



REGIONE  
LAZIO



COMUNE DI  
CELLENO



COMUNE DI  
MONTEFIASCONE



COMUNE DI  
VITERBO



PROVINCIA DI  
VITERBO

## PROGETTO DEFINITIVO

Impianto di produzione di energia elettrica da fonte eolica "Acquaforte" di potenza in immissione pari a 47.6 MW e relative opere connesse da realizzarsi nei comuni di Celleno, Montefiascone e Viterbo

Titolo elaborato

# Relazione Geologica

Codice elaborato

**F0532FR01B**

Scala

-

Riproduzione o consegna a terzi solo dietro specifica autorizzazione.

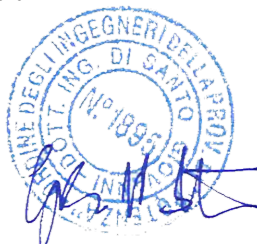
### Progettazione



#### F4 ingegneria srl

Via Di Giura - Centro direzionale, 85100 Potenza  
Tel: +39 0971 1944797 - Fax: +39 0971 55452  
www.f4ingegneria.it - f4ingegneria@pec.it

Il Direttore Tecnico  
(ing. Giovanni DI SANTO)



#### Gruppo di lavoro

Dott. For. Luigi ZUCCARO  
Ing. Giuseppe MANZI  
Ing. Alessandro Carmine DE PAOLA  
Ing. Mariagrazia LOVALLO  
Ing. Gerardo SCAVONE  
Ing. jr. Flavio TRIANI  
Arch. Gaia TELESCA



Società certificata secondo le norme UNI-EN ISO 9001:2015 e UNI-EN ISO 14001:2015 per l'erogazione di servizi di ingegneria nei settori: civile, idraulica, acustica, energia, ambiente (settore IAF: 34).

#### Consulenze specialistiche



Studio di Geologia e GeolIngegneria  
Via del Seminario Maggiore 35  
85100 POTENZA

Dott. Geol. Antonio De Carlo



### Committente

APOLLO Wind s.r.l.  
via della Stazione7  
39100 Bolzano

Data	Descrizione	Redatto	Verificato	Approvato
Maggio 2023	Prima emissione	DE CARLO	GMA	GZU
Gennaio 2024	Integrazione volontaria	DE CARLO	GMA	GZU

File sorgente: **Mascherina Geologo\_\_relazione\_F0532.dwg**



## INDICE

<b>1. PREMESSA .....</b>	<b>2</b>
<b>2. RIFERIMENTI NORMATIVI E CARTOGRAFICI.....</b>	<b>4</b>
<b>3. UBICAZIONE DEI SITI DI PROGETTO .....</b>	<b>5</b>
<b>4. INQUADRAMENTO GEOLOGICO-STRUTTURALE .....</b>	<b>7</b>
<b>5. PRIME CONSIDERAZIONI DI CARATTERE GEOTECNICO.....</b>	<b>13</b>
<b>6. CARATTERIZZAZIONE IDROGEOLOGICA.....</b>	<b>17</b>
<b>7. VALUTAZIONE DEL RISCHIO FRANE ED ALLUVIONE .....</b>	<b>20</b>
<b>8. CARATTERIZZAZIONE MORFOLOGICA ED IDROLOGICA .....</b>	<b>21</b>
<b>9. CONCLUSIONI .....</b>	<b>32</b>

### ALLEGATI:

- F0532FT01B - Planimetria ubicazione indagini
- F0532FT02B - Carta Geologica
- F0532FT03B - Carta Geomorfologica
- F0532FT04B - Carta Idrogeologica
- F0532FT05B - Profili Geologici

## 1. PREMESSA

Per incarico ricevuto dalla società **APOLLO Wind Srl**, lo scrivente ha redatto la relazione definitiva per il progetto per la realizzazione di un **Impianto di produzione di energia elettrica da fonte eolica "Acquaforte" di potenza nominale pari a 47.6 MW e relative opere connesse da realizzarsi nei comuni di Celleno, Montefiascone e Viterbo.**

Il parco in progetto denominato "Acquaforte" sarà costituito da n°7 aerogeneratori della potenza nominale di 6.8 MW ciascuno, con la potenza complessiva in immissione di 47.6 MW, localizzato nei territori comunali di Celleno, Montefiascone e Viterbo in provincia di Viterbo. Per verificare la realizzabilità del progetto in parola nel territorio in cui è stato inserito, si è proceduto in uno studio tale da poter sufficientemente inquadrare sotto il profilo geologico, idrogeologico e geomorfologico l'areale coinvolto dall'intervento al fine di poterne sottoscrivere la fattibilità. Ai fini della rappresentazione preliminare delle caratteristiche geologiche *latu sensu* dell'intera area e, per escludere la presenza di elementi di criticità, il rilevamento geo-morfologico di superficie, coadiuvato dalla fotointerpretazione di foto aeree, si è dimostrato ed è lo studio tematico più appropriato al raggiungimento di tale obiettivo in quanto ha permesso di rilevare e cartografare le Unità Litologiche in affioramento, nonché tutte quelle forme morfoevolutive o contesti idrogeologici meritevoli di attenzione. Chiaramente, una volta appurata l'idoneità geologica e morfologica dei siti di sedime, avendo scartato gli areali con criticità litologica e morfologica, si passerà al successivo grado di approfondimento della progettazione (progetto esecutivo) in cui sarà effettuata la verifica puntuale delle caratteristiche litologiche, dei rapporti stratigrafici (ad esempio tra il substrato alterato ed il substrato s.s., o tra coltri detritiche e substrato), delle caratteristiche geotecniche, idrogeologiche e sismiche dei terreni in affioramento, tramite una corposa campagna di indagini geognostiche dirette ed indirette, nonché di analisi e prove geotecniche di laboratorio, così come programmato e riportato nell'**Allegato A.F.T01: Planimetria ubicazione indagini.**

Con riferimento a quest'ultimo aspetto, ai sensi del cap. 6.12 del D.M. 17/01/2018, in questa fase della progettazione, come già accennato, il rilevamento geologico e geomorfologico effettuato in loco ha confermato macroscopicamente le buone condizioni di stabilità dell'area di sedime del parco eolico.

