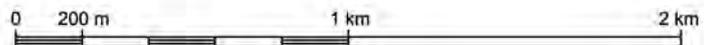
Al di sopra di questi sedimenti, è spesso possibile distinguere la presenza continua di una coltre di alterazione superficiale di natura chimico fisica, in questa relazione denominata UNITA' GEOTECNICA 1, di natura limoso-argillosa, poco consistente.



**CARTA GEOLOGICA  
LEGENDA**

- |   |   |   |   |
|---|---|---|---|
|  | Alluvioni recenti ed attuali (Olocene)  |  | Sabbie giallastre sciolte (Pliocene)  |
|  | Alluvioni terrazzate (Olocene)  |  | Argille scistose, argille marnose grigio-azzurrognole, sabbie argillose Argille subappennine (Pliocene) |
|  | Concrezioni e crostoni calcarei con ciottolame vario poggianti sulle superfici erose delle formazioni plioceniche (Pleistocene) |  | Aerogeneratore  |
|  | Ampliamento sottostazione Troia   |  | Punto di raccolta e trasferimento   |
|  | Linea elettrica AT Foggia-Benevento 2   |  | Nuovo cavidotto   |
|  | Metanodotto   |  | Nuova viabilità/opere   |
|  | Linea aerea AT  |  | Stazione ENEL 150 kV  |

Scala 1:20.000



(Tratta dalla Carta Geologica d'Italia FF 163 "Lucera" e 174 "Ariano Irpino" modificate)

**Fig. 4**

## **4 MORFOLOGIA**

Il paesaggio nel quale è collocata l'area d'indagine, all'interno del territorio del Comune di Troia, è stato modellato dai corsi d'acqua esistenti che hanno inciso i depositi argillosi.

I processi evolutivi hanno dato luogo ad un susseguirsi di piccole colline e di modesti altopiani, separati da valli fluviali di limitate dimensioni, con le quali tali rilievi si raccordano.

In particolare l'area del futuro Parco Eolico è tagliata dal corso del Fosso Cancarro.

Le colline sono perlopiù costituite da argille o argille sabbiose, mentre gli altopiani generalmente presentano in affioramento i crostoni calcarei ed il ciottolame, più duri e conseguentemente meno aggredibili dall'erosione esogena.

I rilievi presenti non superano i 500 metri di quota e solo in rari casi, a ridosso dei depositi ghiaiosi, è possibile individuare settori che presentano un'energia del rilievo medio-alta, ossia con pendenze che si attestano intorno ai 10°.

Dal punto di vista della stabilità non sono assolutamente visibili fenomeni gravitativi importanti quali frane, colamenti o flussi, neanche nelle zone con alta energia del rilievo, come le aree classificate "versante" all'interno del S.I.T. della Regione Puglia, o le aree a ridosso dei corsi d'acqua.

In accordo con le litologie presenti, non è stata riscontrata l'evidenza di fenomeni di crollo quali sinkholes o, più in generale, presenza di cavità.

## 5 IDROLOGIA ED IDROGEOLOGIA

L'area interessata dal progetto, come già detto, è attraversata in direzione E-W dall'incisione del Fosso Cancarro, che nasce a breve distanza, ad Ovest.

A Nord dell'area si trova il Torrente Celone, che nasce dal Monte Cornacchia (1.152 metri) mentre a Sud è presente il Torrente Sannoro, che proviene dalle alture di Celle S. Vito e confluisce nel Torrente Cervaro i cui dati idrometrici, rilevabili alla stazione di Incoronata, evidenziano un regime torrentizio: infatti il torrente risulta frequentemente asciutto nel periodo estivo per mancanza di alimentazione idrica sorgentizia quantitativamente rilevante.

La discreta densità di drenaggio e la notevole pendenza dei sottobacini di riferimento determinano la formazione, nei periodi invernali, di piene improvvise e di breve durata, che esercitano una notevole azione erosiva nei confronti dei litotipi a prevalente matrice sabbioso-limoso-argillosa.

Relativamente alla circolazione delle acque sotterranee, l'area di progetto si colloca in un'area in cui, pur essendo discretamente sviluppato il reticolo superficiale per la scarsa permeabilità delle litologie presenti, non risulta rilevante la circolazione sotterranea per la presenza di notevoli spessori di depositi argillosi impermeabili.

Caratteristica dell'area in esame è la presenza di una duplice circolazione sotterranea rappresentata da una "falda profonda" e da una "falda superficiale", separate appunto dalle *argille subappennine*.

A notevoli profondità, sotto le argille plioceniche, si rinviene infatti la "falda profonda", avente sede nel basamento carbonatico mesozoico, permeabile per fessurazione e carsismo: la circolazione idrica è in pressione e le acque sotterranee sono caratterizzate da un elevato contenuto salino a causa dei fenomeni di contaminazione marina e della ridotta alimentazione.

Di contro la "falda superficiale" circola nei limitati depositi sabbioso-ghiaiosi quaternari; tale falda superficiale ha potenzialità estremamente variabili da zona a zona, in base all'interazione con la morfologia.

I terreni permeabili, infatti, una volta saturi di acqua di infiltrazione, cedono la stessa in alveo, determinando deflussi idrici anche nei periodi estivi siccitosi.

## 6 CARATTERIZZAZIONE SISMICA

Analizzando le sequenze storiche è possibile evidenziare come la sismicità risulti concentrata nell'area garganica ed a ridosso dell'Appennino.

Infatti, dal Database Macrosismico Italiano DBMI15, è possibile ricavare quali sono gli eventi sismici che nell'ultimo migliaio di anni hanno prodotto un risentimento considerevole nel territorio comunale di Troia.

Come riportato in Figura 5, gli eventi sismici che hanno generato un'intensità locale superiore al VI grado MCS (scossa in grado di lesionare edifici) sono forti terremoti con magnitudo Mw da circa 5 ad oltre 7, concentrati nelle aree epicentrali del Gargano, dell'Appennino centro-meridionale, del Tavoliere, e dell'Irpinia.

Dal punto di vista sismico, il territorio del Comune di Troia, ai sensi dell'Ordinanza n. 3274 del 20 marzo 2003 e della D. G. R. n. 153 del 2 marzo 2004, è classificato come Zona 2 (sismicità medio-alta,  $0,15 < ag < 0,25$ ).

Effetti	In occasione del terremoto del									
<b>Int.</b>	Anno	Me	Gi	Ho	Mi	Se	Area epicentrale	NMDP	Io	Mw
8-9	1646	05	31				Gargano	35	10	6.72
8	1456	12	05				Appennino centro-meridionale	199	11	7.19
7-8	1627	07	30	10	50		Capitanata	64	10	6.66
7-8	1731	03	20	03			Tavoliere delle Puglie	49	9	6.33
7	1875	12	06				Gargano	97	8	5.86
7	1930	07	23	00	08		Irpinia	547	10	6.67
6-7	1694	09	08	11	40		Irpinia-Basilicata	251	10	6.73
6-7	1702	03	14	05			Sannio-Irpinia	37	10	6.56
6-7	1948	08	18	21	12	2	Gargano	58	7-8	5.55
6	1851	08	14	13	20		Vulture	103	10	6.52
6	1962	08	21	18	19		Irpinia	562	9	6.15
6	1980	11	23	18	34	5	Irpinia-Basilicata	1394	10	6.81
5-6	1910	06	07	02	04		Irpinia-Basilicata	376	8	5.76
5-6	1975	06	19	10	11		Gargano	61	6	5.02

Fig. 5: Terremoti che hanno generato a Troia un effetto superiore al VI grado MCS (Database Macrosismico Italiano 2015).

## **7 COMPATIBILITA' GEOLOGICA E GEOTECNICA**

Il presente studio di compatibilità geologica e geotecnica è stato eseguito per accertare che gli impianti e le nuove viabilità previsti garantiscano, a seconda delle caratteristiche e delle necessità relative, la sicurezza del territorio secondo quanto disposto dall'art. 15 delle Norme Tecniche di Attuazione del Piano di Bacino Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI) dell'Autorità di Bacino della Puglia (Legge Regionale del 09/12/2002) approvato in data 30/11/2005 ed aggiornato al 27/02/2017, ricadendo le aree interessate in area PG1 (pericolosità media e moderata) (vedi Fig. 6).

Tali Norme Tecniche di Attuazione prevedono che “nelle aree a pericolosità geomorfologica media e moderata (PG1) sono consentiti tutti gli interventi previsti dagli strumenti di governo del territorio purché l'intervento garantisca la sicurezza, non determini condizioni di instabilità e non modifichi negativamente le condizioni ed i processi geomorfologici nell'area e nella zona potenzialmente interessata dall'opera e dalle sue pertinenze”.

Relativamente alle ubicazioni di progetto degli aerogeneratori è possibile quindi affermare, sulla base delle caratteristiche geotecniche dei terreni presenti, che tali realizzazioni non costituiscono in nessun modo una minaccia per la stabilità delle aree.

Infatti il rilevamento geomorfologico, le indagini sismiche eseguite nel sito in esame (2010 e 2019), quelle riportate in alcuni lavori eseguiti da Colleghi nelle immediate vicinanze (Relazione Geologica del 2015 della Dott.ssa Geol. M. De Salvia e Relazione Geologica 2014 del Dott. Geol. Pietro Lorenzo) e quelle per la progettazione esecutiva di un vicino Parco Eolico, nel Comune di Pietramontecorvino (FG), i cui principali risultati sono riportati nella presente relazione, dimostrano chiaramente come i terreni esistenti siano contraddistinti da ottime caratteristiche geotecniche, tali da garantire la stabilità dei versanti anche dopo la realizzazione delle opere in progetto.

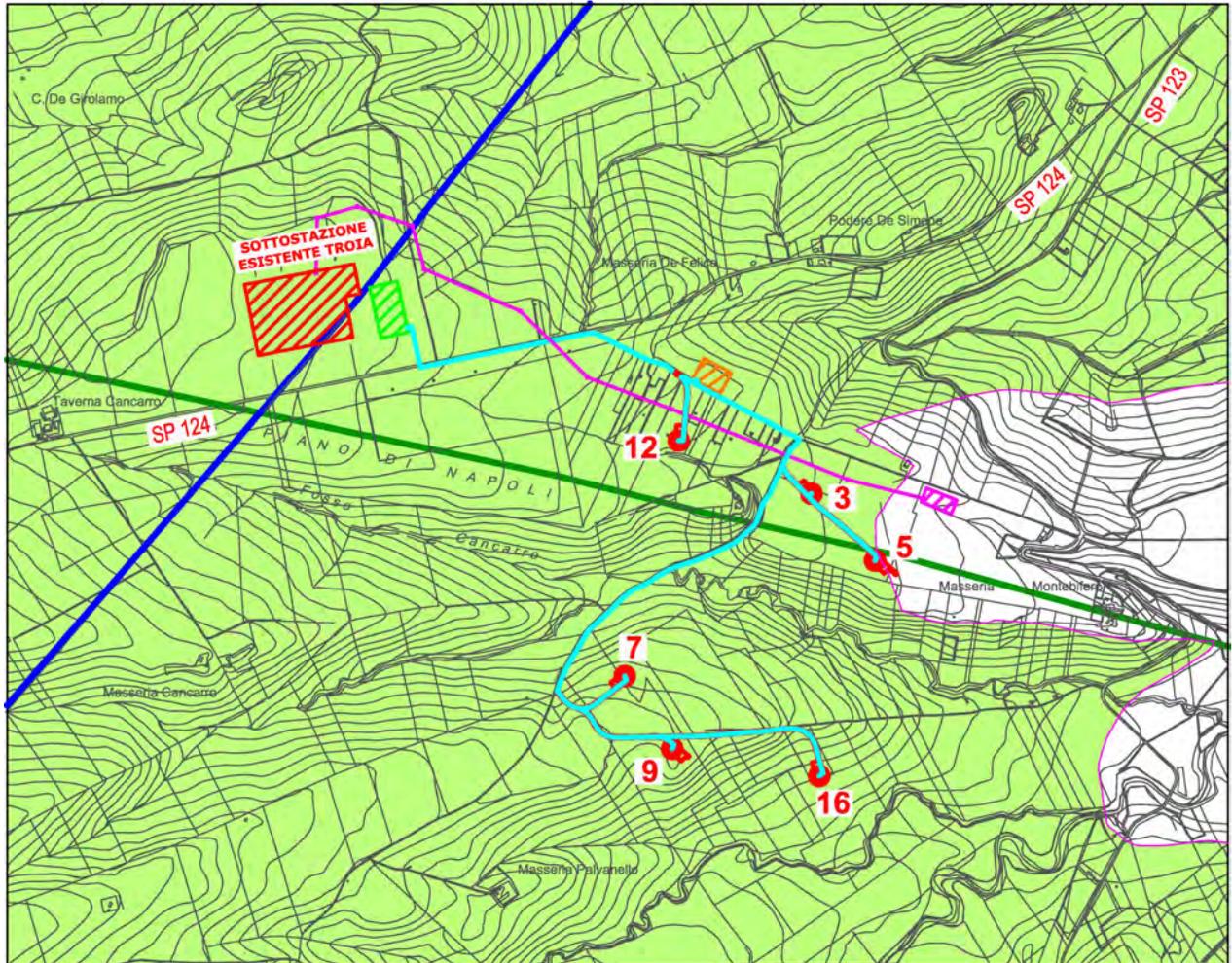
Inoltre la variante progettuale, che ha eliminato gli aerogeneratori 2, 6, 10 e 14 del progetto approvato ed ha modificato la posizione degli aerogeneratori 3, 5, 9, 12 e 16 allontanandoli dalle aree golenali e posizionandoli in aree dalla morfologia più pianeggiante (vedi foto allegate ad inizio relazione), garantisce sicuramente un fattore migliorativo rispetto la stabilità dei versanti, anche *post operam*, riducendo inoltre la quantità di opere accessorie necessarie al progetto.

## **8 COMPATIBILITA' IDROGEOLOGICA**

Per la redazione della presente relazione è stato inoltre eseguito anche uno studio di compatibilità idrogeologica, tenuto ad accertare che gli impianti e le nuove viabilità previsti garantiscano, a seconda delle caratteristiche e delle necessità relative, la sicurezza del territorio secondo quanto disposto dalla Delibera del Consiglio Regionale della Puglia n. 2439 del 21/12/2018, "Aggiornamento e rettifica degli elaborati del PPTR ai sensi degli artt. 104 e 108 delle NTA del PPTR e dell'art. 3 dell'Accordo del 16.01.2015 fra Regione Puglia e Ministero dei Beni e delle Attività Culturali e del Turismo", pubblicato sul BURP n. 19 del 18/02/2019", dal Piano Urbanistico Territoriale Tematico per il Paesaggio della Puglia D. G. R. n. 1748 del 15/12/2000, pubblicata sul BURP n. 6 del 13/01/2001, dalle relative Norme Tecniche di Attuazione Regione Puglia - Assessorato Urbanistica e Assetto Territorio - Piano Urbanistico Territoriale Tematico - "Paesaggio" pubblicate sul Bollettino Ufficiale della Regione Puglia - n. 8 suppl. del 17-1-2002, in adempimento di quanto disposto dall'art. 149 del Decreto n. 490 del 29/10/99, della sua ultima stesura nel D. Lgs. n. 42 del 22/01/2004, dalla L. R. n. 56 del 31/05/80, della L. R. n. 9 del 30/03/2009 ma, in primo luogo, dall'art. 31, lettera c) della Legge 183/89 "Norme per il riassetto organizzativo e funzionale della difesa del suolo", sulla base dei seguenti criteri: incolumità delle popolazioni, danno incombente, organica sistemazione.

Questo perché, come è possibile osservare dalla Fig. 7, le posizioni previste per alcuni aerogeneratori e dei relativi assi viari di nuova realizzazione ricadono all'interno della zona tutelata da Vincolo Idrogeologico e, come è possibile osservare dalla Fig. 8, sono di poco al di fuori delle aree di tutela dei corsi d'acqua indicate dalla Legge 43/85 (Legge "Galasso") e dal D. L. 42/04 art. 142, comma 1, lettera c.

Ad ogni buon conto, come ampiamente già rilevato nel Capitolo precedente, è possibile affermare che i terreni esistenti sono contraddistinti da ottime caratteristiche geotecniche.