Nel dettaglio saranno eseguite:

- Indagini geofisiche: n°8 MASW; n°8 sismiche a rifrazione in onda P;
- n°8 Prove penetrometriche (DPSH);
- n°8 Sondaggi geognostici a carotaggio continuo con prelievo di campioni indisturbati da sottoporre ad analisi e prove geotecniche di laboratorio.



Gli elaborati cartografici, prodotti in questa fase, sono riportati nei seguenti allegati:

- F0532FT01B - Planimetria ubicazione indagini
- F0532FT02B - Carta Geologica
- F0532FT03B - Carta Geomorfologica
- F0532FT04B - Carta Idrogeologica
- F0532FT05B - Profili Geologici

## 2. RIFERIMENTI NORMATIVI E CARTOGRAFICI

Nella redazione della presente relazione si è fatto riferimento alla normativa vigente ed alla documentazione cartografica e bibliografica esistente, di seguito riportate:

### ▪ Normativa di riferimento nazionale:

- Regio Decreto Legislativo 30 dicembre 1923, n.3267 "Riordinamento e riforma della legislazione in materia di boschi e terreni montani";
- L.N. n.64/74 - Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche;
- D.M. 11.03.1988 - Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione;
- D.P.R. n.380/2001 - Testo unico delle disposizioni legislative e regolamentari in materia edilizia;
- O.P.C.M. n.3274/2003 – Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica;
- D.M. 14.09.2005 - Norme Tecniche per le Costruzioni;
- O.P.C.M. n.3519/2006 - Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone;
- D.M. LL.PP. del 14.01.2008 - Testo Unitario - Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni;
- Circolare del C.S.LL.PP. n° 7 del 21.01.2019 - Istruzioni per l'applicazione dell'Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni;
- D.M. del 17.01.2018 - Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni".

### ▪ Normativa di riferimento regionale:

- DM **219** del 10/09/2010 - Linee guida per l'autorizzazione degli impianti alimentati da fonti Rinnovabili;
- Piano Territoriale Paesistico Regionale del Lazio approvato con Deliberazione del Consiglio Regionale n. 5 del 21 Aprile 2021;
- Norme di Attuazione - Piano di Bacino Stralcio Assetto Idrogeologico (PAI) - Autorità di Bacino distrettuale dell'Appennino Centrale - Bacino del Fiume Tevere.

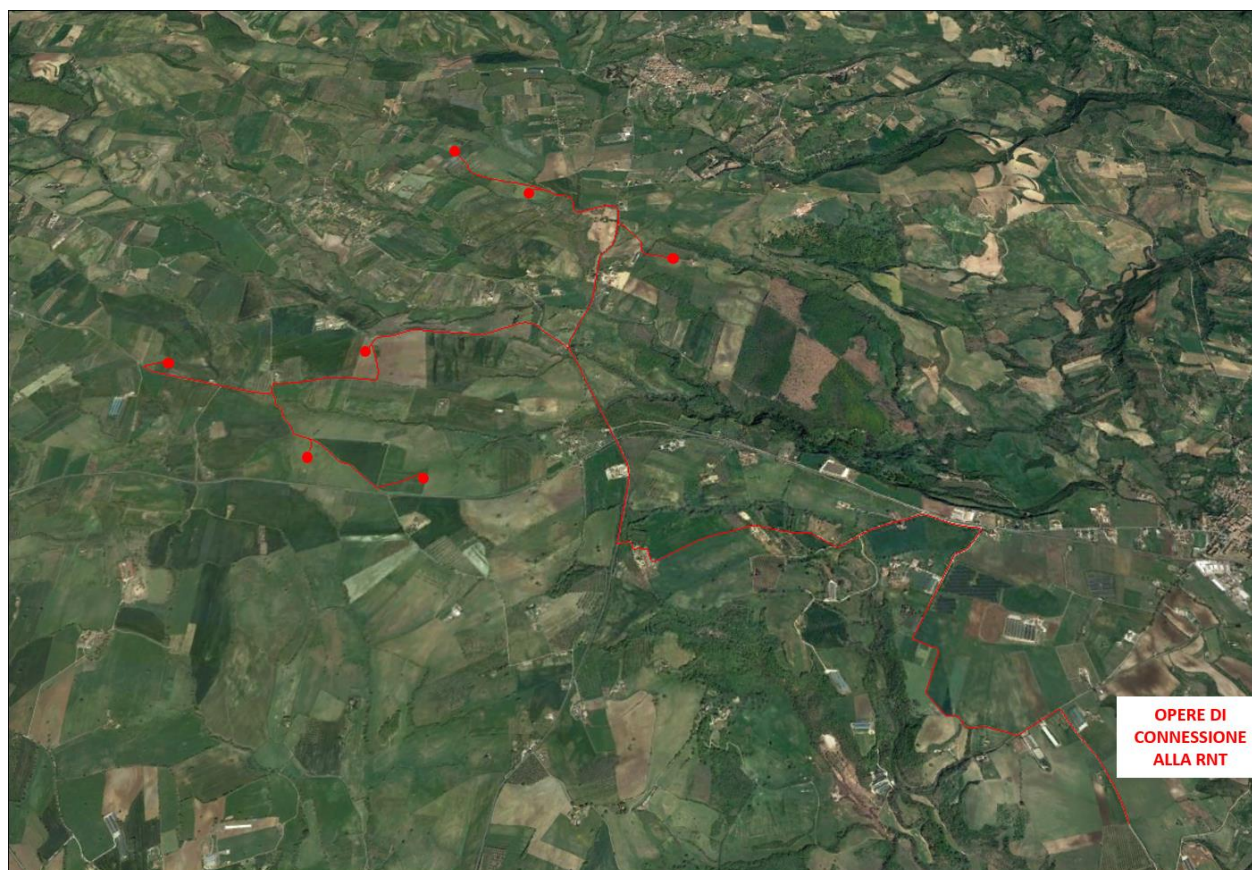
### ▪ Riferimenti cartografici e bibliografici:

- Foglio 137 "Viterbo" della Carta Geologica d'Italia (scala 1:100.000);
- Foglio 345 "Viterbo" della Carta Geologica d'Italia (scala 1:50.000) e "Note Illustrative";
- Tavole 126 e 127 del Piano di Bacino Stralcio Assetto Idrogeologico (PAI) - Autorità di Bacino distrettuale dell'Appennino Centrale - Bacino del Fiume Tevere (scala 1:10.000);
- Consultazione del GEOPORTALE dell'ABDAC.