**CARTA DEL PIANO DI BACINO STRALCIO  
PER L'ASSETTO IDROGEOLOGICO (PAI)**

**LEGENDA**

**Pericolosità Geomorfológica**

- |  |   |   |
|--|---|---|
|  Media e moderata (PG1) |  Elevata (PG2) |  Molto elevata (PG3) |
|--|---|---|

**Classe di rischio**

- |  |  |  |
|--|--|--|
|  R1 |  R2 |  R3 |
|--|--|--|

-  R4

-  Ampliamento sottostazione Troia

-  3 Aerogeneratore

-  Punto di raccolta e trasferimento

-  Linea elettrica AT Foggia-Benevento 2

-  Nuovo cavidotto

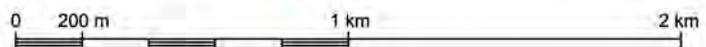
-  Metanodotto

-  Nuova viabilità/opere

-  Linea aerea AT

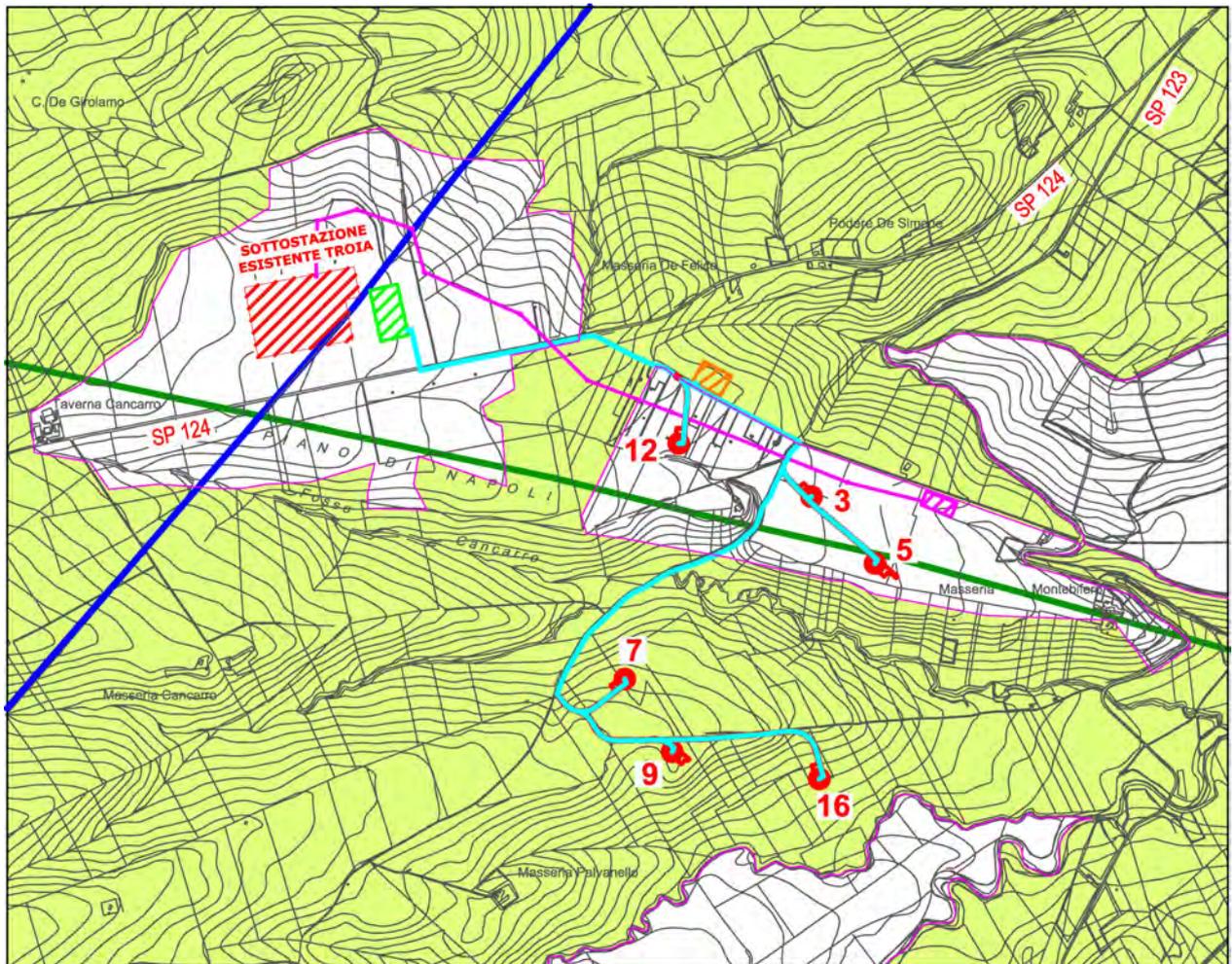
-  Stazione ENEL 150 kV

Scala 1:20.000



(Tratta dal Sistema Informativo Territoriale Autorità di Bacino della Puglia - cartografia aggiornata al 27/02/2017)

**Fig. 6**

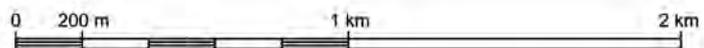


**CARTA DEL VINCOLO IDROGEOLOGICO  
LEGENDA**

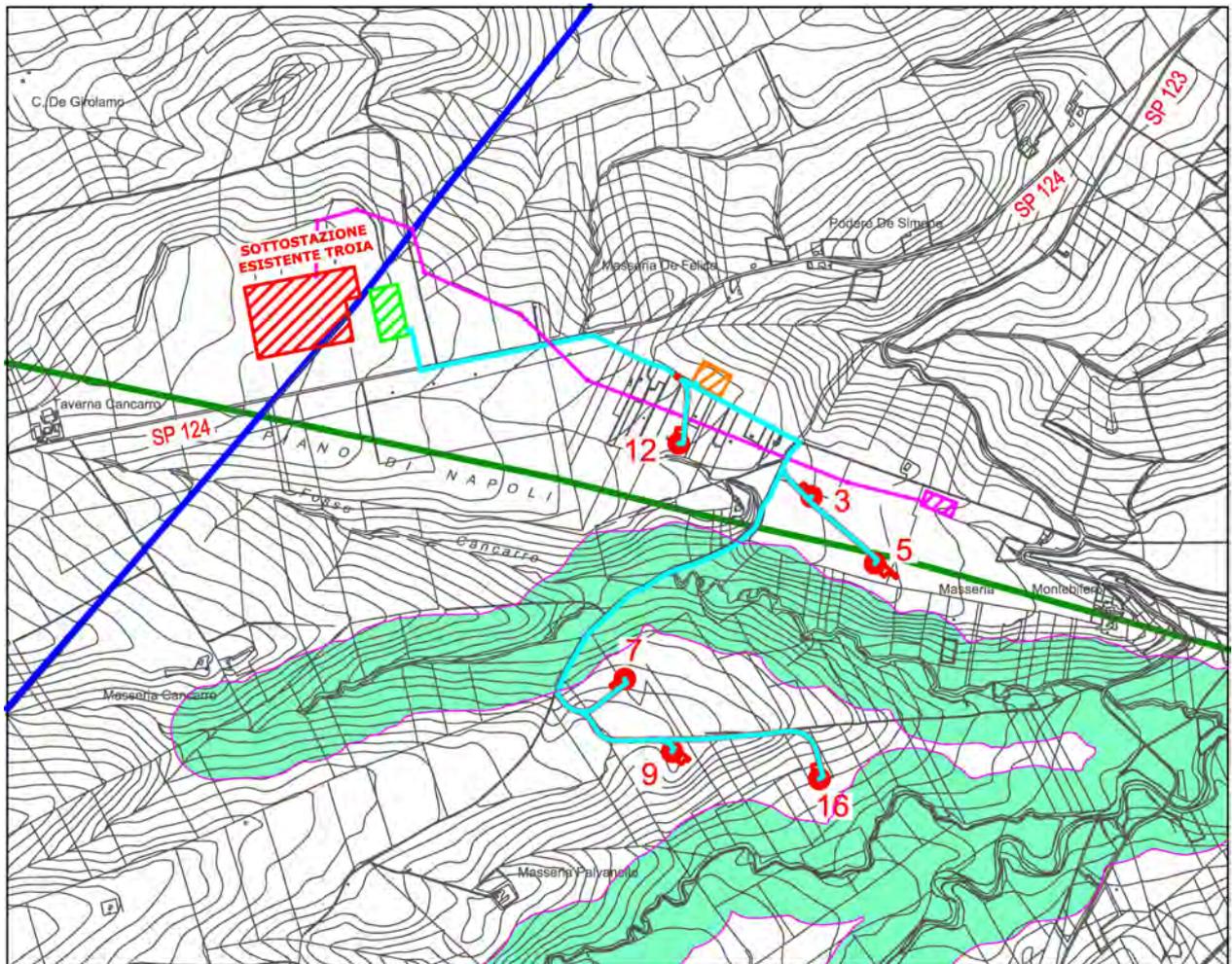
- |   |                                       |  |                                   |
|---|---------------------------------------|--|-----------------------------------|
|  | Vincolo idrogeologico                 |   | Aerogeneratore                    |
|  | Ampliamento sottostazione Troia       |   | Punto di raccolta e trasferimento |
|  | Linea elettrica AT Foggia-Benevento 2 |  | Nuovo cavidotto                   |
|  | Metanodotto                           |  | Nuova viabilità/opere             |
|  | Linea aerea AT                        |   | Stazione ENEL 150 kV              |



Scala 1:20.000



(Tratta dal Piano Urbanistico Territoriale Tematico Puglia e dal Piano Urbanistico Generale del Comune di Troia su base CTR) **Fig. 7**

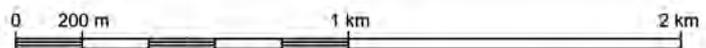


**CARTA DELLE AREE DI TUTELA DEI CORSI D'ACQUA  
LEGENDA**

- |   |   |   |                                   |
|---|---|---|-----------------------------------|
|  | L. 43/85 (Galasso) rispetto 150 m dall'alveo dei fiumi D. L. 42/04 art. 142 |  | Aerogeneratore                    |
|  | Ampliamento sottostazione Troia   |  | Punto di raccolta e trasferimento |
|  | Linea elettrica AT Foggia-Benevento 2                                       |  | Nuovo cavidotto                   |
|  | Metanodotto   |  | Nuova viabilità/opere             |
|  | Linea aerea AT  |  | Stazione ENEL 150 kV              |



Scala 1:20.000



(Tratta dal Piano Urbanistico Territoriale Tematico Puglia su base CTR)

**Fig. 8**

## **9 INDAGINI SISMICHE A RIFRAZIONE**

A seguito della variante progettuale, proposta dalla società Eolo 3W Sicilia nella Regione Puglia, relativamente allo sviluppo ed alla realizzazione di un impianto di produzione di energia elettrica da fonte eolica sito nel Comune di Troia (FG) è stata realizzata una nuova campagna di indagini sismiche, integrativa della precedente condotta nel 2010, eseguendo altre n. 3 sezioni sismiche a rifrazione a 24 canali, lungo la linea di massima pendenza, in corrispondenza del versante dove si troverà l'aerogeneratore WTG 16, del versante lungo il tratto iniziale della nuova strada per l'accesso ai futuri aerogeneratori WTG 7, WTG 9 e WTG 16 e del versante perpendicolare al tratto iniziale della strada esistente per l'accesso ai futuri aerogeneratori WTG 7, WTG 9 e WTG 16.

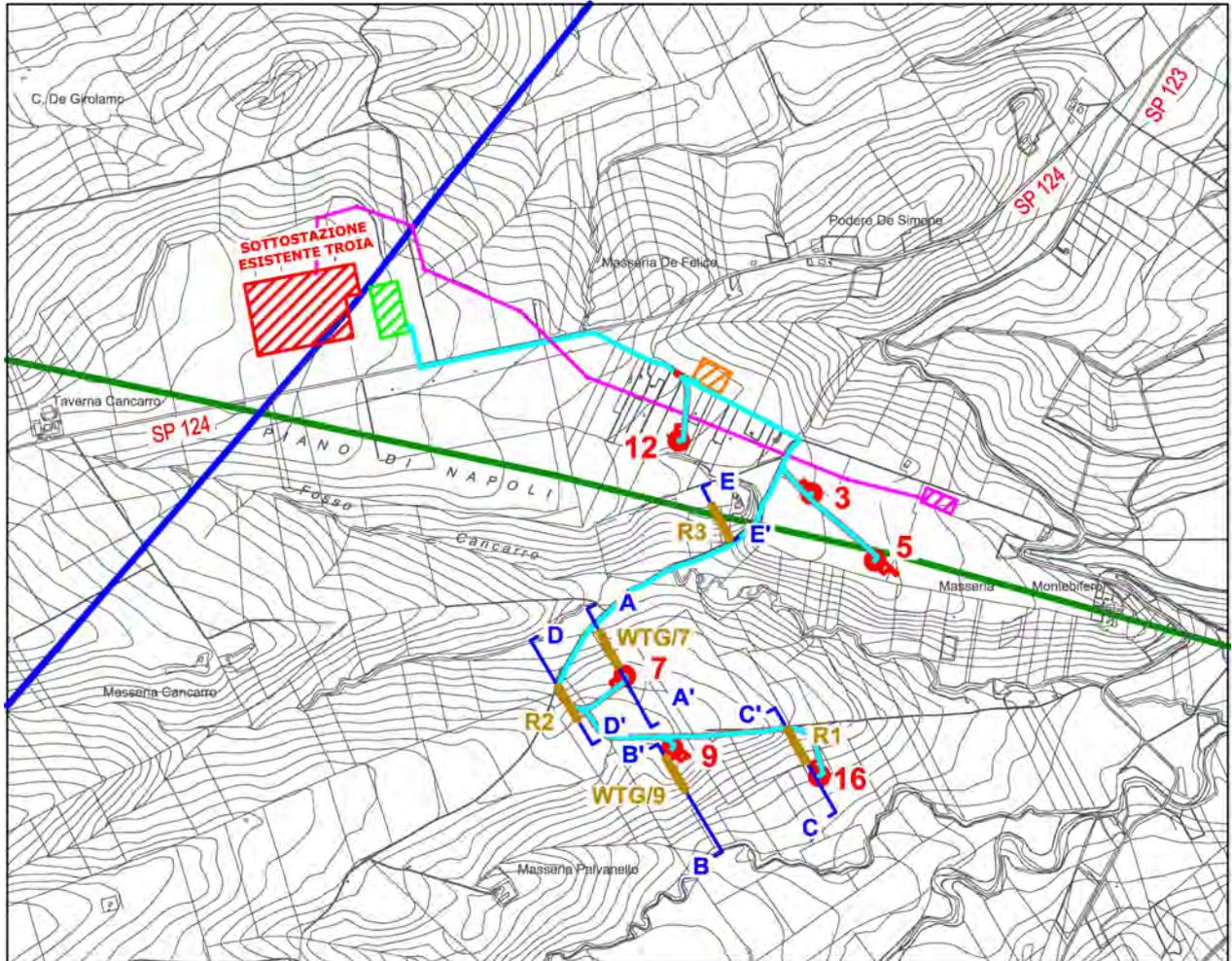
Per quanto riguarda la scelta dei versanti da investigare, è stato adottato il criterio di investigare quelli con pendenza superiore al 15%.

Come già scritto in premessa, il modello delle velocità ottenuto dalle indagini sismiche a rifrazione ha permesso di ricostruire n. 5 sezioni geologiche sulle quali sono state eseguite n. 5 verifiche di stabilità, così come riportato nella Fig. 9 e nella Tabella 2.

### **9.1 STRUMENTAZIONE IMPIEGATA**

La strumentazione utilizzata per il presente lavoro consiste in:

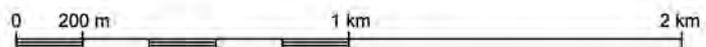
- Sismografo EEG BR a 24 canali - strumento elettronico multicanale a bassissimo rumore interno, alta velocità di campionamento, dotato di supporto magnetico per la registrazione dei dati ottenuti dopo opportuna amplificazione, filtraggio e conversione analogico/digitale degli impulsi sismici rilevati dai geofoni;
- 24 geofoni con frequenze pari a 8 Hz - apparecchi che consentono di registrare le vibrazioni del terreno convertendole in segnali elettrici, questi ricevitori sono collegati al sismografo tramite degli appositi cavi multipolari;
- cannoncino sismico "isotta".



**UBICAZIONE SEZIONI SISMICHE,  
SEZIONI GEOLOGICHE E VERIFICHE DI STABILITA'  
LEGENDA**

- |  |   |  |                                   |
|--|---|--|-----------------------------------|
|  | Traccia di profilo topografico su cui è costruita la sezione geologica ed eseguita la verifica di stabilità |  | Aerogeneratore                    |
|  | Traccia di sezione sismica  |  | Punto di raccolta e trasferimento |
|  | Ampliamento sottostazione Troia   |  | Nuovo cavidotto                   |
|  | Linea elettrica AT Foggia-Benevento 2   |  | Nuova viabilità/opere             |
|  | Metanodotto   |  | Stazione ENEL 150 kV              |
|  | Linea aerea AT  |  |                                   |

Scala 1:20.000



**Fig. 9**

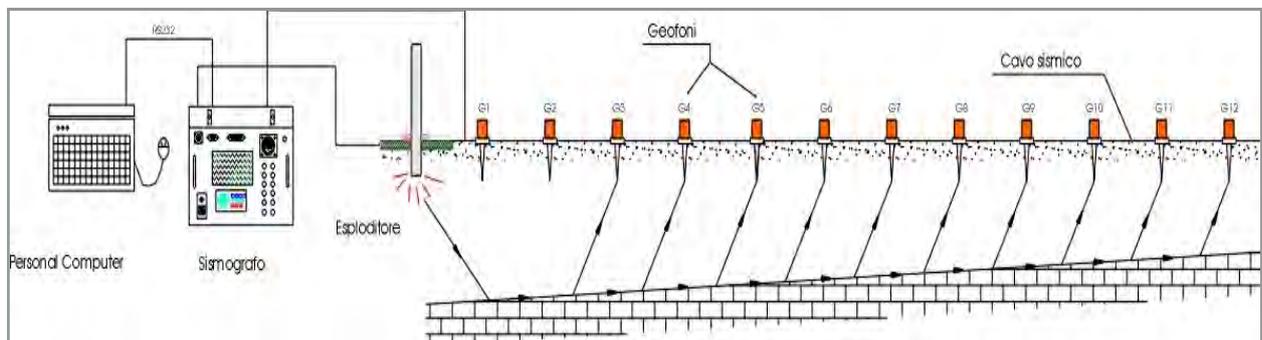
## 9.2 TEORIA DELLA METODOLOGIA A RIFRAZIONE

Il metodo sismico a rifrazione si basa sulla generazione artificiale di impulsi sismici, sotto forma di onde elastiche, per la determinazione delle velocità di propagazione nel terreno, essendo queste variabili secondo la natura dei terreni attraversati, lo stato di alterazione delle rocce e ad altre caratteristiche come chimismo, porosità, scistosità e stratificazione.

Il metodo sismico a rifrazione può essere implementato sia con onde di compressione, ottenendo modelli di velocità delle onde di compressione ( $V_p$ ) sia con onde di taglio, ottenendo modelli di velocità delle onde di taglio ( $V_s$ ), a seconda del tipo di energizzazione e dei geofoni utilizzati, verticali o orizzontali.

Il principio base della sismica a rifrazione richiede che le velocità degli strati attraversati siano crescenti dall'alto verso il basso.

A seguito di una energizzazione del terreno, realizzabile con dispositivi di vario tipo, vengono acquisiti da un registratore (sismografo) i primi impulsi che giungono ad appositi trasduttori, detti geofoni, disposti lungo un allineamento passante per il punto di energizzazione, così come mostrato nell'immagine sottostante.



I geofoni più vicini al punto di energizzazione sono raggiunti dall'onda diretta, mentre a quelli successivi arrivano per prime le onde che hanno attraversato lo strato sottostante, più veloce, e che da esso sono state rifratte.

La profondità di penetrazione è vincolata alla lunghezza dello stendimento, in un rapporto che, solo in casi ottimali, può raggiungere l' 1:3.

Riportando i dati acquisiti dal sismografo su un diagramma spazio - tempo, si ottiene una linea spezzata, detta dromocrona, i cui rami presentano una pendenza dipendente dalla velocità di propagazione delle onde sismiche negli strati.

Le coordinate del punto d'intersezione tra i tratti a diversa pendenza sono determinate dallo spessore degli strati.

Con due o più punti di energizzazione e con profili rilevati in versi opposti è possibile determinare l'andamento degli strati anche quando le superfici sono inclinate, mentre con un elevato numero di scoppi (arrivando anche ad uno per geofono) è possibile definire l'andamento di superfici molto irregolari oppure ondulate ed ad una elaborazione e restituzione di tipo tomografico.

A tale proposito, è comunque necessario specificare che la sismica a rifrazione consente di definire le velocità delle onde longitudinali in funzione delle diverse caratteristiche elastiche dei materiali attraversati, pertanto il cambiamento di velocità individua delle superfici isocinetiche, che non necessariamente corrispondono in maniera univoca a contatti stratigrafici.

### **9.3 DESCRIZIONE GENERALE DELLA METODOLOGIA A RIFRAZIONE**

La procedura per la sismica a rifrazione può riassumersi secondo i seguenti passaggi successivi:

- 1) ubicazione del profilo sismico sul terreno;
- 2) posizionamento dei geofoni e collegamento al sismografo tramite i cavi sismici;
- 3) rilievo del dislivello tra geofoni per ricostruire il profilo altimetrico dello stendimento sismico, con misure sui punti di energizzazione e sui geofoni, al fine di poter eseguire le necessarie correzioni topografiche;
- 4) energizzazione con esploditore in punti stabiliti previo controllo del rumore;
- 5) visualizzazione delle tracce sul sismografo, verifica della qualità dei dati e successiva registrazione su Hard-Disk;
- 6) trasferimento dei sismogrammi al programma di prelevamento dei tempi di primo arrivo;
- 7) emissione delle dromocrone misurate sia in forma grafica che in forma leggibile dal programma di elaborazione basato su l'algoritmo GRM (Generalized Reciprocal Method);

- 8) elaborazione dei dati mediante inversione tomografica 2D ed interpretazione;
- 9) produzione del modello delle velocità del terreno;
- 10) emissione delle sezioni interpretate riportanti le interfacce fra strati a diversa velocità sismica.

#### 9.4 MODALITA' OPERATIVE DELLA METODOLOGIA A RIFRAZIONE

Lo schema di esecuzione delle prove sismiche a rifrazione eseguite è riassunto nella seguente tabella:

TABELLA 2 - CARATTERISTICHE SEZIONI SISMICHE A RIFRAZIONE

Nome sezione	Ubicazione	Lunghezza (m)	Interdistanza (m)	Offset (m)	Anno esecuzione
WTG/7	WTG 7	115,0	5	20	2010
WTG/9	WTG 9	115,0	5	20	2010
R1	WTG 16	115,0	5	20	2019
R2	Inizio nuova strada accesso WTG 7-9-16	115,0	5	20	2019
R3	Inizio strada esistente accesso WTG 7-9-16	115,0	5	10	2019

Ciascun rilievo a rifrazione registrato è stato eseguito con la geometria di seguito schematizzata e riportata nell'immagine sottostante: ovvero con 24 geofoni posti a distanza regolare di 5 metri e con 3 energizzazioni interne, più 2 all'estremità degli stendimenti e più 2 esterne, con "offset" variabili in funzione dell'agibilità dei luoghi.



dove: C: centrale; ID: intermedia diretta; II: intermedia inversa;  
ED: esterna diretta; EI: esterna inversa; OD: offset diretto; RO: offset inverso.



Foto 9: prova sismica a rifrazione WTG/7 (2010) presso l'aerogeneratore WTG 7

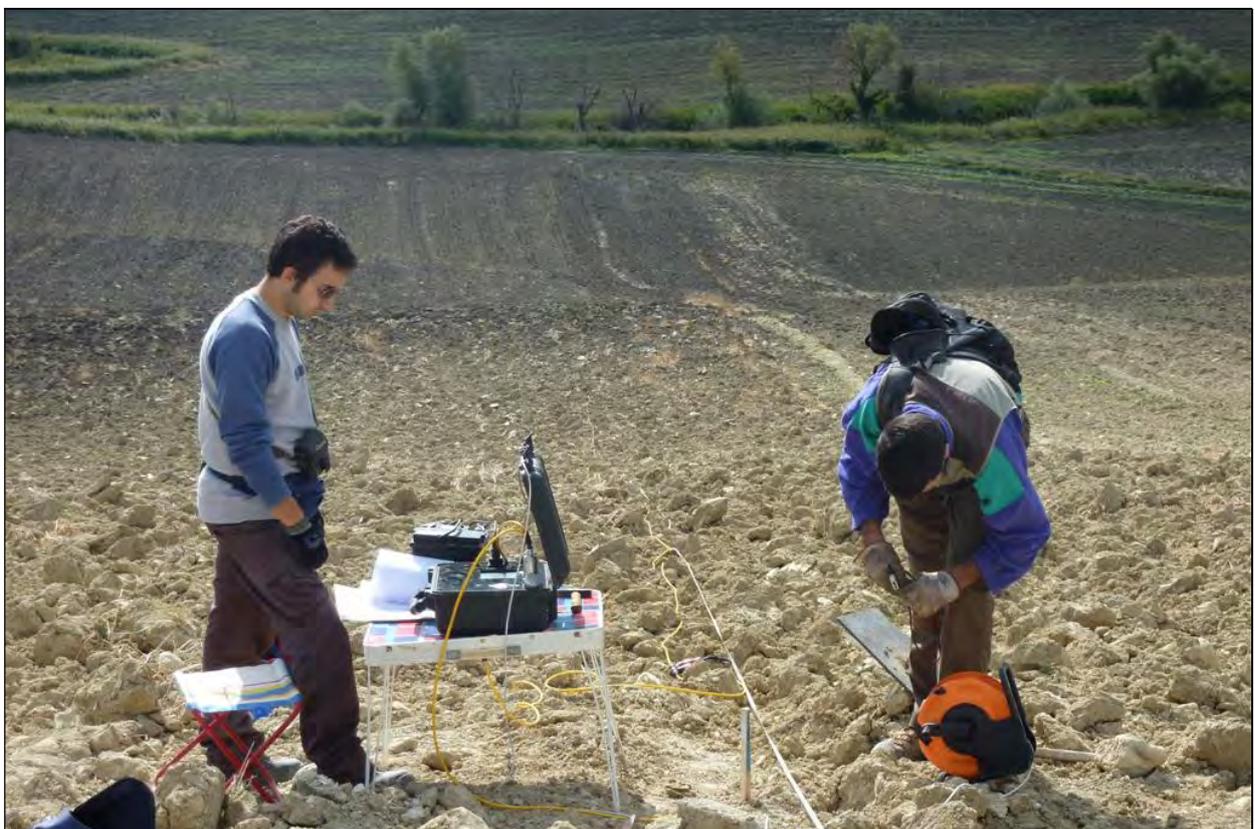


Foto 10: prova sismica a rifrazione WTG/9 (2010) presso l'aerogeneratore WTG 9



Foto 11: prova sismica a rifrazione R1 (2019) presso l'aerogeneratore WTG 16

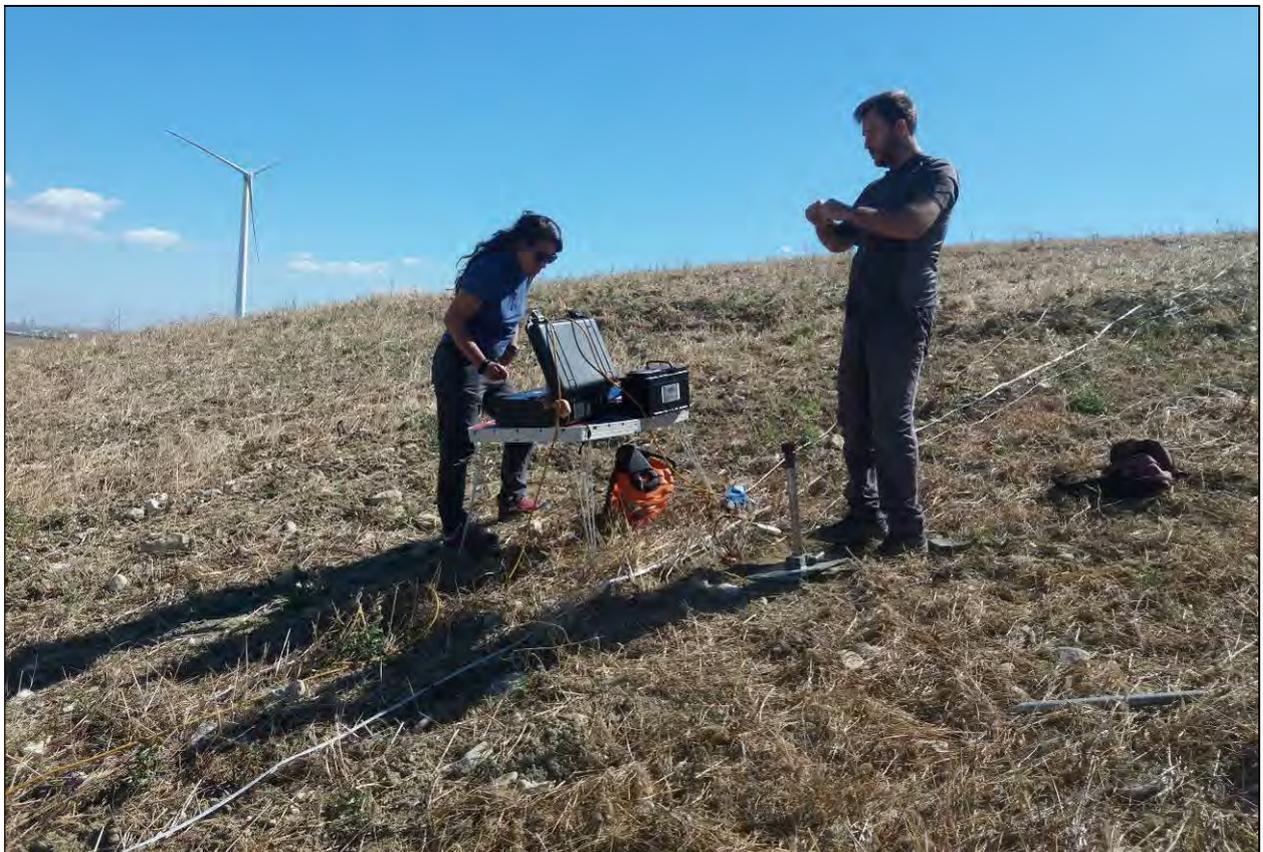


Foto 12: prova sismica a rifrazione R2 (2019) lungo il tratto iniziale della nuova strada d'accesso a WTG 7-9-16



Foto 13: prova sismica a rifrazione R3 (2019) perpendicolare al tratto iniziale della strada esistente d'accesso a WTG 7-9-16

## 9.5 RISULTATI DELLE INDAGINI SISMICHE A RIFRAZIONE

L'elaborazione delle tracce sismiche acquisite è stata eseguita, come già ricordato, con il software di analisi GRM che ha restituito per ciascun profilo sismico un modello della distribuzione delle velocità delle onde di compressione  $V_p$ .

L'interpretazione ha messo in evidenza, escluso l'orizzonte superficiale di suolo aerato, la presenza di due sismostrati o unità geosismiche: il limite fra questi sismostrati ha permesso di ricostruire le sezioni geologiche riportate nelle Figure da 15 a 19.

La possibilità di eseguire tarature nel vicino sito di Pietramontecorvino, ha permesso di individuare a circa 1.700 m/s la corrispondenza, e conseguentemente il limite geologico, fra la porzione superiore delle argille, più alterata e meno consistenti, e quella inferiore costituente il *bedrock* sismico dell'area oggetto di studio.

Nelle Tabelle seguenti vengono riportati gli spessori delle differenti litologie misurati in corrispondenza dell'estremità diretta ed inversa, dei punti intermedi diretti ed inversi e del punto centrale di ciascun profilo (cfr. Capitolo 9.4).