### 3. UBICAZIONE DEI SITI DI PROGETTO

L'area interessata dalla realizzazione dell'**Impianto di produzione di energia elettrica da fonte eolica "Acquaforte"** di potenza nominale pari a 47.6 MW e relative opere connesse da realizzarsi nei comuni di **Celleno, Montefiascone e Viterbo** è situata in una porzione di territorio piuttosto vasta situata nella Regione Lazio, in provincia di Viterbo; essa presenta una variabilità topografica e altimetrica attestandosi fra 200 m s.l.m. ed i 400 m s.l.m., destinata principalmente a colture agrarie.



**Fig 01:** Inquadramento su ortofoto dei siti d'imposta degli aerogeneratori e delle opere di connessione alla RNT

Le coordinate dei siti d'imposta degli aerogeneratori secondo il datum WGS84 fuso 33, sono le seguenti (Tab. 1):

AEROGENERATORE WTG	WGS84	
	LONG	LAT
T01	12.104801°	42.551440°
T02	12.112489°	42.547419°
T03	12.125550°	42.540528°
T04	12.107158°	42.522306°
T05	12.085265°	42.530963°
T06	12.100753°	42.531824°
T07	12.098218°	42.523821°

**Tabella 1:** Coordinate dei siti d'imposta degli aerogeneratori



Dal punto di vista cartografico il sito ricade all'interno del Foglio 137 "Viterbo" della Carta Geologica d'Italia in scala 1:100.000, Foglio 345 "Viterbo" della Carta Geologica d'Italia in scala 1:50.000, Tavole 126 e 127 del Piano di Bacino Stralcio Assetto Idrogeologico (PAI) - Autorità di Bacino distrettuale dell'Appennino Centrale - Bacino del Fiume Tevere (scala 1:10.000) e attraverso la cartografia presente sul geoportale dell'Autorità di Bacino distrettuale dell'Appennino Centrale.

#### 4. INQUADRAMENTO GEOLOGICO-STRUTTURALE

L'area oggetto di studio ricade all'interno del Foglio 345 "Viterbo" della Carta Geologica d'Italia (scala 1:50.000). In una visione a scala regionale i fenomeni geologico-strutturali che hanno interessato la fascia tirrenica, sono riconducibili alla fase distensiva post orogenetica appenninica, durante la quale si è avuta la formazione delle strutture estensionali ad horst e graben, con sistemi di faglie normali e/o trastensive a direzione prevalente NW-SE ed immersione SW, che hanno interessato sia le successioni carbonatico-silicomarnose e terrigene, di età Meso-Cenozoica, che quelle appartenenti alle unità tettonico-sedimentarie Toscane-Liguri ed Umbro-Sabine. In corrispondenza dei bassi strutturali hanno avuto luogo fenomeni di sedimentazione di ambiente marino, di transizione o continentale (Plio-Pleistocene), con la messa in posto di importanti spessori di depositi terrigeni. A partire dal Pleistocene superiore, i processi tettonici orogenetici e post-orogenetici, che hanno determinato un sensibile assottigliamento crostale, hanno consentito la risalita di notevoli quantità di magmi con la conseguente origine della Provincia vulcanica Tosco-Laziale.

Nel dettaglio l'area di studio, ricade nella Media Valle del Tevere, strutturalmente corrispondente a gran parte del graben Paglia-Tevere. L'area è stata soggetta ad una prima fase compressiva sin-orogenetica, attiva nel Miocene superiore e, successivamente, ad una fase estensionale attiva dal tardo Pliocene inferiore che portò alla formazione del graben suddetto. In quest'ultima fase, contemporanea alla massima fase ingressiva del Mar Tirreno, i bacini estensionali in formazione, furono colmati da successioni prevalentemente silico-clastiche di ambiente marino-palustre, aventi spessori variabili da 300 a circa 1000 metri. Processi tettonici legati alla fase distensiva, attivi dal Pliocene Inferiore al Pleistocene medio, legati a faglie normali e trascorrenti ed alla presenza di fratture sub verticali, con direzione prevalente SW-NE, hanno controllato la messa in posto di corpi magmatici e la conseguente attività vulcanica. Infatti, ha dato luogo nel tempo ad imponenti ed estese manifestazioni effusive con produzione di una grande varietà di prodotti vulcanici (lave, ignimbriti, piroclastiti) che testimoniano un'attività iniziata nel Pleistocene e che ancora oggi continua sotto forma di fenomeni minori, quali idrotermalismo e solfatare: essa è legata all'attività di numerosi nuclei di emissione. Oltre a questi centri eruttivi maggiori si rileva la presenza di numerosi nuclei eruttivi secondari, posti in posizione eccentrica e periferica disseminati in tutto l'apparato vulcanico Vulsino.

La formazione della depressione, ad oggi occupata per larga parte dal bacino lacustre, è stata determinata sia dallo svuotamento della camera magmatica ed al conseguente collasso topografico, sia dalla presenza di sistemi di faglie regionali che, se in una prima fase hanno favorito la risalita dei



magmi, poi, in seguito, nella fase terminale dell'attività effusiva, ne hanno controllato e favorito l'avvallamento morfologico.

#### 4.1 Inquadramento geo-litologico locale

L'area di progettazione, posta a ESE rispetto al bacino lacustre del lago di Bolsena, da un punto di vista geo-litologico risulta posizionato al margine orientale degli affioramenti delle vulcaniti Vulsine che si trovano in contatto con le più antiche formazioni sedimentarie Plio-Pleistoceniche.