TABELLA 3- MODELLO GEOLOGICO RISPETTO LA  $V_p$  - WTG 7

Litologia	Profondità letto strato (m)					$V_p$ (m/s)
	ED	ID	C	II	EI	
Argille alterate	6,5	5,7	6,0	4,8	4,7	500 - 1.700
Argille consistenti						> 1.700

TABELLA 4- MODELLO GEOLOGICO RISPETTO LA  $V_p$  - WTG 9

Litologia	Profondità letto strato (m)					$V_p$ (m/s)
	ED	ID	C	II	EI	
Argille alterate	7,4	10,2	8,7	7,5	7,9	500 - 1.700
Argille consistenti						> 1.700

TABELLA 5 - MODELLO GEOLOGICO RISPETTO LA  $V_p$  - R1 - WTG16

Litologia	Profondità letto strato (m)					$V_p$ (m/s)
	ED	ID	C	II	EI	
Argille alterate	6,5	6,8	8,2	10,3	6,8	500 - 1.700
Argille consistenti						> 1.700

TABELLA 6- MODELLO GEOLOGICO RISPETTO LA  $V_p - R2$ 

Litologia	Profondità letto strato (m)					$V_p$ (m/s)
	ED	ID	C	II	EI	
Argille alterate	4,4	5,5	5,7	5,9	9,0	500 - 1.700
Argille consistenti						> 1.700

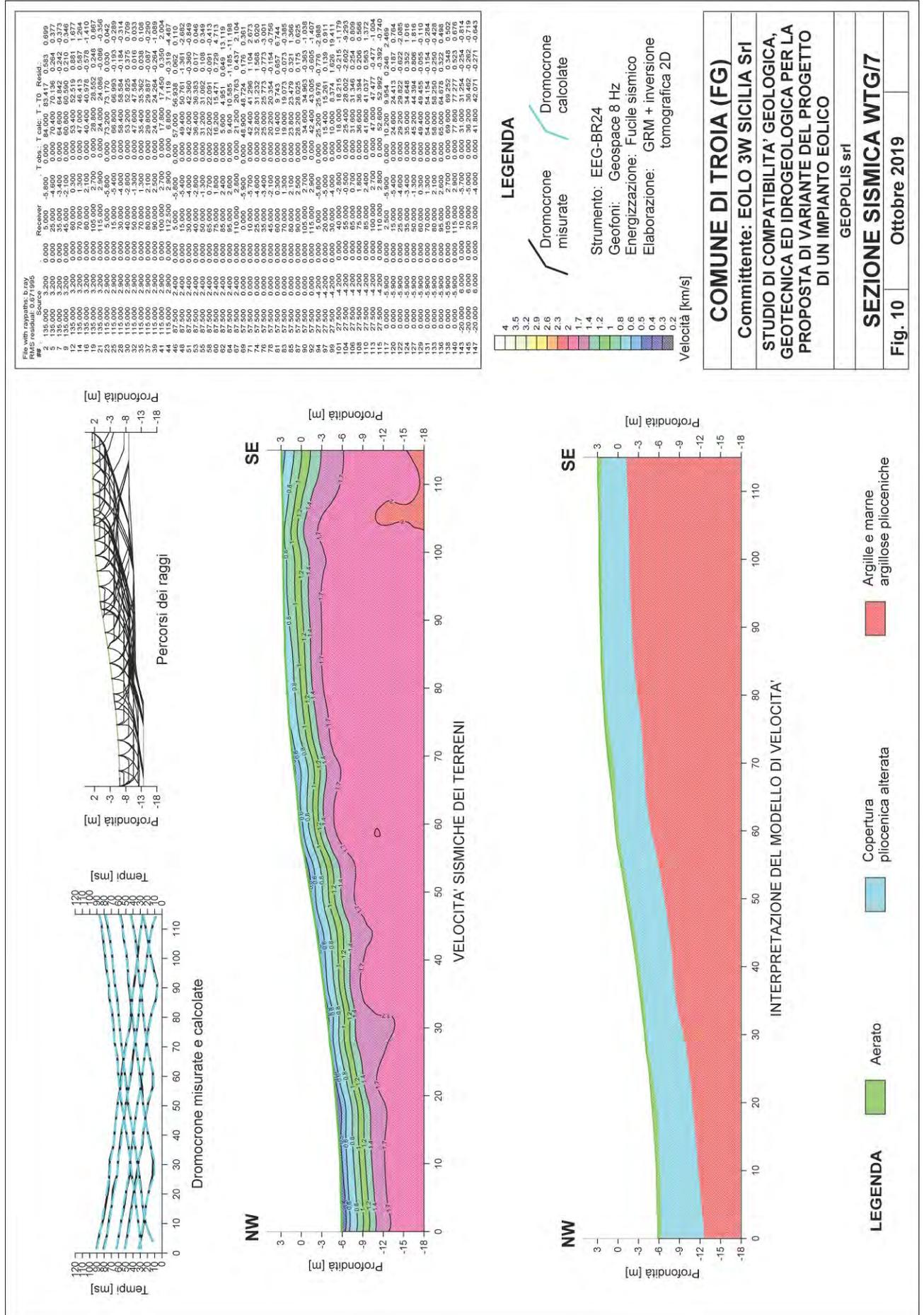
TABELLA 7- MODELLO GEOLOGICO RISPETTO LA  $V_p - R3$ 

Litologia	Profondità letto strato (m)					$V_p$ (m/s)
	ED	ID	C	II	EI	
Argille alterate	11,6	8,6	10,2	10,2	6,9	500 - 1.700
Argille consistenti						> 1.700

Ciò che sinteticamente è stato sin qui illustrato è riportato, nel dettaglio, nelle Figure da 10 a 14 dove, le sezioni sismiche a rifrazione eseguite vengono restituite secondo il seguente schema:

- 1) in alto, a sinistra, sono riportate le dromocrone registrate;
- 2) in alto, a destra, sono graficati i percorsi dei raggi sismici ricostruiti;
- 3) al centro è riportato il modello delle velocità sismiche  $V_p$  ricavato;
- 4) in basso è restituita l'interpretazione del modello delle velocità successivamente utilizzata, ed estesa, per la ricostruzione delle sezioni geologiche (Figure da 15 a 19) da sottoporre a verifica di stabilità.

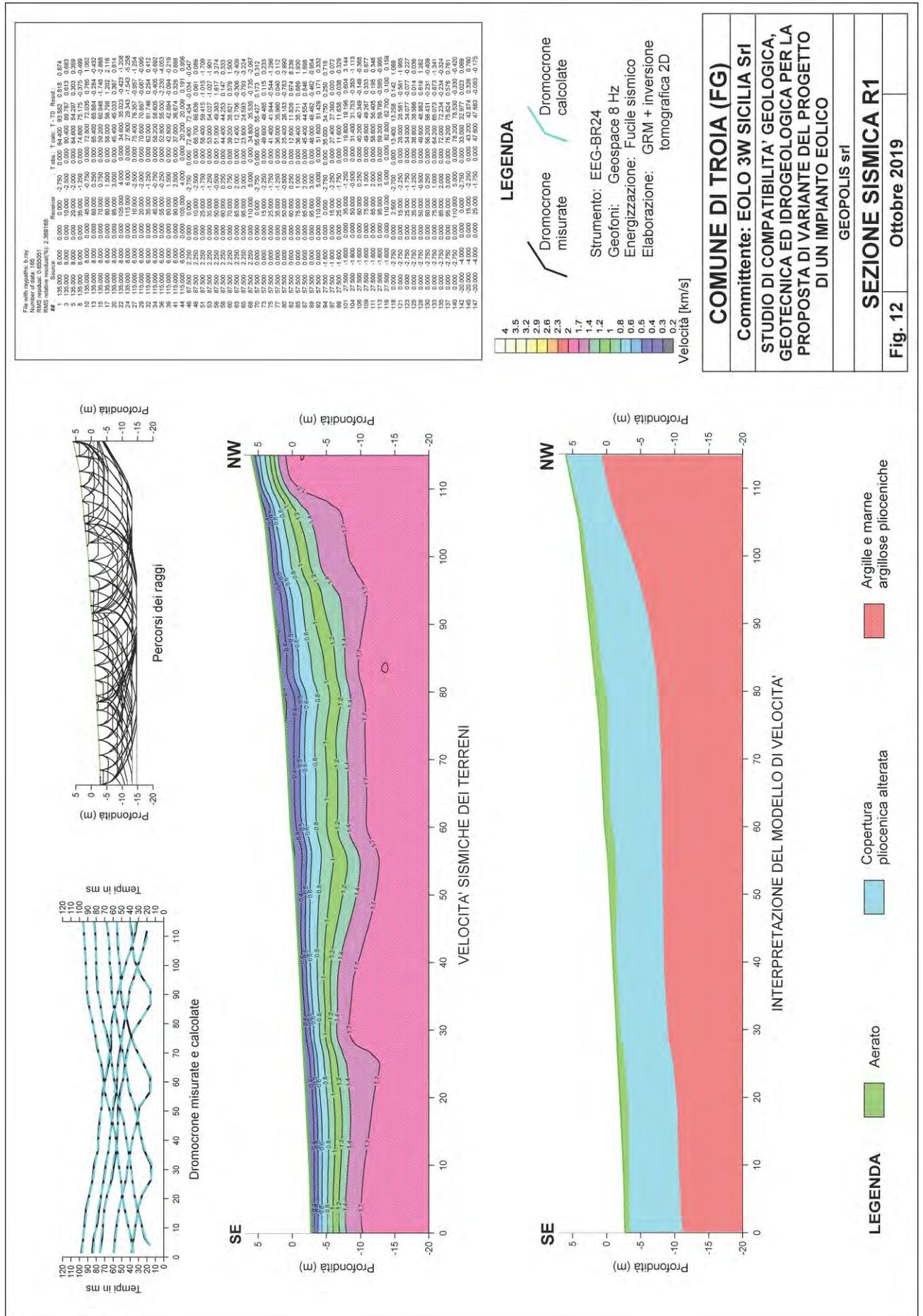
Per ciò che concerne l'asse delle Y, sia per il modello delle velocità sia per la sua interpretazione, è stato usato un sistema di riferimento locale dove la "Y zero" è ubicata in corrispondenza del centro dello stendimento sismico.



File with raypaths: b.ray  
 RMS residual: 0.071895

Receiver	T. obs.	T. calc.	T. TO	Resid.
1	135.0000	0.0000	03.4177	0.583
2	135.0000	0.0000	04.8442	-0.242
3	135.0000	0.0000	06.8000	0.590
4	135.0000	0.0000	08.4813	0.587
5	135.0000	0.0000	10.8000	0.587
6	135.0000	0.0000	12.8000	0.587
7	135.0000	0.0000	15.4000	0.587
8	135.0000	0.0000	18.0000	0.587
9	135.0000	0.0000	20.8000	0.587
10	135.0000	0.0000	23.8000	0.587
11	135.0000	0.0000	27.0000	0.587
12	135.0000	0.0000	30.4000	0.587
13	135.0000	0.0000	34.0000	0.587
14	135.0000	0.0000	37.8000	0.587
15	135.0000	0.0000	41.8000	0.587
16	135.0000	0.0000	46.0000	0.587
17	135.0000	0.0000	50.4000	0.587
18	135.0000	0.0000	55.0000	0.587
19	135.0000	0.0000	59.8000	0.587
20	135.0000	0.0000	64.8000	0.587
21	135.0000	0.0000	70.0000	0.587
22	135.0000	0.0000	75.4000	0.587
23	135.0000	0.0000	81.0000	0.587
24	135.0000	0.0000	86.8000	0.587
25	135.0000	0.0000	92.8000	0.587
26	135.0000	0.0000	99.0000	0.587
27	135.0000	0.0000	105.4000	0.587
28	135.0000	0.0000	112.0000	0.587
29	135.0000	0.0000	118.8000	0.587
30	135.0000	0.0000	125.8000	0.587
31	135.0000	0.0000	133.0000	0.587
32	135.0000	0.0000	140.4000	0.587
33	135.0000	0.0000	148.0000	0.587
34	135.0000	0.0000	155.8000	0.587
35	135.0000	0.0000	163.8000	0.587
36	135.0000	0.0000	172.0000	0.587
37	135.0000	0.0000	180.4000	0.587
38	135.0000	0.0000	189.0000	0.587
39	135.0000	0.0000	197.8000	0.587
40	135.0000	0.0000	206.8000	0.587
41	135.0000	0.0000	216.0000	0.587
42	135.0000	0.0000	225.4000	0.587
43	135.0000	0.0000	235.0000	0.587
44	135.0000	0.0000	244.8000	0.587
45	135.0000	0.0000	254.8000	0.587
46	135.0000	0.0000	265.0000	0.587
47	135.0000	0.0000	275.4000	0.587
48	135.0000	0.0000	286.0000	0.587
49	135.0000	0.0000	296.8000	0.587
50	135.0000	0.0000	307.8000	0.587
51	135.0000	0.0000	319.0000	0.587
52	135.0000	0.0000	330.4000	0.587
53	135.0000	0.0000	342.0000	0.587
54	135.0000	0.0000	353.8000	0.587
55	135.0000	0.0000	365.8000	0.587
56	135.0000	0.0000	378.0000	0.587
57	135.0000	0.0000	390.4000	0.587
58	135.0000	0.0000	403.0000	0.587
59	135.0000	0.0000	415.8000	0.587
60	135.0000	0.0000	428.8000	0.587
61	135.0000	0.0000	442.0000	0.587
62	135.0000	0.0000	455.4000	0.587
63	135.0000	0.0000	469.0000	0.587
64	135.0000	0.0000	482.8000	0.587
65	135.0000	0.0000	496.8000	0.587
66	135.0000	0.0000	511.0000	0.587
67	135.0000	0.0000	525.4000	0.587
68	135.0000	0.0000	540.0000	0.587
69	135.0000	0.0000	554.8000	0.587
70	135.0000	0.0000	569.8000	0.587
71	135.0000	0.0000	585.0000	0.587
72	135.0000	0.0000	600.4000	0.587
73	135.0000	0.0000	616.0000	0.587
74	135.0000	0.0000	631.8000	0.587
75	135.0000	0.0000	647.8000	0.587
76	135.0000	0.0000	664.0000	0.587
77	135.0000	0.0000	680.4000	0.587
78	135.0000	0.0000	697.0000	0.587
79	135.0000	0.0000	713.8000	0.587
80	135.0000	0.0000	730.8000	0.587
81	135.0000	0.0000	748.0000	0.587
82	135.0000	0.0000	765.4000	0.587
83	135.0000	0.0000	783.0000	0.587
84	135.0000	0.0000	800.8000	0.587
85	135.0000	0.0000	818.8000	0.587
86	135.0000	0.0000	837.0000	0.587
87	135.0000	0.0000	855.4000	0.587
88	135.0000	0.0000	874.0000	0.587
89	135.0000	0.0000	892.8000	0.587
90	135.0000	0.0000	911.8000	0.587
91	135.0000	0.0000	931.0000	0.587
92	135.0000	0.0000	950.4000	0.587
93	135.0000	0.0000	970.0000	0.587
94	135.0000	0.0000	989.8000	0.587
95	135.0000	0.0000	1009.8000	0.587
96	135.0000	0.0000	1029.0000	0.587
97	135.0000	0.0000	1048.4000	0.587
98	135.0000	0.0000	1068.0000	0.587
99	135.0000	0.0000	1087.8000	0.587
100	135.0000	0.0000	1107.8000	0.587
101	135.0000	0.0000	1128.0000	0.587
102	135.0000	0.0000	1148.4000	0.587
103	135.0000	0.0000	1169.0000	0.587
104	135.0000	0.0000	1189.8000	0.587
105	135.0000	0.0000	1210.8000	0.587
106	135.0000	0.0000	1232.0000	0.587
107	135.0000	0.0000	1253.4000	0.587
108	135.0000	0.0000	1275.0000	0.587
109	135.0000	0.0000	1296.8000	0.587
110	135.0000	0.0000	1318.8000	0.587
111	135.0000	0.0000	1341.0000	0.587
112	135.0000	0.0000	1363.4000	0.587
113	135.0000	0.0000	1386.0000	0.587
114	135.0000	0.0000	1408.8000	0.587
115	135.0000	0.0000	1431.8000	0.587
116	135.0000	0.0000	1455.0000	0.587
117	135.0000	0.0000	1478.4000	0.587
118	135.0000	0.0000	1502.0000	0.587
119	135.0000	0.0000	1525.8000	0.587
120	135.0000	0.0000	1549.8000	0.587
121	135.0000	0.0000	1574.0000	0.587
122	135.0000	0.0000	1598.4000	0.587
123	135.0000	0.0000	1623.0000	0.587
124	135.0000	0.0000	1647.8000	0.587
125	135.0000	0.0000	1672.8000	0.587
126	135.0000	0.0000	1698.0000	0.587
127	135.0000	0.0000	1723.4000	0.587
128	135.0000	0.0000	1749.0000	0.587
129	135.0000	0.0000	1774.8000	0.587
130	135.0000	0.0000	1800.8000	0.587
131	135.0000	0.0000	1827.0000	0.587
132	135.0000	0.0000	1853.4000	0.587
133	135.0000	0.0000	1880.0000	0.587
134	135.0000	0.0000	1906.8000	0.587
135	135.0000	0.0000	1933.8000	0.587
136	135.0000	0.0000	1961.0000	0.587
137	135.0000	0.0000	1988.4000	0.587
138	135.0000	0.0000	2016.0000	0.587
139	135.0000	0.0000	2043.8000	0.587
140	135.0000	0.0000	2071.8000	0.587
141	135.0000	0.0000	2100.0000	0.587
142	135.0000	0.0000	2128.4000	0.587
143	135.0000	0.0000	2157.0000	0.587
144	135.0000	0.0000	2185.8000	0.587
145	135.0000	0.0000	2214.8000	0.587
146	135.0000	0.0000	2244.0000	0.587
147	135.0000	0.0000	2273.4000	0.587









## **10 DEFINIZIONE DEL MODELLO GEOLOGICO ED ATTRIBUZIONE DEI PARAMETRI GEOTECNICI**

Come già riportato, per la stesura della presente relazione, è stato eseguito un rilevamento geomorfologico, sono state eseguite indagini sismiche (2010 e 2019), sono stati visionati alcuni lavori eseguiti da Colleghi nelle immediate vicinanze (Relazione Geologica del 2015 della Dott.ssa Geol. M. De Salvia e Relazione Geologica 2014 del Dott. Geol. Pietro Lorenzo) e sono stati utilizzati i copiosissimi dati utilizzati per la progettazione esecutiva di un vicino Parco Eolico, nel Comune di Pietramontecorvino (FG), i cui principali risultati sono riportati nella presente relazione.

La possibilità di utilizzare anche questi ultimi dati deriva dal fatto che tali indagini sono state svolte in un contesto geologico identico, nell'ambito cioè delle argille plioceniche della Fossa Bradanica.

Complessivamente la campagna di indagini summenzionata ha comportato:

- 1) l'esecuzione di n. 26 sondaggi a carotaggio continuo, per un totale di circa 510 metri di perforazione;
- 2) l'esecuzione di n. 9 saggi con escavatore;
- 3) il prelievo di n. 65 campioni indisturbati di terreno, su n. 61 dei quali, presso un Laboratorio Concessionato dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti (decreto 53582 del 1/7/05), è stato eseguito un programma completo di prove geotecniche;
- 4) l'esecuzione di n. 34 prove penetrometriche in sito SPT secondo le norme ISSMFE (ISOPT 1-1988);
- 5) l'esecuzione di n. 3 prove sismiche MASW per la determinazione dello stimatore  $V_{Seq}$ ;
- 6) l'esecuzione di n. 3 indagini sismiche tomografiche (HVSr) per la determinazione della frequenza tipica del sito;
- 7) l'esecuzione di n. 27 indagini sismiche a rifrazione con strumentazione a 24 canali, lungo la linea di massima pendenza.

A tale proposito, nelle pagine successive, vengono riportate le Tabelle 8 (Prove di laboratorio) e le Tabelle 9 (Prove SPT) con i risultati di tutte le prove eseguite in sito ed in laboratorio, dalle quali sono stati ricavati i valori dei principali parametri geotecnici, riportati qui di seguito.

UNITA' GEOTECNICA 1 - Coltre alterata delle argille plioceniche: costituita da limi argillosi, debolmente sabbiosi, di colore marrone chiaro – avana o olivastri, poco consistenti, a struttura omogenea, con rari livelli centimetrici sabbiosi, plastici.

• peso di volume naturale	$\gamma_{\text{nat}}$ :	20,0 – 21,5 [kN/m <sup>3</sup> ]
• coesione drenata	$C'$ :	17,0 – 21,0 [kPa]
• angolo di attrito drenato	$\phi'$ :	23 - 25 [°]
• coesione non drenata	$C_u$ :	150 - 300 [kPa]
• modulo di compressibilità	$E'_{98-196}$ :	8.000 – 12.000 [kPa]
	$E'_{196-392}$ :	12.000 – 16.000 [kPa]

UNITA' GEOTECNICA 2 - Argille plioceniche: costituite da argille limose talvolta debolmente sabbiose, di colore grigio, dure, sovraconsolidate, a struttura nel complesso omogenea, con orizzonti centimetrici sabbiosi marroni, generalmente plastiche, talora poco plastiche.

• peso di volume naturale	$\gamma_{\text{nat}}$ :	20,8 – 21,2 [kN/m <sup>3</sup> ]
• coesione drenata	$C'$ :	20,0 – 25,0 [kPa]
• angolo di attrito drenato	$\phi'$ :	27 - 30 [°]
• coesione non drenata	$C_u$ :	300 - 600 [kPa]
• modulo di compressibilità	$E'_{98-196}$ :	15.000 – 25.000 [kPa]
	$E'_{196-392}$ :	25.000 – 50.000 [kPa]

Sond. e n. campione	Quota (m da p.c.)	Descrizione litologica	W [%]	S <sub>r</sub> [%]	γ <sub>nat</sub> [kN/m <sup>3</sup> ]	γ <sub>s</sub> [kN/m <sup>3</sup> ]	LL	LP	C' [kPa]	φ' [°]	E' [kPa]	Cu [kPa]
S/2 - C/1	3,00 - 3,60	Limo con argilla deb. sabbioso	18,5	106	20,63	25,18	40	21	23	23	7857 - 11442	-
S/3 - C/1	8,00 - 8,50	Limo con argilla deb. sabbioso	17,2	106	21,09	25,57	47	22	4	23	-	304 - 437
S/5 - C/1	7,00 - 7,50	Limo con argilla deb. sabbioso	18,8	78	19,33	27,09	44	18	25	24	-	110
S/8 - C/1	4,00 - 4,50	Limo con argilla deb. sabbioso	17,6	94	20,62	26,43	40	20	18	25	-	237 - 284
S/10 - C/1	4,50 - 5,00	Limo con argilla deb. sabbioso	18,8	89	20,28	26,95	48	29	38	26	-	185 - 296
S/11 - C/1	4,00 - 4,50	Limo con argilla deb. sabbioso	18,6	94	20,67	26,9	43	21	-	-	9493 - 11926	160 - 255
S/12 - C/1	3,00 - 3,50	Limo con argilla deb. sabbioso	20,5	86	19,71	27,13	45	19	6	23	5998 - 5377	-
S/14 - C/1	6,50 - 7,00	Limo con argilla	26,9	99	19,49	26,62	56	24	-	-	4853 - 9073	-
S/14 - C/2	8,00 - 8,50	Limo con argilla	22,6	101	20,42	26,82	48	19	-	-	12730 - 14303	315 - 403
S/17 - C/1	3,60 - 4,00	Limo con argilla deb. sabbiosa	22,8	95	19,62	26,29	52	21	-	-	6406 - 6877	214
S/19 - C/1	3,00 - 3,50	Limo argilloso deb. sabbioso	17,1	91	20,7	26,77	40	19	20	27	16168 - 15366	-
S/20 - C/1	3,00 - 3,50	Limo con argilla	21,1	98	20,3	26,36	49	20	23	24	10958 - 12573	163
S/20 - C/2	5,50 - 6,00	Limo con argilla	16,4	95	20,97	26,43	38	18	-	-	20305 - 16519	356
S/20 - C/4	12,00 - 12,50	Limo argilloso	18,8	-	20,6	-	40	22	-	-	-	218 - 610
S/21 - C/1	6,00 - 6,50	Limo con argilla deb. sabbioso	21,3	-	19,52	-	50	24	-	-	-	134 - 154
S/21 - C/2	8,00 - 8,50	Argilla con limo	20,2	101	20,83	26,71	47	23	-	-	11587 - 13174	259
S/22 - C/1	4,50 - 5,00	Limo con argilla sabbioso	23,4	102	19,87	25,83	49	25	-	-	11710 - 12620	142
S/22 - C/3	8,00 - 8,50	Limo con argilla deb. sabbioso	22,2	-	20,23	-	48	22	-	-	-	51 - 323
S/23 - C/1	2,00 - 2,50	Limo argilloso e sabbioso	21,5	-	18,36	-	44	20	-	-	-	-
S/23 - C/2	5,00 - 5,50	Limo argilloso deb. sabbioso	26,3	-	18,97	-	47	27	-	-	-	184 - 228
S/23 - C/3	7,00 - 7,50	Limo con argilla deb. sabbioso	19,7	105	20,97	26,33	41	21	-	-	94247 - 19902	352 - 537
S/23 - C/4	9,00 - 9,50	Limo con argilla deb. sabbioso	17,2	-	20,97	-	45	21	-	-	-	415
S/24 - C/1	3,00 - 3,30	Argilla con limo deb. sabbioso	18,4	-	20,68	-	42	23	27	21	-	158
Sc/1 - C/1	3,00	Limo con argilla deb. sabbioso	19,4	82	19,56	26,96	51	22	-	-	10357 - 13035	-
Sc/1 - C/2	4,00	Limo con argilla deb. sabbioso	19,2	-	20,56	-	50	20	-	-	7844 - 9244	-
Sc/4 - C/1	4,00	Limo con argilla	20,2	91	20,06	26,75	46	24	-	-	14262 - 16263	-

TABELLA 8a - RISULTATI PROVE DI LABORATORIO

Scavo e n. campione	Quota (m da p.c.)	Descrizione litologica	W [%]	S <sub>r</sub> [%]	γ <sub>nat</sub> [kN/m <sup>3</sup> ]	γ <sub>s</sub> [kN/m <sup>3</sup> ]	LL	LP	C' [kPa]	φ' [°]	E' [kPa]	Cu [kPa]
Sc/5 - C/1	2,50	Limo con argilla deb. sabbioso	19,2	94	20,62	27,11	-	-	-	-	-	-
Sc/5 - CCub	2,50	Limo con argilla deb. sabbioso	21,1	92	20,13	27,23	47	21	11	24	5930 - 8165	64 - 157
Sc/5 - CEdo1	3,50	Limo con argilla deb. sabbioso	20,1	93	20,3	26,89	-	-	-	-	5414 - 8407	-
Sc/5 - C/2	3,50	Limo con argilla deb. sabbioso	19,9	-	20,46	-	48	20	-	-	11671 - 13387	-
Sc/6 - C/1	3,50	Limo con argilla sabbioso deb. ghiaioso	20,1	82	19,17	26,55	44	23	-	-	3823 - 5082	-
Sc/6 - C/2	3,80	Limo argilloso deb. sabbioso	21,2	-	20,21	-	47	23	-	-	6196 - 6743	-
Sc/7 - CEdo1	3,50	Argilla con limo	16,7	100	21,33	26,57	-	-	-	-	22231 - 21585	-
Sc/7 - C/1	3,70	Limo con argilla sabbioso	15,6	91	21,01	26,64	35	19	-	-	12514 - 18198	-
Sc/8 - CEdo1	3,50	Limo con argilla sabbioso	18,6	102	21,14	26,64	-	-	-	-	8811 - 14202	-
Sc/8 - C/2	4,30	Limo con argilla deb. sabbioso	15,6	98	21,42	26,54	42	23	-	-	-	642
Sc/9 - C/1	3,50	Limo con argilla	16,5	-	21,77	-	40	19	-	-	18919 - 21480	-
Sc/9 - CEdo1	3,50	Limo con argilla deb. sabbioso	14,1	88	21,44	27,08	-	-	-	-	52173 - 18764	-
Sc/9 - Ccub	3,60	Limo con argilla deb. sabbioso	16,0	100	21,68	26,88	41	18	50	23	9167 - 11107	531 - 628
Sc/9 - C/2	4,00	Limo con argilla	16,3	-	21,08	-	43	19	-	-	22045 - 15677	531 - 592
Sc/8 - CEdo1	3,50	Limo con argilla sabbioso	18,6	102	21,14	26,64	-	-	-	-	8811 - 14202	-
Sc/8 - C/2	4,30	Limo con argilla deb. sabbioso	15,6	98	21,42	26,54	42	23	-	-	-	642
Sc/9 - C/1	3,50	Limo con argilla	16,5	-	21,77	-	40	19	-	-	18919 - 21480	-
Sc/9 - CEdo1	3,50	Limo con argilla deb. sabbioso	14,1	88	21,44	27,08	-	-	-	-	52173 - 18764	-
Sc/9 - Ccub	3,60	Limo con argilla deb. sabbioso	16,0	100	21,68	26,88	41	18	50	23	9167 - 11107	531 - 628
Sc/9 - C/2	4,00	Limo con argilla	16,3	-	21,08	-	43	19	-	-	22045 - 15677	531 - 592
S/1_07 - C/1	3,50	Sabbia argillosa	21,0	99	20,42	26,51	-	-	47	24	-	-
S/1_07 - C/2	5,00	Sabbia argillosa	18,5	92	20,37	26,52	-	-	55	26	-	-
S/2_07 - C/1	3,80	Sabbia argillosa	21,5	96	20,07	26,54	-	-	33	25	-	-
S/2_07 - C/2	15,00	Argilla sabbiosa	7,5	31	16,66	25,48	-	-	37	22	-	-

TABELLA 8b- RISULTATI PROVE DI LABORATORIO

Sondaggio e n. SPT	Quota (m dal p. c.)	Descrizione litologica	Nspt (67 mm)	N'spt (42 mm)	Dr [%]	$\phi'$ [°]	Cu [Kpa]
S/1_06-SPT1	13,50-13,77	Limi con argilla debolmente sabbiosi grigio scuri, duri, omogenei, plastici.	Rifiuto	Rifiuto	-	-	>500
S/6_06-SPT1	6,50-6,95	Limi con argilla debolmente sabbiosi giallastri da molto consistenti a duri, omogenei	51	45	-	-	300
S/6_06-SPT2	11,50-11,95	Limi con argilla debolmente sabbiosi grigio scuri, duri, omogenei, plastici.	62	54	-	-	304
S/6_06-SPT3	14,50-14,77	Limi con argilla debolmente sabbiosi grigio scuri, duri, omogenei, plastici.	Rifiuto	Rifiuto	-	-	>500
S/7_06-SPT1	6,50-6,95	Limi con argilla debolmente sabbiosi grigio scuri, duri, omogenei, plastici.	86	75	-	-	500
S/8_06-SPT1	2,00-2,45	Ghiaie calcaree sciolte, eterometriche, in matrice limo - argillosa.	56	49	100	>40	-
S/8_06-SPT2	10,50-10,95	Limi con argilla debolmente sabbiosi grigio scuri, duri, omogenei, plastici.	62	54	-	-	306
S/8_06-SPT3	14,20-14,53	Limi con argilla debolmente sabbiosi grigio scuri, duri, omogenei, plastici.	Rifiuto	Rifiuto	-	-	>500
S/9_06-SPT1	2,50-2,95	Ghiaie calcaree sciolte, eterometriche, in matrice limo - argillosa.	87	75	100	>40	-
S/10_06-SPT1	9,00-9,45	Limi con argilla debolmente sabbiosi grigio scuri, duri, omogenei, plastici.	91	79	-	-	503
S/13_06-SPT1	2,00-2,45	Ghiaie calcaree sciolte, eterometriche, in matrice limo - argillosa.	65	60	100	>40	-
S/13_06-SPT2	3,00-3,45	Ghiaie calcaree sciolte, eterometriche, in matrice limo - argillosa.	87	76	100	>40	-
S/13_06-SPT3	4,00-4,33	Ghiaie calcaree sciolte, eterometriche, in matrice limo - argillosa.	Rifiuto	Rifiuto	100	>40	-
S/13_06-SPT4	5,00-5,36	Ghiaie calcaree sciolte, eterometriche, in matrice limo - argillosa.	Rifiuto	Rifiuto	100	>40	-
S/14_06-SPT1	2,00-2,22	Ghiaie calcaree sciolte, eterometriche, in matrice limo - argillosa.	Rifiuto	Rifiuto	100	>40	-
S/14_06-SPT2	3,00-3,45	Ghiaie calcaree sciolte, eterometriche, in matrice limo - argillosa.	55	48	100	>40	-
S/15_06-SPT1	3,00-3,45	Limi con argilla debolmente sabbiosi giallastri da molto consistenti a duri, omogenei.	22	19	-	-	103