La ricostruzione litostratigrafica, scaturita dal rilevamento geologico di superficie esteso ad un'area più ampia rispetto a quella strettamente interessata dal progetto in epigrafe, ha messo in evidenza che le caratteristiche peculiari delle formazioni, come anche riportato nella Carta Geologica in scala 1:5.000 (**Elaborato F0532FT02B - Carta Geologica**) e schematizzato nell'elaborato Profili Geologici (**F0532FT05B - Profili Geologici**) sono, dall'alto verso il basso stratigrafico, quelle di seguito descritte:

##### a) DEPOSITO ALLUVIONALE

Ghiaie eterogenee ed eterometriche ben arrotondate con matrice sabbioso-pelitica, alternate a sabbie limose, talora con rari livelli di torba e paleosuoli. Lo spessore massimo è dell'ordine di 20-25 m

##### b) TUFO ROSSO A SCORIE NERE VICANO (WIC) (*Pleistocene Medio*)

Depositi costituito da uno strato basale di pomice fonolitiche da caduta, seguito da depositi cineritici massivi di colata piroclastica in più unità di flusso: una unità basale, di limitata dispersione, a pomice chiare fonolitiche e altre unità a scorie nere porfiriche a Lct e Sa in facies *sillar* e/o pozzolanacea. In aree prossimali predominano facies ricche in frammenti litici e scarsa matrice che, nei settori distali, passano a facies di flusso piroclastico a matrice cineritica inglobante pomice fonolitiche, scorie e frammenti lavici.

##### c) MEMBRO DI PRATO LEVA (KCC<sub>2</sub>) (*Pleistocene Medio*)

Lava di colore grigio-scuro a grana fine, molto compatta, a grossi fenocristalli di Lct e più scarsi Cpx verdi, con un livello scoriaceo decimetrico di base. La lava è una leucite tefritica. Ha uno spessore di 3 m.

##### d) GRUPPO DI ZEPPONAMI (XS) (*Pleistocene Medio*)

Tale Unità Formazionale rappresenta il sedime di fondazione degli aerogeneratori T05 e T06 oltre al relativo cavidotto ed alla viabilità. È costituita da depositi piroclastici grigi, da alternanze di ceneri e lapilli, generalmente stratificati, di caduta da attività stromboliana e da depositi distali in banconi riferibili a flussi piroclastici di origine idromagmatica. I prodotti sono caratterizzati dalla presenza di inclusi

generalmente lavici di dimensioni variabili da pluridecimetriche a centimetriche in funzione della distanza dal centro vulcanico di Montefiascone. Nei settori distali le strutture dei depositi cambiano per cui da facies di *pyroclastic flow* si può passare a facies di *debris flow* a addirittura facies di *mud flow*. Al di sotto del gruppo è presente l'orizzonte marker di pomici da eruzione pliniana di "Ospedaletto". Il gruppo corrisponde ai Tufi Superiori di Montefiascone. Lo spessore di questi depositi è massimo nei settori prossimali (fino a 30 m) e si riduce notevolmente (qualche m) nei settori più distali.

e) **FORMAZIONE DI MONTE VARECCHIA (KMV)** (*Pleistocene Medio*)

Lave (KMVa) e scorie (KMVb) dei centri di Monte Varcchia, Giranesi, Monte Rosso e Monte Moro. Le lave sono grigio-scure, compatte, con rari fenocristalli di Cpx e Lct. Le lave sono leucititi tefritiche. Sono sciolte, a vescicolazione media e densità elevata, da centimetriche a decimetriche, in banconi spessi 6 m per una potenza complessiva di 60 m, con intercalato un livello di scorie risedimentate.

f) **GRUPPO DI FASTELLO (XM)** (*Pleistocene Medio*)

Tale Unità Formazionale rappresenta il sedime di fondazione degli aerogeneratori T01, T02 e T07 oltre al relativo cavidotto ed alla viabilità. Successione piroclastica stratificata costituita da banconi metrici massivi di cineriti grigio-chiare, sciolte o litoidi, ricche di lapilli accrezionali, di origine prevalentemente idromagmatica: cineriti a struttura planare in alternanze cicliche, costituiscono la base del deposito. La parte superiore è formata da livelli cineritici a struttura planare e massiva e cineriti a lapilli accrezionali. L'unità presenta uno spessore complessivo di 30 m.

g) **UNITÀ DI GROTTA S. STEFANO (UGS)** (*Pleistocene Medio*)

Tale unità rappresenta il sedime di fondazione della SSE in progetto. È costituita da Travertino lapideo con facies fitoclastica, fitoermale e pisolitica e sabbie travertinose in strati spessi e molto spessi fino a megastrati, talora con intercalazioni di diatomiti e piroclastiti epiclastiche scure; localmente i travertini formano strutture aggettanti da cascata. Si possono trovare in parziale eteropia all'interno dell'Unità del Torrente Vezza (successione di depositi sedimentari di natura vulcanoclastica) in strati o lenti non cartografabili. Ambiente palustre di piana alluvionale, talora connesso a risalite idrotermali. Spessore affiorante fino ad un massimo di circa 40 m.

h) **LAVE DI RIO MALNOME (KRM)** (*Pleistocene Medio*)

Tale Unità Formazionale rappresenta il sedime di fondazione degli aerogeneratori T04. Lave di colore grigio-scuro, compatte, con fenocristalli di Lct e Cpx. Le lave sono leucititi tefritiche. Si tratta di più colate laviche. Le colate mostrano uno spessore che varia da 15 m a qualche metro.