TABELLA 9a- INTERPRETAZIONE DATI PROVE SPT ESEGUITE

Sondaggio e n. SPT	Quota (m dal p. c.)	Descrizione litologica	Nspt (67 mm)	N'spt (42 mm)	Dr [%]	$\phi'$ [°]	Cu [Kpa]
S/15_06-SPT2	4,00-4,45	Limi con argilla debolmente sabbiosi giallastri da molto consistenti a duri, omogenei.	16	14	-	-	9
S/15_06-SPT3	5,00-5,45	Limi con argilla debolmente sabbiosi giallastri da molto consistenti a duri, omogenei.	24	21	-	-	104
S/16_06-SPT1	2,50-2,95	Ghiaie calcaree sciolte, eterometriche, in matrice limo - argillosa.	37	32	97	>40	-
S/16_06-SPT2	3,50-3,95	Ghiaie calcaree sciolte, eterometriche, in matrice limo - argillosa.	69	60	100	>40	-
S/16_06-SPT3	4,50-4,83	Ghiaie calcaree sciolte, eterometriche, in matrice limo - argillosa.	Rifiuto	Rifiuto	100	>40	-
S/17_06-SPT1	2,50-2,95	Limi con argilla debolmente sabbiosi marroni da molto consistenti a duri, omogenei.	28	24	-	-	106
S/17_06-SPT2	10,50-10,62	Limi con argilla debolmente sabbiosi giallastri da molto consistenti a duri, omogenei	Rifiuto	Rifiuto	-	-	>500
S/17_06-SPT3	15,00-15,45	Limi con argilla debolmente sabbiosi grigio scuri, duri, omogenei, plastici.	34	29	-	-	109
S/18_06-SPT1	2,00-2,18	Ghiaie calcaree sciolte, eterometriche, in matrice limo - argillosa.	Rifiuto	Rifiuto	100	>40	-
S/18_06-SPT2	3,50-3,95	Ghiaie calcaree sciolte, eterometriche, in matrice limo - argillosa.	34	29	88	>40	-
S/18_06-SPT3	7,50-7,95	Limi con argilla debolmente sabbiosi giallastri da molto consistenti a duri, omogenei.	88	76	-	-	501
S/19_06-SPT1	2,00-2,45	Limi con argilla debolmente sabbiosi giallastri da molto consistenti a duri, omogenei.	52	45	-	-	300
S/19_06-SPT2	10,50-10,95	Limi con argilla debolmente sabbiosi giallastri da molto consistenti a duri, omogenei.	44	38	-	-	205
S/1_07-SPT1	2,50-2,95	Sabbia argillosa, giallastra, con ghiaia e livelli ossidati.	12	10	46	32	-
S/1_07-SPT2	8,50-8,95	Sabbia argillosa, giallastra, con ghiaia e livelli ossidati.	48	42	84	>40	-
S/2_07-SPT1	2,50-2,95	Sabbia argillosa, giallastra, con ghiaia e livelli ossidati.	26	23	66	35	-
S/2_07-SPT1	5,50-5,95	Sabbia argillosa, giallastra, con ghiaia e livelli ossidati.	41	36	79	39	-

TABELLA 9b- INTERPRETAZIONE DATI PROVE SPT ESEGUITE

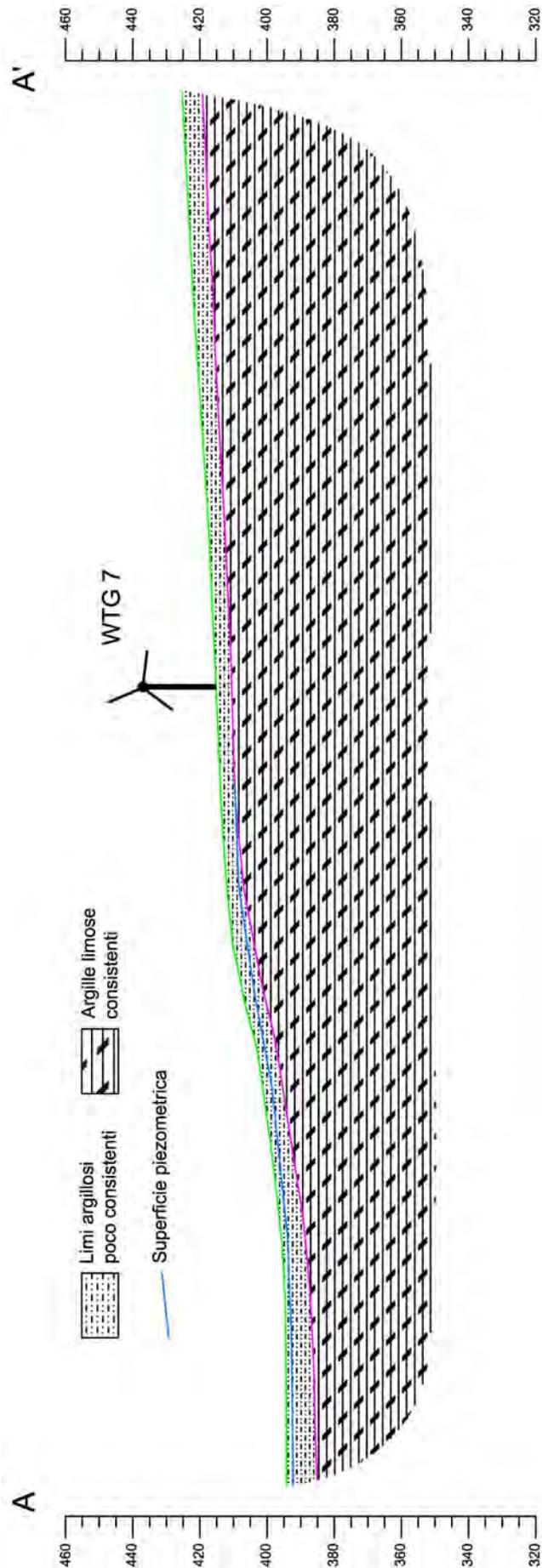


Fig. 15: sezione geologica A-A' - WTG 7

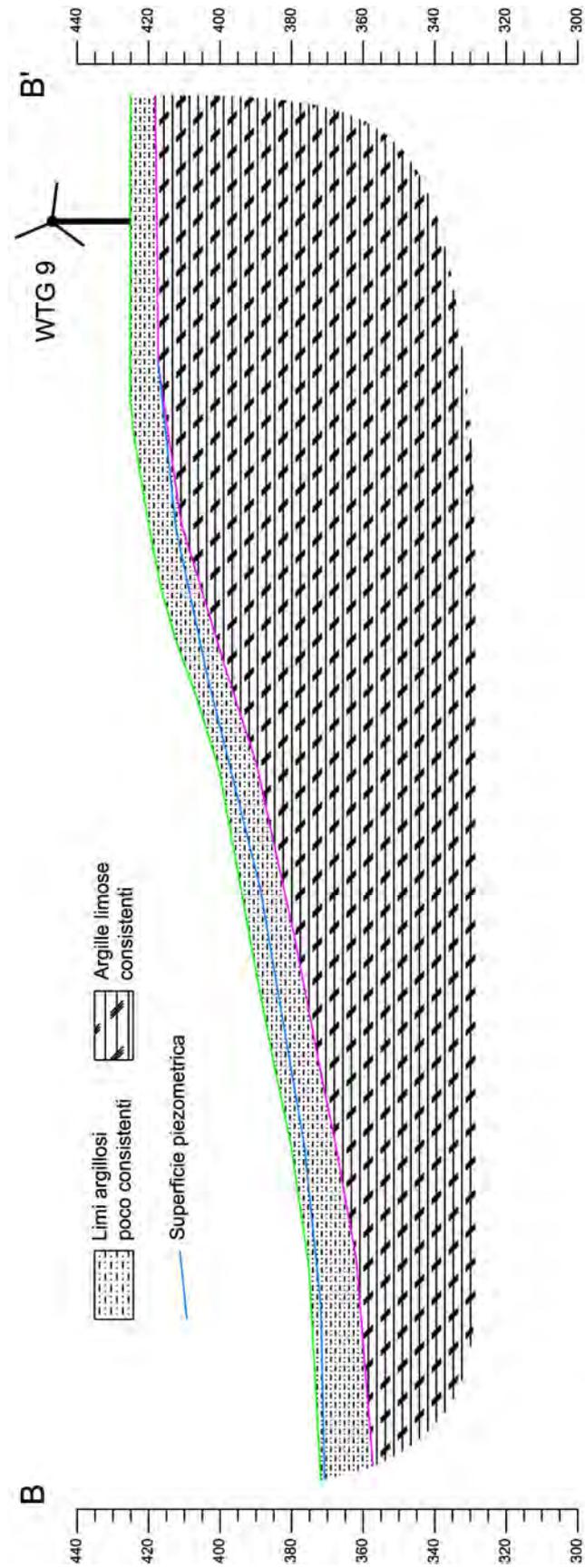


Fig. 16: sezione geologica B-B' - WTG 9

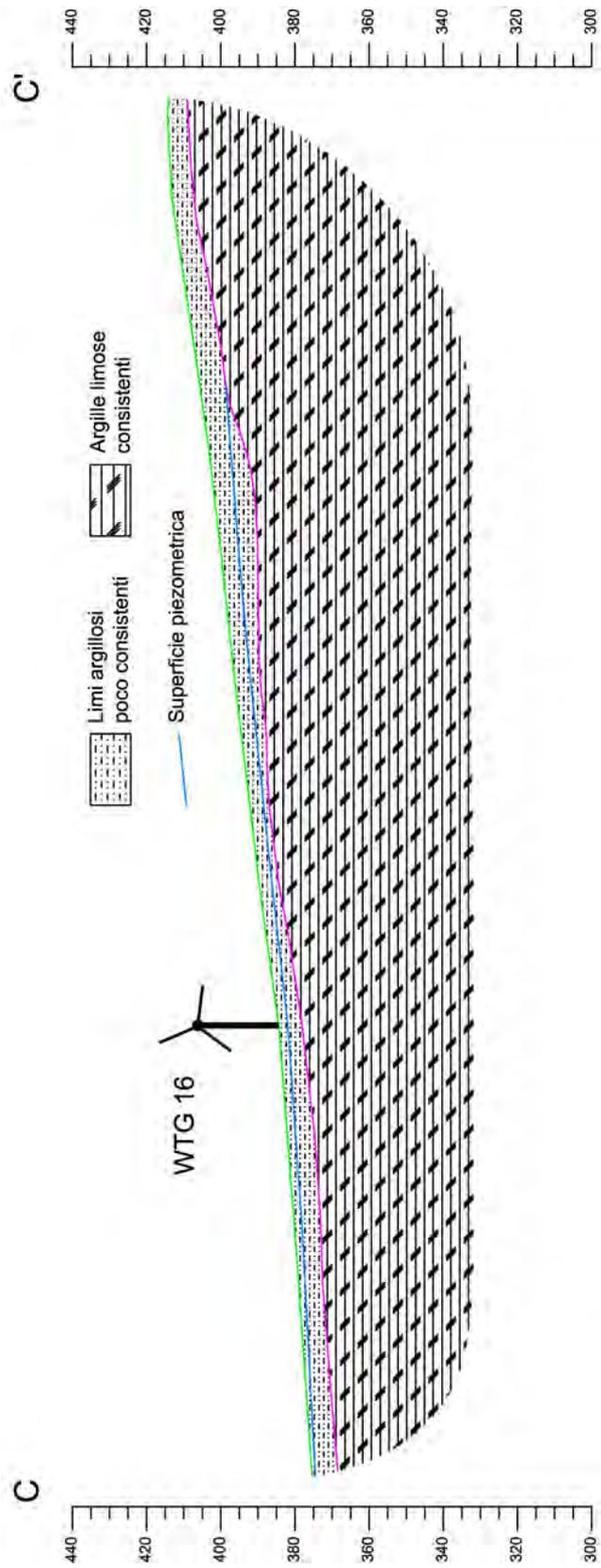


Fig. 17: sezione geologica C-C' - WTG 16

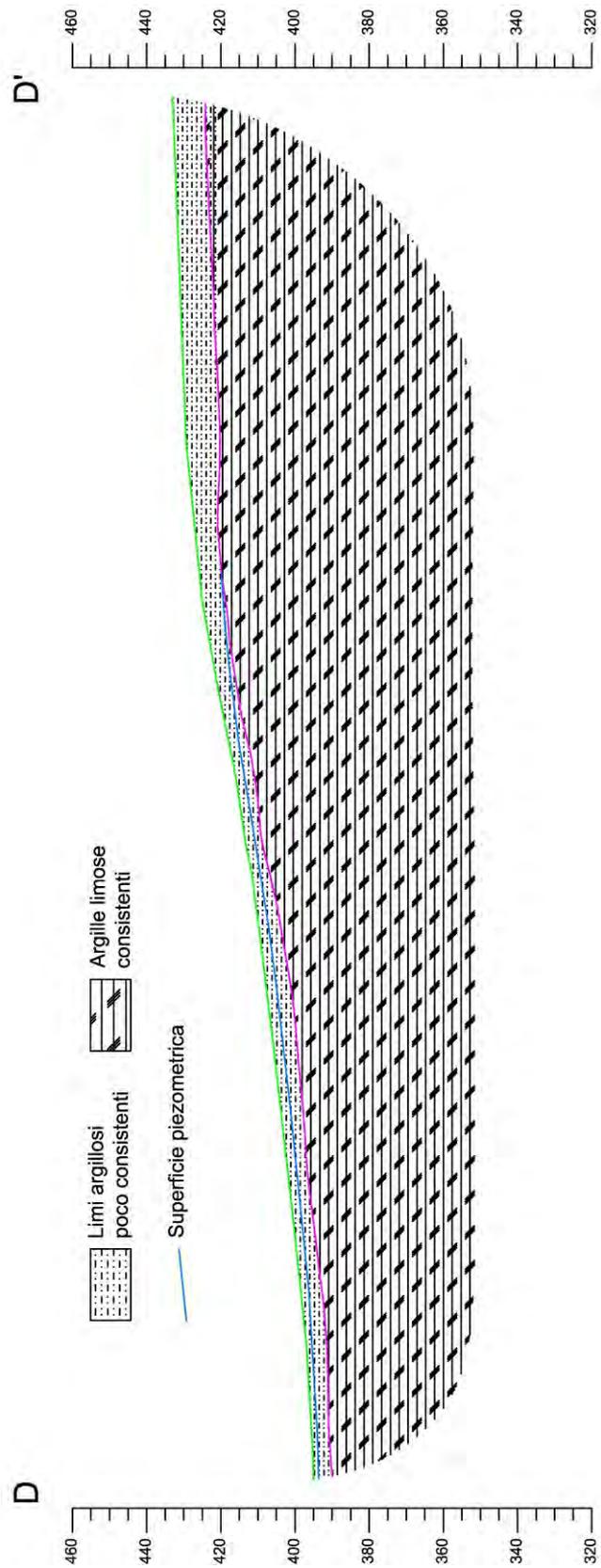


Fig. 18: sezione geologica D-D' - Inizio nuova strada accesso WTG 7-9-16

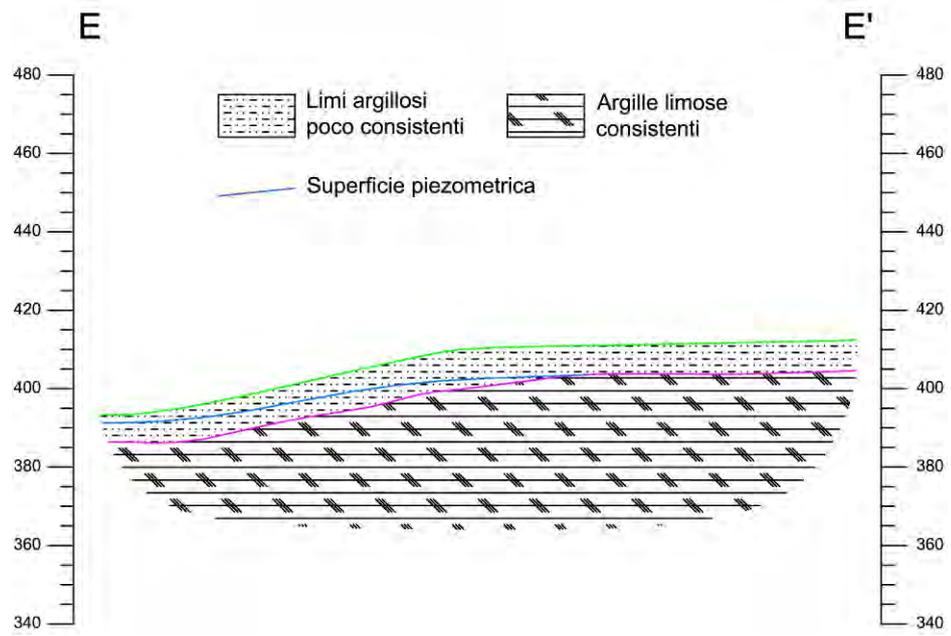


Fig. 19: sezione geologica E-E' - Inizio strada esistente accesso WTG 7-9-16

## 11 VERIFICHE DI STABILITA'

Una verifica di stabilità richiede la presa in considerazione delle equazioni di campo che descrivono il modello del terreno e dei relativi legami costitutivi.

Le prime sono di equilibrio, le seconde descrivono il comportamento del terreno.

Tali equazioni risultano particolarmente complesse in quanto i terreni sono dei sistemi multifase, che possono essere ricondotti a sistemi monofase solo in condizioni di terreno secco, o di analisi in condizioni drenate.

Nella maggior parte dei casi ci si trova a dover trattare un materiale che se saturo è per lo meno bifase, ciò rende la trattazione delle equazioni di equilibrio notevolmente complicata. Inoltre è praticamente impossibile definire una legge costitutiva di validità generale, in quanto i terreni presentano un comportamento non-lineare già a piccole deformazioni, sono anisotropi ed inoltre il loro comportamento dipende non solo dallo sforzo deviatorico ma anche da quello normale.

A causa delle suddette difficoltà vengono introdotte delle ipotesi semplificative:

- (a) si usano leggi costitutive semplificate: modello rigido perfettamente plastico.
- (b) si assume che la resistenza del materiale sia espressa unicamente dai parametri coesione ( $c$ ) e angolo di resistenza al taglio ( $\varphi$ ), costanti per il terreno e caratteristici dello stato plastico; quindi si suppone valido il criterio di rottura di Mohr-Coulomb.
- (c) in alcuni casi vengono soddisfatte solo in parte le equazioni di equilibrio.

Per eseguire una verifica di stabilità la massa potenzialmente interessata dallo scivolamento viene suddivisa in un numero conveniente di conci.

Se il numero dei conci è pari a  $n$ , il problema presenta le seguenti incognite:

- $n$  valori delle forze normali  $N_i$  agenti sulla base di ciascun concio;
- $n$  valori delle forze di taglio  $T_i$  alla base di ciascun concio;
- $(n-1)$  forze normali  $E_i$  agenti sull'interfaccia dei conci;
- $(n-1)$  forze tangenziali  $X_i$  agenti sull'interfaccia dei conci;
- $n$  valori della coordinata  $a$  che individua il punto di applicazione delle  $E_i$ ;

- (n-1) valori della coordinata che individua il punto di applicazione delle  $X_i$ ;
- una incognita costituita dal fattore di sicurezza FS.

Per le seguenti verifiche di stabilità, il versante interessato è stato suddiviso in n. 10 conci.

Le sezioni geologiche riportate nel Capitolo 10 sono state “convertite” in sezioni geotecniche utilizzando i seguenti parametri:

UNITA' GEOTECNICA 1:

- |                             |                         |                           |
|-----------------------------|-------------------------|---------------------------|
| • peso di volume naturale   | $\gamma_{\text{nat}}$ : | 20,0 [kN/m <sup>3</sup> ] |
| • coesione drenata          | $C'$ :                  | 17,0 [kPa]                |
| • angolo di attrito drenato | $\phi'$ :               | 23 [°]                    |
| • coesione non drenata      | $C_u$ :                 | 150 [kPa]                 |
| • modulo di compressibilità | $E'_{98-196}$ :         | 8.000 [kPa]               |
|                             | $E'_{196-392}$ :        | 12.000 [kPa]              |

UNITA' GEOTECNICA 2:

- |                             |                         |                           |
|-----------------------------|-------------------------|---------------------------|
| • peso di volume naturale   | $\gamma_{\text{nat}}$ : | 20,8 [kN/m <sup>3</sup> ] |
| • coesione drenata          | $C'$ :                  | 20,0 [kPa]                |
| • angolo di attrito drenato | $\phi'$ :               | 27 [°]                    |
| • coesione non drenata      | $C_u$ :                 | 300 [kPa]                 |
| • modulo di compressibilità | $E'_{98-196}$ :         | 15.000 [kPa]              |
|                             | $E'_{196-392}$ :        | 25.000 [kPa]              |

Per poter eseguire le verifiche di stabilità in condizioni dinamiche, per la verifica allo stato ultimo SLV, è stata presa in considerazione l'accelerazione orizzontale massima attesa al sito di riferimento rigido  $a_g = a_{\text{max}}/g$ .

Le componenti orizzontale e verticale dell'azione sismica sono state calcolate utilizzando le seguenti relazioni:

$$k_h = \beta_s \cdot \frac{a_{\text{max}}}{g}$$

$$k_v = \pm 0,5 \cdot k_h$$

dove  $\beta_s$  è il coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa in sito, determinato in base alla categoria di sottosuolo ed all'accelerazione  $a_g$ : nel caso specifico è stata usata, cautelativamente, una categoria di sottosuolo C.

I parametri sismici utilizzati sono:

- accelerazione massima attesa  $a_g$ : 0,15
- coefficiente di riduzione  $\beta_s$ : 0,24
- componente orizzontale dell'azione sismica  $k_h$ : 0,036
- componente verticale dell'azione sismica  $k_v$ : 0,018

### 11.1 METODOLOGIA UTILIZZATA PER LE VERIFICHE DI STABILITA'

Per il calcolo del coefficiente di sicurezza è stato utilizzato il metodo di BELL (1968) nel quale le forze agenti sul corpo che scivola includono il peso effettivo del terreno,  $W$ , le forze sismiche pseudostatiche orizzontali e verticali  $k_h W$  e  $k_v W$ , le forze orizzontali e verticali  $X$  e  $Z$  applicate esternamente al profilo del pendio, infine, la risultante degli sforzi totali normali e di taglio  $s$  e  $t$  agenti sulla superficie potenziale di scivolamento.

Lo sforzo totale normale può includere un eccesso di pressione dei pori  $u$  che deve essere specificata con l'introduzione dei parametri di forza efficace.

In pratica questo metodo può essere considerato come un'estensione del metodo del cerchio di attrito per sezioni omogenee precedentemente descritto da *Taylor*.

In accordo con la legge della resistenza di *Mohr-Coulomb* in termini di tensione efficace, la forza di taglio agente sulla base dell' $i$ -esimo concio è data da:

$$T_i = \frac{C'_i L_i + (N_i - u_{ci} L_i) \tan \phi'_i}{FS}$$

in cui:

$FS$  = il fattore di sicurezza;

$C'_i$  = la coesione efficace (o totale) alla base dell' $i$ -esimo concio;

$\phi_i$  = l'angolo di attrito efficace (= 0 con la coesione totale) alla base dell' $i$ -esimo concio;

$L_i$  = la lunghezza della base dell'i-esimo concio;

$u_{ci}$  = la pressione dei pori al centro della base dell'i-esimo concio.

L'equilibrio risulta uguagliando a zero la somma delle forze orizzontali, la somma delle forze verticali e la somma dei momenti rispetto all'origine.

Viene adottata la seguente assunzione sulla variazione della tensione normale agente sulla potenziale superficie di scorrimento:

$$\sigma_{ci} = \left[ C_1(1 - K_z) \frac{W_i \cos \alpha_i}{L_i} \right] + C_2 f(x_{ci}, y_{ci}, z_{ci})$$

in cui il primo termine dell'equazione include l'espressione:

$$W_i \cos \alpha_i / L_i$$

che rappresenta il valore dello sforzo normale totale associato con il metodo ordinario dei conci.

Il secondo termine dell'equazione include la funzione:

$$f = \sin 2\pi \left( \frac{x_n - x_{ci}}{x_n - x_0} \right)$$

dove  $x_0$  ed  $x_n$  sono rispettivamente le ascisse del primo e dell'ultimo punto della superficie di scorrimento, mentre  $x_{ci}$  rappresenta l'ascissa del punto medio della base del concio i-esimo.

Una parte sensibile di riduzione del peso associata con una accelerazione verticale del terreno  $K_z g$  può essere trasmessa direttamente alla base e ciò è incluso nel fattore  $(1 - K_z)$ .

Lo sforzo normale totale alla base di un concio è dato da:

$$N_i = \sigma_{ci} L_i$$

La soluzione delle equazioni di equilibrio si ricava risolvendo un sistema lineare di tre equazioni ottenute moltiplicando le equazioni di equilibrio per il fattore di sicurezza FS, sostituendo l'espressione di  $N_i$  e moltiplicando ciascun termine della coesione per un coefficiente arbitrario  $C_3$ .

Si assume una relazione di linearità tra detto coefficiente, determinabile tramite la regola di Cramer, ed il fattore di sicurezza  $FS$ . Il corretto valore di  $FS$  può essere ottenuto dalla formula di interpolazione lineare:

$$FS = FS(2) + \left( \frac{1 - C_3(2)}{C_3(2) - C_3(1)} \right) (FS(2) - FS(1))$$

dove i numeri in parentesi (1) e (2) indicano i valori iniziale e successivo dei parametri  $FS$  e  $C_3$ .

Qualsiasi coppia di valori del fattore di sicurezza nell'intorno di una stima fisicamente ragionevole può essere usata per iniziare una soluzione iterativa.

Il numero necessario di iterazioni dipende sia dalla stima iniziale sia dalla desiderata precisione della soluzione; normalmente, il processo converge rapidamente.

## 11.2 RISULTATI DELLE VERIFICHE DI STABILITA'

Nella sottostante Tabella sono riportati i fattori di sicurezza  $FS$  ottenuti dalle verifiche di stabilità tramite il software Slope di Geostru.

TABELLA 10 - RISULTATI VERIFICHE DI STABILITA'

VERIFICA	FS
WTG 7	2,40
WTG 9	1,66
WTG 16	3,56
Inizio nuova strada accesso WTG 7-9-16	3,24
Inizio strada esistente accesso WTG 7-9-16	2,33

Nelle Figure da 20 a 24 vengono riportate le sezioni geotecniche, ricavate dalle sezioni geologiche (Figure da 15 a 19) sottoposte a verifica di stabilità, dove sono evidenziate:

- le differenti UNITA' GEOTECNICHE;
- la delimitazione dei n. 10 conci utilizzati nel calcolo della verifica;

- la geometria della superficie della falda (linea blu);
- la geometria della superficie di rottura contraddistinta dal fattore di sicurezza minimo.