**i) UNITÀ DEL TORRENTE VEZZA (TZV) (*Pleistocene Medio*)**

Costituita da una successione di depositi sedimentari di natura prevalentemente vulcanoclastica, costituiti principalmente da sabbie, limi e ghiaie in lamine e livelli a stratificazione plano-parallela e talora incrociata, e in banchi massivi. Ai depositi vulcanoclastici si associano diffusi strati diatomitici, a volte con la presenza di frustoli vegetali, orizzonti pedogenizzati e lenti o livelli travertinosi, questi ultimi attribuibili all'Unità di Grotte S. Stefano, in parziale eteropia. All'interno della successione talora si intercalano orizzonti vulcanoclastici primari pomicei e di cineriti massive di provenienza vulsina e vicana. Così pure l'unità si può trovare intercalata alla successione dei tufi appartenenti al Gruppo di Civita di Bagnoregio come lenti e livelli piroclastici risedimentati. Il deposito spesso si presenta come un'alternanza di strati di natura diversa che si riflette in un cambiamento di colore, dal bianco lattiginoso delle diatomiti al grigiastro dei livelli vulcanici e all'ocraceo dei livelli epiclastici o ossidati. L'ambiente di deposizione è di tipo essenzialmente lacustre-palustre e localmente torrentizio sviluppatosi in bacini di origine presumibilmente tettonica. Raggiungono uno spessore di oltre 70 m.

**l) GRUPPO DI CIVITA DI BAGNOREGIO (XV) (*Pleistocene Medio*)**

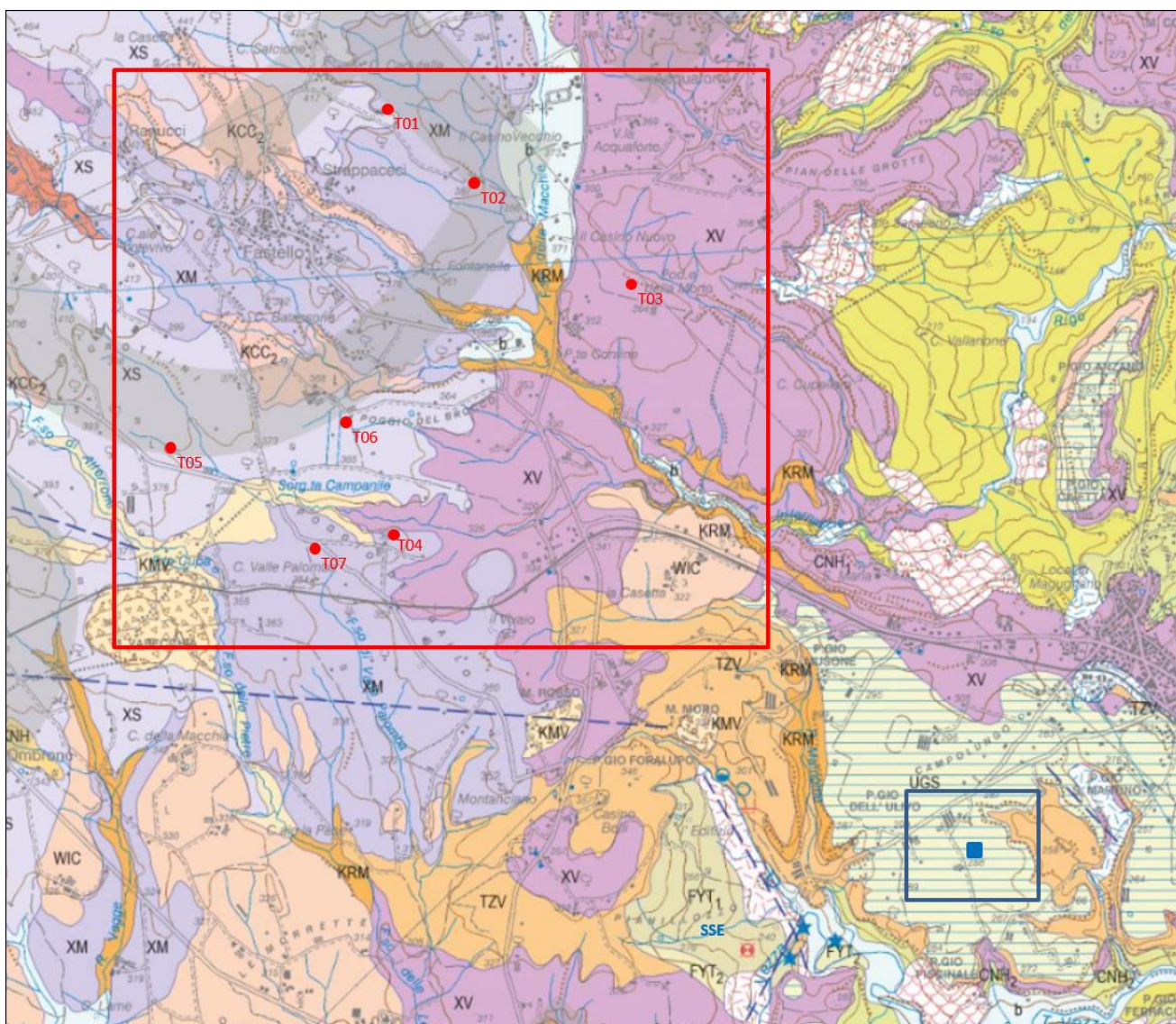
Tale Unità Formazionale rappresenta il sedime di fondazione dell'aerogeneratore T03 oltre al relativo cavidotto ed alla viabilità. Costituita da un'alternanza di banconi di pomici bianche, strati di scorie, livelli di ceneri grossolane bianche o marroni, strati di ceneri grigie ricche di litici, ceneri grigie lapidee e banconi metrici compatti a matrice micropomicea, mal classati e mal gradati, a stratificazione suborizzontale. Questi livelli sono separati da paleosuoli neri o marroni, più raramente da superfici di erosione. Localmente sono presenti livelli piroclastici risedimentati, laminati o sottilmente stratificati, per lo più cineritici, di colore grigio chiaro o biancastro e livelli diatomitici; talvolta si intercalano livelli pomicei primari di provenienza vicana afferenti ai Tufi stratificati varicolori Vicani. La composizione delle pomici è trachifonolitica; quella delle scorie varia da tefritica a leucitica. Lo spessore dei livelli varia da alcuni metri nei settori prossimali ai centri di emissione a pochi decimetri nei settori distali. Gli spessori massimi osservati non superano i 50 m.

Il cavidotto e la relativa viabilità attraversa diverse unità formazionali quali i Depositi Alluvionali, il Gruppo di Zepponami la Formazione di Monte Varecchia, il Gruppo di Fastello, l'Unità di Grotte S. Stefano, le lave di Rio Malnome, l'Unità del Torrente Vezza e il Gruppo di Civita di Bagnoregio.



Si rimanda al successivo grado di approfondimento della progettazione (progetto esecutivo) la verifica puntuale delle caratteristiche litologiche e stratigrafiche dei terreni di sedime, tramite sondaggi geognostici a carotaggio continuo, indagini geotecniche in situ ed indagini sismiche a rifrazione in onda P e del tipo Masw, al fine di una ricostruzione dettagliata del modello litotecnico del sedime di fondazione di ogni opera da realizzare.

Di seguito si riporta lo stralcio del Foglio 345 "Viterbo" della Carta Geologica d'Italia (scala 1:50.000) con l'ubicazione dell'area di progettazione (Fig 02).



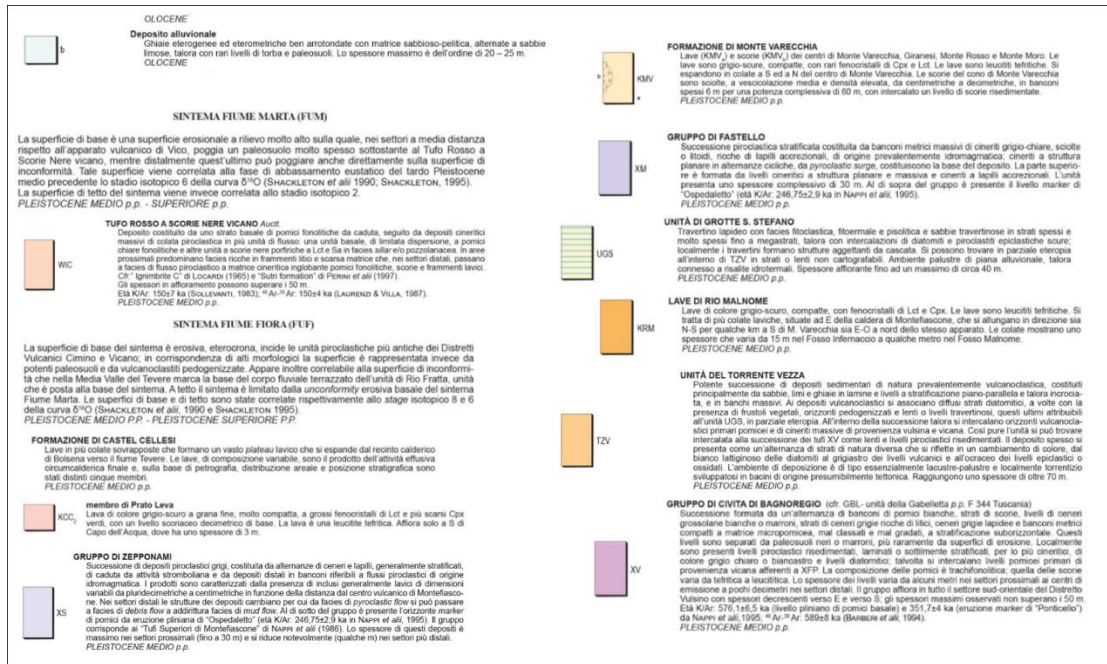


Fig. 02: Stralcio del Foglio 345 "Viterbo" della Carta Geologica d'Italia, scala 1:50.000 relativo al sito di progetto (in rosso area di imposta degli aereogeneratori ed in blu area di imposta della sottostazione)

## 5. PRIME CONSIDERAZIONI DI CARATTERE GEOTECNICO

Al fine di dare solo delle prime indicazioni sulle caratteristiche geotecniche dei terreni in affioramento, in questo capitolo ne saranno riportati i principali parametri fisico-meccanici che scaturiscono da considerazioni macroscopiche effettuate sugli affioramenti in campagna e dalla letteratura tecnica specializzata. Tali parametri devono essere impiegati con estrema cautela in qualsiasi calcolo geotecnico, anche se preliminare, in quanto non è possibile prescindere dalla stratimetria delle singole litofacies descritte nel precedente capitolo, dal loro rapporto stratigrafico, dal loro comportamento sismoelastico. Pertanto, le suddette indicazioni devono ritenersi valide nei limiti che questa prima fase cognitiva pone, ovvero acquisizione di dati e notizie preliminari.

Perciò si rimanda al successivo grado di approfondimento della progettazione (progetto esecutivo) la verifica puntuale delle caratteristiche stratigrafiche, litologiche, geotecniche, idrogeologiche, sismiche dei terreni di sedime, tramite un'idonea e ragionata campagna di indagini geognostiche dirette ed indirette, che potrà confermare o meno quanto si espone di seguito:

a) **UNITÀ LITOTECNICA 1: DEPOSITO ALLUVIONALE:** Ghiaie eterogenee ed eterometriche ben arrotondate con matrice sabbioso-pelitica, alternate a sabbie limose, talora con rari livelli di torba e paleosuoli. Lo spessore massimo è dell'ordine di 20-25 m:

$\gamma_{n\ k}$ (t/m <sup>3</sup> )	$\gamma_{sat\ k}$ (t/m <sup>3</sup> )	$\phi'_{k}$ (gradi)	$C_{k'}$ (t/m <sup>2</sup> )
1.90	2.05	30	0.00

b) **UNITÀ LITOTECNICA 2: TUFO ROSSO A SCORIE NERE VICANO**

Depositi costituito da uno strato basale di pomice fonolitiche da caduta, seguito da depositi cineritici massivi di colata piroclastica in più unità di flusso: una unità basale, di limitata dispersione, a pomice chiare fonolitiche e altre unità a scorie nere porfiriche in facies sillar e/o pozzolanacea:

$\gamma_{n\ k}$ (t/m <sup>3</sup> )	$\gamma_{sat\ k}$ (t/m <sup>3</sup> )	$\phi'_{k}$ (gradi)	$C_{k'}$ (t/m <sup>2</sup> )
1.80	1.90	24	1.00



**c) UNITÀ LITOTECNICA 3: MEMBRO DI PRATO LEVA**

Lava di colore grigio-scuro a grana fine, molto compatta, a grossi fenocristalli, con un livello scoriaceo decimetrico di base. La lava è una leucite tefritica. Ha uno spessore di 3 m:

$\gamma_{nk}$ (t/m <sup>3</sup> )	$\gamma_{sat k}$ (t/m <sup>3</sup> )	$\varphi'_k$ (gradi)	$C'_k$ (t/m <sup>2</sup> )
1.95	2.10	30	5.00

**d) GRUPPO DI ZEPPONAMI**

È costituita da depositi piroclastici grigi, da alternanze di ceneri e lapilli, generalmente stratificati, di caduta da attività stromboliana e da depositi distali in banconi riferibili a flussi piroclastici di origine idromagmatica. I prodotti sono caratterizzati dalla presenza di inclusi generalmente lavici di dimensioni variabili da pluridecimetriche a centimetriche:

$\gamma_{nk}$ (t/m <sup>3</sup> )	$\gamma_{sat k}$ (t/m <sup>3</sup> )	$\varphi'_k$ (gradi)	$C'_k$ (t/m <sup>2</sup> )
1.90	2.00	28	1.00

**e) FORMAZIONE DI MONTE VARECCHIA**

Lave e scorie dei centri di Monte Varcchia, Giranesi, Monte Rosso e Monte Moro. Le lave sono grigio-scure, compatte, con rari fenocristalli. Le lave sono leucitite tefritiche. Sono sciolte, a vescicolazione media e densità elevata, da centimetriche a decimetriche, in banconi spessi 6 m per una potenza complessiva di 60 m, con intercalato un livello di scorie risedimentate:

$\gamma_{nk}$ (t/m <sup>3</sup> )	$\gamma_{sat k}$ (t/m <sup>3</sup> )	$\varphi'_k$ (gradi)	$C'_k$ (t/m <sup>2</sup> )
2.20	2.25	35	5.00

**f) GRUPPO DI FASTELLO**

Successione piroclastica stratificata costituita da banconi metrici massivi di cineriti grigio-chiare, sciolte o litoidi, ricche di lapilli accrezionali, di origine prevalentemente idromagmatica: cineriti a struttura planare in alternanze cicliche, costituiscono la base del deposito. L'unità presenta uno spessore complessivo di 30 m:

$\gamma_{nk}$ (t/m <sup>3</sup> )	$\gamma_{sat k}$ (t/m <sup>3</sup> )	$\phi'_k$ (gradi)	$C'_k$ (t/m <sup>2</sup> )
2.00	2.10	32	1.50

#### g) UNITÀ DI GROTTA S. STEFANO

È costituita da Travertino lapideo con facies fitoclastica, fitoermale e pisolitica e sabbie travertinose in strati spessi e molto spessi fino a megastri, talora con intercalazioni di diatomiti e piroclastiti epiclastiche scure; localmente i travertini formano strutture aggettanti da cascata:

$\gamma_{nk}$ (t/m <sup>3</sup> )	$\gamma_{sat k}$ (t/m <sup>3</sup> )	$\phi'_k$ (gradi)	$C'_k$ (t/m <sup>2</sup> )
2.25	2.30	35	5.00

#### h) LAVE DI RIO MALNOME

Lave di colore grigio-scuro, compatte, con fenocristalli. Le lave sono leucititi tefritiche. Si tratta di più colate laviche. Le colate mostrano uno spessore che varia da 15 m a qualche metro:

$\gamma_{nk}$ (t/m <sup>3</sup> )	$\gamma_{sat k}$ (t/m <sup>3</sup> )	$\phi'_k$ (gradi)	$C'_k$ (t/m <sup>2</sup> )
2.30	2.35	35	5.00

#### i) UNITÀ DEL TORRENTE VEZZA

Costituita da una successione di depositi sedimentari di natura prevalentemente vulcanoclastica, caratterizzata principalmente da sabbie, limi e ghiaie in lamine e livelli a stratificazione plano-parallela e talora incrociata, e in banchi massivi. Raggiungono uno spessore di oltre 70 m:

$\gamma_{nk}$ (t/m <sup>3</sup> )	$\gamma_{sat k}$ (t/m <sup>3</sup> )	$\phi'_k$ (gradi)	$C'_k$ (t/m <sup>2</sup> )
1.90	2.10	28	1.00

#### l) GRUPPO DI CIVITA DI BAGNOREGIO

Costituito da un'alternanza di banconi di pomice bianche, strati di scorie, livelli di ceneri grossolane bianche o marroni, strati di ceneri grigie ricche di litici, ceneri grigie lapidee e banconi metrici compatti a matrice micropomicea, mal classati e mal gradati, a stratificazione suborizzontale. Gli spessori massimi osservati non superano i 50 m:

$\gamma_{nk}$ (t/m <sup>3</sup> )	$\gamma_{sat k}$ (t/m <sup>3</sup> )	$\varphi'_k$ (gradi)	$C'_k$ (t/m <sup>2</sup> )
1.90	2.05	26	1.00

**Legenda:**  $\gamma_{nk}$  (t/m<sup>3</sup>): Peso dell'unità di volume;  $\gamma_{satk}$  (t/m<sup>3</sup>): Peso dell'unità di volume saturo;  $\varphi'_k$  (gradi): Angolo di attrito interno;  $C'_k$  (t/m<sup>2</sup>): Coesione consolidata-drenata.