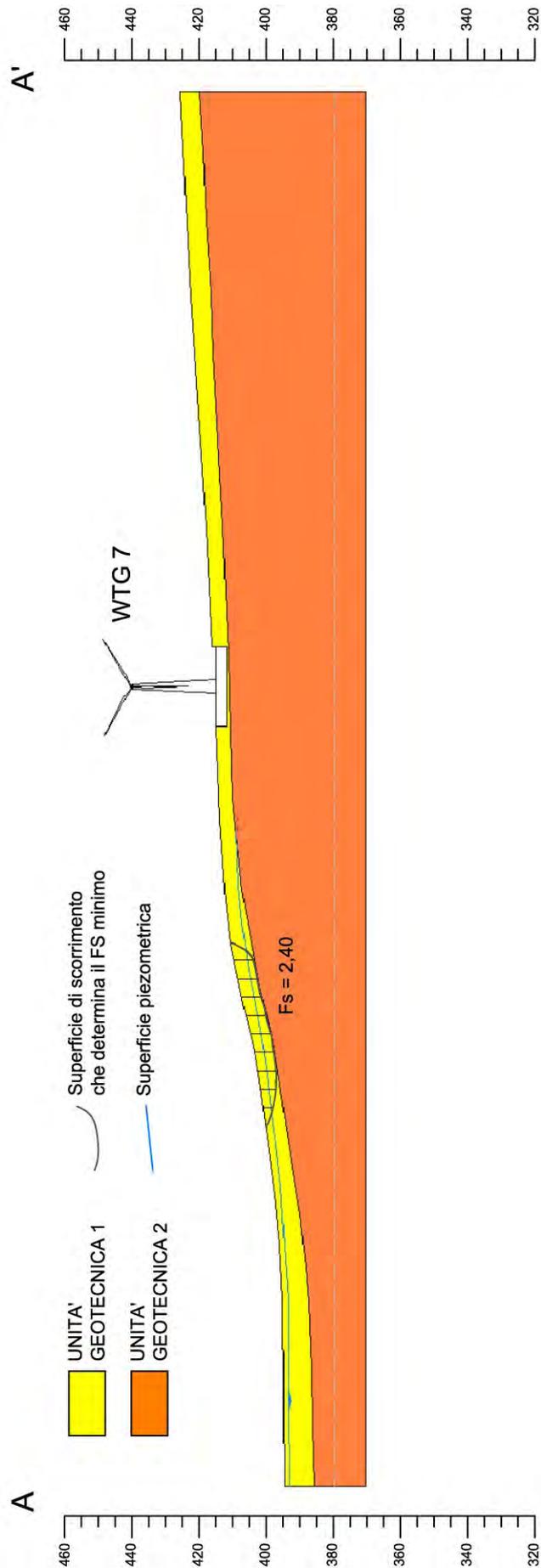


Fig. 20: verifica di stabilità sezione geotecnica A-A' - WTG 7

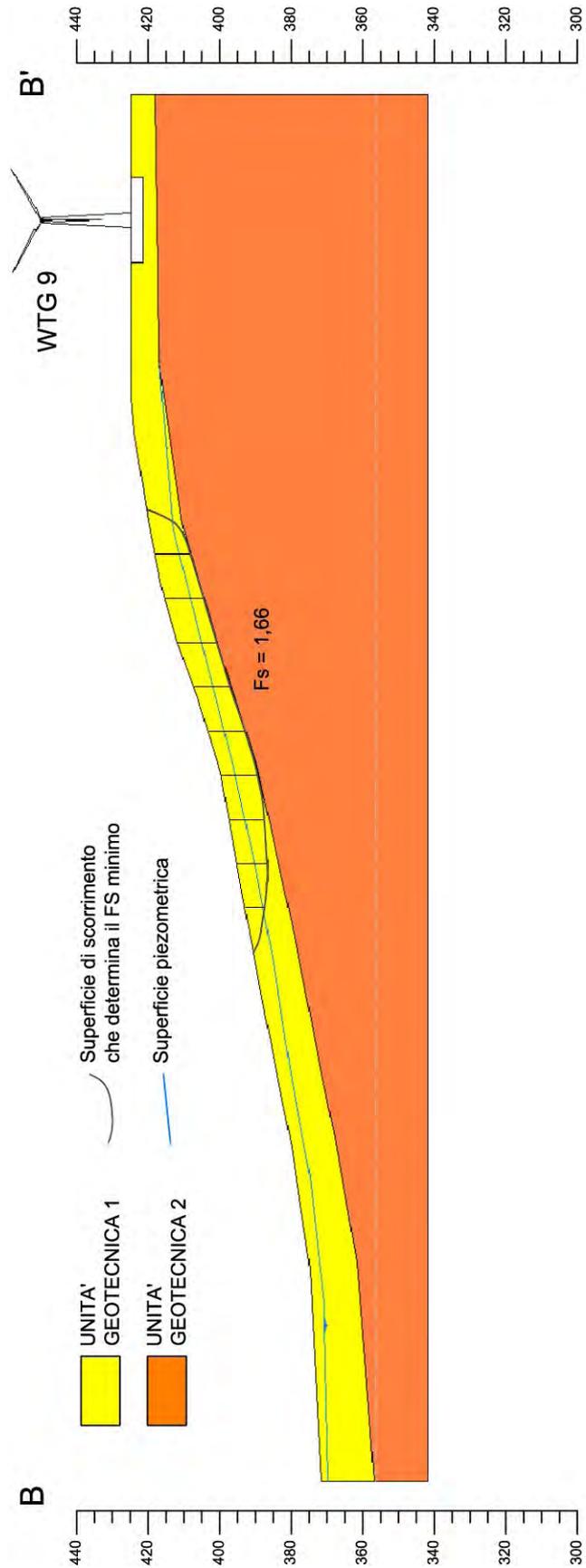


Fig. 21: verifica di stabilità sezione geotecnica B-B' - WTG 9

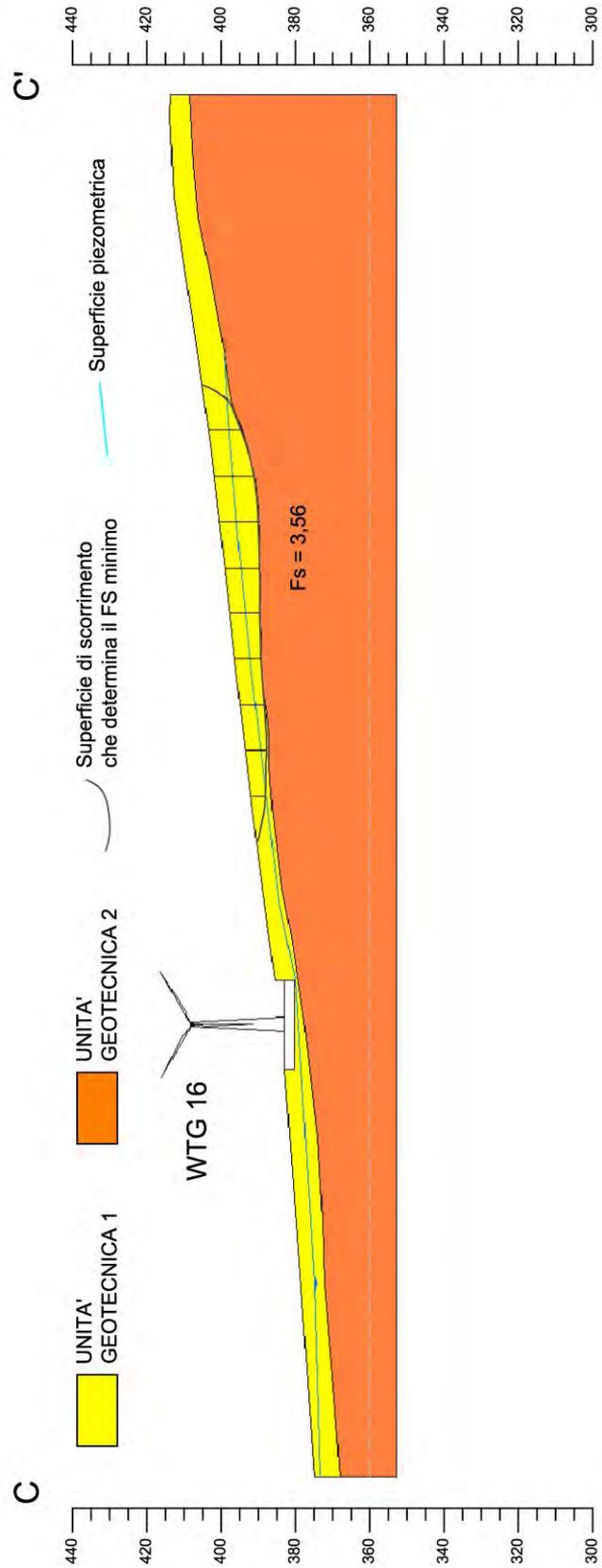


Fig. 22: verifica di stabilità sezione geotecnica C-C' - WTG 16

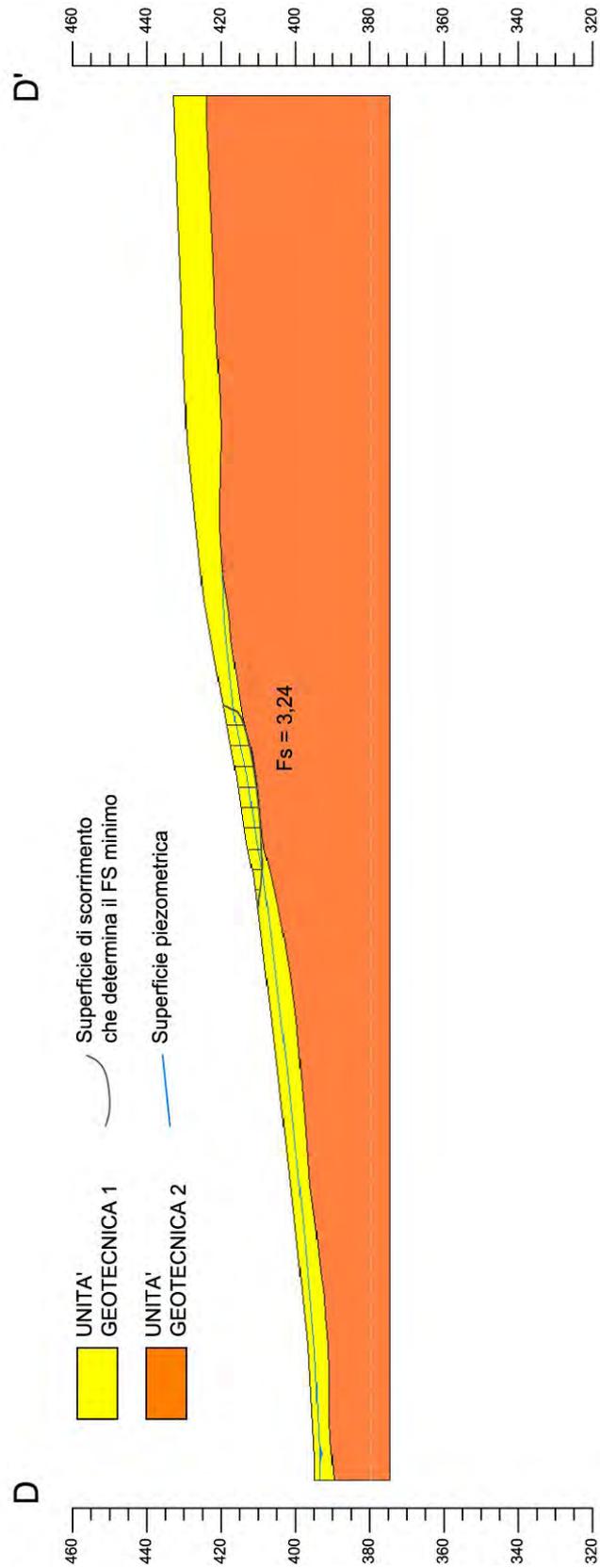


Fig. 23: verifica di stabilita sezione geotecnica D-D' - Inizio nuova strada accesso  
WTG 7-9-16

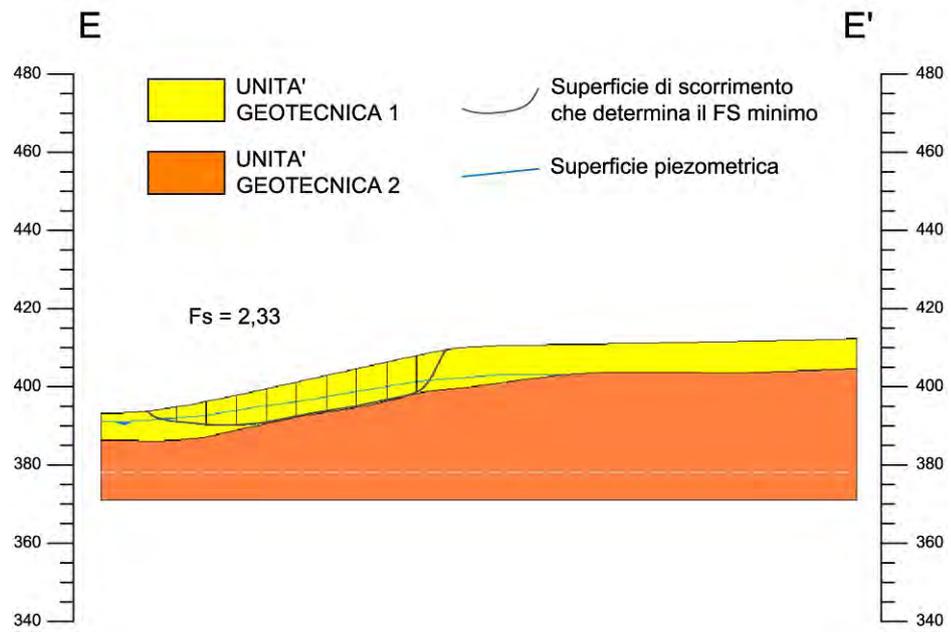


Fig. 24: verifica di stabilita sezione geotecnica E-E' - Inizio strada esistente accesso  
WTG 7-9-16

## 12 CONCLUSIONI

La presente relazione ha come scopo lo studio di compatibilità geologica, geotecnica ed idrogeologica della variante di un progetto proposto dalla società Eolo 3W Sicilia, nella Regione Puglia, relativamente allo sviluppo ed alla realizzazione di un impianto di produzione di energia elettrica da fonte eolica sito nel Comune di Troia (FG).

Per tale iniziativa, avviata nel 2004, è stata conseguita l'Autorizzazione Unica ai sensi dell'art. 12 del D.L.vo 387/2006 con Determinazione Dirigenziale n. 6 del 30 gennaio 2014.

Per quanto riguarda la caratterizzazione geologica e geotecnica riportata nella presente relazione è stato eseguito un apposito rilevamento geomorfologico e sono state visionate le:

- Relazione Geologica per la "Realizzazione di n. 18 alloggi di edilizia residenziale pubblica nella zona P.E.E.P. del Comune di TROIA (FG)" (2015), redatte dalla Dott.ssa Geol. M. De Salvia, per conto del Comune di Troia;
- Relazione Geologica per "l'Elettrodotto aereo 150kV doppia terna S.E. Troia - C.P. Troia - S.E. Troia/EOS 1 ed opere connesse" (2014), redatta dal Dott. Geol. Pietro Lorenzo, per conto di TERNA - Rete Elettrica Nazionale

Inoltre poiché i terreni presenti appartengono al medesimo contesto geologico, quello delle argille plioceniche della Fossa Bradanica, è stato possibile utilizzare i copiosissimi dati provenienti da altre indagini, geognostiche e geofisiche, dirette dallo scrivente, per il progetto esecutivo di un impianto di produzione di energia elettrica da fonte eolica nel vicino Comune di Pietramontecorvino (FG).

Per il presente studio di compatibilità geologica, geotecnica ed idrogeologica relativo alla summenzionata variante di progetto si è reso necessario eseguire n. 5 verifiche di stabilità, n. 3 delle quali, laddove presente un aerogeneratore, *post operam*.

Per tali verifiche di stabilità sono state individuate le seguenti n. 5 sezioni (vedi Figura 9):

- in corrispondenza del versante dove si troverà l'aerogeneratore WTG 7;
- in corrispondenza del versante dove si troverà l'aerogeneratore WTG 9;

- in corrispondenza del versante dove si troverà l'aerogeneratore WTG 16;
- in corrispondenza del versante lungo il quale si sviluppa il tratto iniziale della nuova strada, lungo la quale verrà posato anche il cavidotto, per l'accesso ai futuri aerogeneratori WTG 7, WTG 9 e WTG 16.
- in corrispondenza del versante perpendicolare al tratto iniziale della strada esistente, che verrà adeguata e lungo la quale verrà posato il cavidotto, per l'accesso ai futuri aerogeneratori WTG 7, WTG 9 e WTG 16;

Per quanto riguarda la scelta dei versanti da investigare, è stato adottato il criterio di investigare quelli con pendenza superiore al 15%.

Al fine di ricostruire le sezioni geologiche da sottoporre a verifica di stabilità, sono state utilizzate le informazioni provenienti dai modelli delle velocità sismiche ( $V_p$ ) ottenuti dall'esecuzione di n. 5 prove sismiche a rifrazione (vedi Tabella 2).

Essendo stata già eseguita, nel 2010 e sempre nel corso dell'iter autorizzativo del medesimo Parco Eolico, una campagna di indagini sismiche a rifrazione, è stato possibile utilizzare i risultati di n. 2 delle prove sismiche già eseguite ma, a seguito delle modifiche derivanti dalla variante progettuale, si è reso necessario eseguire appositamente altre n. 3 prove sismiche a rifrazione, a 24 canali, lungo la linea di massima pendenza.

I modelli delle velocità sismiche, ottenuti dalle indagini sismiche a rifrazione, hanno permesso di ricostruire n. 5 sezioni geologiche sulle quali sono state eseguite le n. 5 verifiche di stabilità sopra menzionate.

I risultati delle indagini eseguite evidenziano la presenza di n. 3 litotipi nell'area in esame, il primo dei quali è costituito da concrezioni e crostoni calcarei con ciottolame calcareo in matrice limosa la cui genesi è legata alla presenza di importanti terrazzi marini a chiusura del ciclo trasgressivo plio-pleistocenico.

Quando presente, questa unità, che non interessa mai lo sviluppo del Parco Eolico, mostra spessori variabili che, nell'ambito dei siti d'indagine ("Serra dei Bisi" e "Monte Taverna"), oscillano fra 1,0 m e più di 5,0 m; in eteropia con questi depositi sono presenti delle sabbie giallastre sciolte ("Monte S. Trinità").

Al di sotto di questi depositi clastici sono sempre presenti le argille ed i limi argillosi debolmente sabbiosi delle *argille subappennine* plioceniche (“Unità Bradanica”) che, in base al livello di alterazione (“UNITA’ GEOTECNICA 1 - coltre alterata delle argille plioceniche” ed “UNITA’ GEOTECNICA 2 - argille plioceniche”), possono presentare caratteristiche geotecniche differenti, sebbene tale suddivisione possa non essere completamente rappresentativa delle reali variazioni dei parametri geotecnici, che infatti migliorano gradualmente all’aumentare della profondità.

La coltre di alterazione si presenta di colore marrone chiaro - avana o olivastro, consistente e poco plastica, si dispone come uno strato ammantante la morfologia ed è contraddistinta da caratteristiche geotecniche leggermente più scadenti rispetto la litologia sottostante; lo spessore è fortemente variabile e, nei siti investigati, è compreso tra 5,0 e 12,0 metri.

Le *argille subappennine* plioceniche, che costituiscono il locale *bedrock*, sono rappresentate da argille e limi con argilla di colore grigio, duri, sovraconsolidati, talora marnosi; questo litotipo è caratterizzato da importanti spessori (decine e decine di metri) e da ottimi parametri geotecnici e costituisce anche il letto impermeabile che sostiene una modesta circolazione idrica, talvolta a carattere stagionale, contenuta negli orizzonti più permeabili della coltre di alterazione.

Sulla base delle precedenti indagini, all’interno dei livelli sabbiosi nelle argille plioceniche, si rinviene una falda poco profonda, permeabile per porosità, mentre nei limitati depositi sabbioso-ghiaiosi pleistocenici circola una falda superficiale; tale falda superficiale ha potenzialità estremamente variabili da zona a zona, in base all’interazione con la morfologia.

A seguito delle indagini e delle verifiche di stabilità eseguite, secondo il nuovo layout della variante progettuale proposta, è possibile evincere che la realizzazione del Parco Eolico e delle opere connesse, come da variante proposta, non comporta, né comporterà, in alcun modo fenomeni di instabilità pur ricadendo la sua ubicazione all’interno di “aree a pericolosità geomorfologica media e moderata (PG1)” (vedi Fig. 6).

Il presente studio di compatibilità geologica e geotecnica è stato eseguito secondo quanto disposto dall’art. 15 delle Norme Tecniche di Attuazione del Piano di Bacino

Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI) dell'Autorità di Bacino della Puglia (Legge Regionale del 09/12/2002) approvato in data 30/11/2005 ed aggiornato al 27/02/2017.

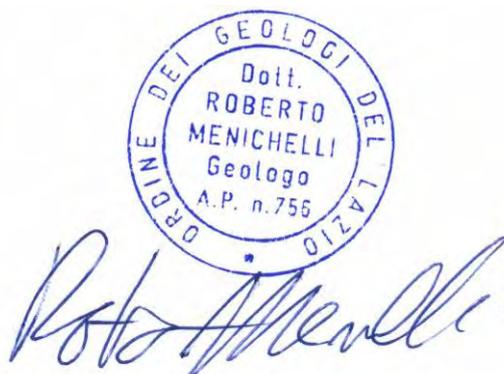
Inoltre, anche se le posizioni previste per gli aerogeneratori e gli assi viari di nuova realizzazione, secondo il nuovo layout della variante progettuale proposta, ricadono parzialmente all'interno della zona tutelata da Vincolo Idrogeologico (vedi Fig. 7), sulla base delle indagini svolte, è possibile affermare che la realizzazione del Parco Eolico, secondo la variante progettuale proposta, non comporterà alcuna interazione con l'ambito idrogeologico locale e che è escluso il rischio di instabilità dei versanti anche dopo la realizzazione delle opere in progetto.

La variante proposta, che comporta l'eliminazione degli aerogeneratori 2, 6, 10 e 14 del progetto approvato e modifica la posizione degli aerogeneratori 3, 5, 9, 12 e 16, rispetto al progetto approvato, allontanandoli dalle aree golenali e posizionandoli in aree dalla morfologia più pianeggiante (vedi foto allegate ad inizio relazione e Fig. 8)), garantisce sicuramente un fattore migliorativo rispetto la stabilità dei versanti, anche *post operam*, riducendo inoltre la quantità di opere accessorie necessarie al progetto.

È quindi possibile concludere che la variante progettuale proposta comporta una ancora maggiore compatibilità geologica, geotecnica ed idrogeologica del progetto stesso rispetto l'ambiente fisico presente.

Il Tecnico

Dott. Geol. Roberto Menichelli



A circular blue ink stamp from the 'Ordine dei Geologi del Lazio' (Order of Geologists of Lazio). The stamp contains the text: 'Dott. ROBERTO MENICHELLI Geologo A.P. n. 756'. Below the stamp is a handwritten signature in blue ink that reads 'Roberto Menichelli'.

Roma, Ottobre 2019