## 6. CARATTERIZZAZIONE IDROGEOLOGICA

Lo sviluppo del reticolo idrografico risulta piuttosto articolato e, in generale, ben sviluppato, anche se non in maniera uniforme in tutta l'area di studio. Le proprietà idrauliche dei diversi materiali affioranti determinano un pattern idrografico abbastanza eterogeneo con corsi d'acqua di varia geometria e natura. In generale le aree di affioramento delle vulcaniti, dotate di una conducibilità idraulica medio-alta, sono caratterizzate da densità di drenaggio piuttosto basse con corsi d'acqua distinti e ben gerarchizzati. Generalmente i corsi d'acqua presenti, con deflusso globale in direzione est, hanno bacini idrografici con estensione limitata, tempi di corrivazione piuttosto bassi e regime strettamente correlato all'andamento delle precipitazioni, con picchi di piena praticamente contestuali al picco delle precipitazioni e lunghi periodi di secca nei periodi estivi.

Le dinamiche idrogeologiche profonde sono perlopiù controllate dalla presenza di una unità basale, presente in tutto il territorio, rappresentata dalle argille Plio-Pleistoceniche. Questa formazione, essendo caratterizzata da una bassissima conducibilità idraulica, costituisce l'acquiclude della falda di base. Il livello acquifero è invece costituito dal corpo delle vulcaniti sovrastanti caratterizzate da permeabilità variabile ma comunque generalmente medio-alta.

In realtà la presenza di livelli argillificati, legati a paleosuoli presenti nei tufi, come anche bancate laviche particolarmente compatte, costituiscono orizzonti a bassa permeabilità che possono permettere l'istaurarsi di piccole falde sospese all'interno delle vulcaniti. Si ha pertanto la formazione di più falde sovrapposte, caratterizzate da variabile continuità laterale; in questa situazione si determinano le condizioni per una diffusa infiltrazione delle acque meteoriche in relazione ad una permeabilità medio-alta della gran parte delle formazioni affioranti. Le acque di infiltrazione vanno ad alimentare sia le piccole falde freatiche sospese, sia la falda basale localmente confinata in relazione alla presenza di livelli lavici sovrastanti compatti e poco fessurati, avente una produttività idraulica sicuramente elevata. In relazione alla variabilità litologica dei depositi vulcanici presenti si riscontrano altrettanti comportamenti idraulici determinati sia dalla porosità intrinseca delle varie formazioni, cui corrisponde una permeabilità di tipo primario, sia dalle fessurazioni per contrazione termica e/o fatturazioni di origine tettonica, cui consegue una permeabilità di tipo secondario.

Su tale base, quindi, è stata redatta la **Carta Idrogeologica (Elaborato F0532FT04B - Carta Idrogeologica)** ed i terreni affioranti sono stati raggruppati in complessi, in relazione alle proprietà idrogeologiche che caratterizzano ciascun litotipo, i quali possono essere così raggruppati e caratterizzati:

**I. TERRENI CON POTENZIALITÀ ACQUIFERA MEDIO ALTA** ne fanno parte i terreni afferenti i **Depositi Alluvionali e l'Unità del Torrente Veza**. Sono sede di una circolazione idrica significativa che dà luogo a falde locali di buona produttività. Dove si trova in continuità idraulica con gli acquiferi alluvionali e/o carbonatici regionali, la produttività della falda aumenta perché ben alimentata.

**II. TERRENI CON POTENZIALITÀ ACQUIFERA MEDIA** ne fanno parte i terreni afferenti al **Tufo Rosso a scorie nere Vicano, Membro di Prato Leva, Formazione di Monte Varcchia, Unità di Grotte S. Stefano e le Lave di Rio Malnome**. Hanno una rilevanza idrogeologica medio-bassa anche se localmente possono condizionare la circolazione idrica sotterranea.

**III. TERRENI CON POTENZIALITÀ ACQUIFERA BASSA** ne fanno parte i terreni afferenti al **Gruppo di Zepponami, di Fastello e di Civita di Bagnoregio**. Hanno una rilevanza idrogeologica limitata anche se localmente possono condizionare la circolazione idrica sotterranea assumendo localmente il ruolo limite di flusso e sostenendo esigue falde superficiali

Alla luce di tali considerazioni di carattere idrogeologico, a grande scala, è possibile affermare che tutte le opere previste in progetto, in nessun modo possono interferire con l'acquifero profondo, in quanto, il cavidotto avrà una profondità compresa entro 1.50 m, mentre le fondazioni delle pale eoliche avranno uno scavo pari all'altezza del plinto di fondazione che, generalmente, è compresa tra i 2.00 m e i 4.00 m (con una media di 3.00 m). Anche eventuali pali di fondazione che, alla luce delle caratteristiche litotecniche apprezzate macroscopicamente in loco, avranno lunghezze contenute (verosimilmente tra 15.00 e 20.00 m) e che, per le leggi che governano la geotecnica, comunque saranno distanziati tra di loro in modo tale da non creare quel dannoso "effetto diga", ovvero non interferiranno con il normal deflusso di eventuali circolazioni di acque effimere che dovessero persistere in ambito superficiale. Chiaramente nella fase escutiva, i fori di sondaggio previsti, saranno attrezzati con tubi piezometrici al fine di verificare la presenza o meno di acque di circolazione superficiale, ovvero di individuare sia soluzioni geotecniche per il calcolo della struttura fondale, sia per la sua giusta geometrizzazione. Il tutto finalizzato ad evitare interferenze tecniche importanti con eventuali acque di falda superficiali. In merito si ritiene che, alla luce delle caratteristiche geotecniche dei terreni in affioramento, non è da escludere che, come casi simili insegnano, sia possibile realizzare una fondazione diretta o superficiale (aumentando il diametro del plinto di qualche metro) e, quindi, con profondità di scavo ridotta; diversamente, nel caso di fondazioni su pali, si procederebbe con l'aumento dell'interasse dei pali stessi, evitando ancor più il suddetto "effetto

diga"; l'escavazione avverrebbe con l'utilizzo del tubo camicia, si modulerebbe la lunghezza dei pali in funzione di eventuali acquiferi sospesi in ambiti più superficiali.

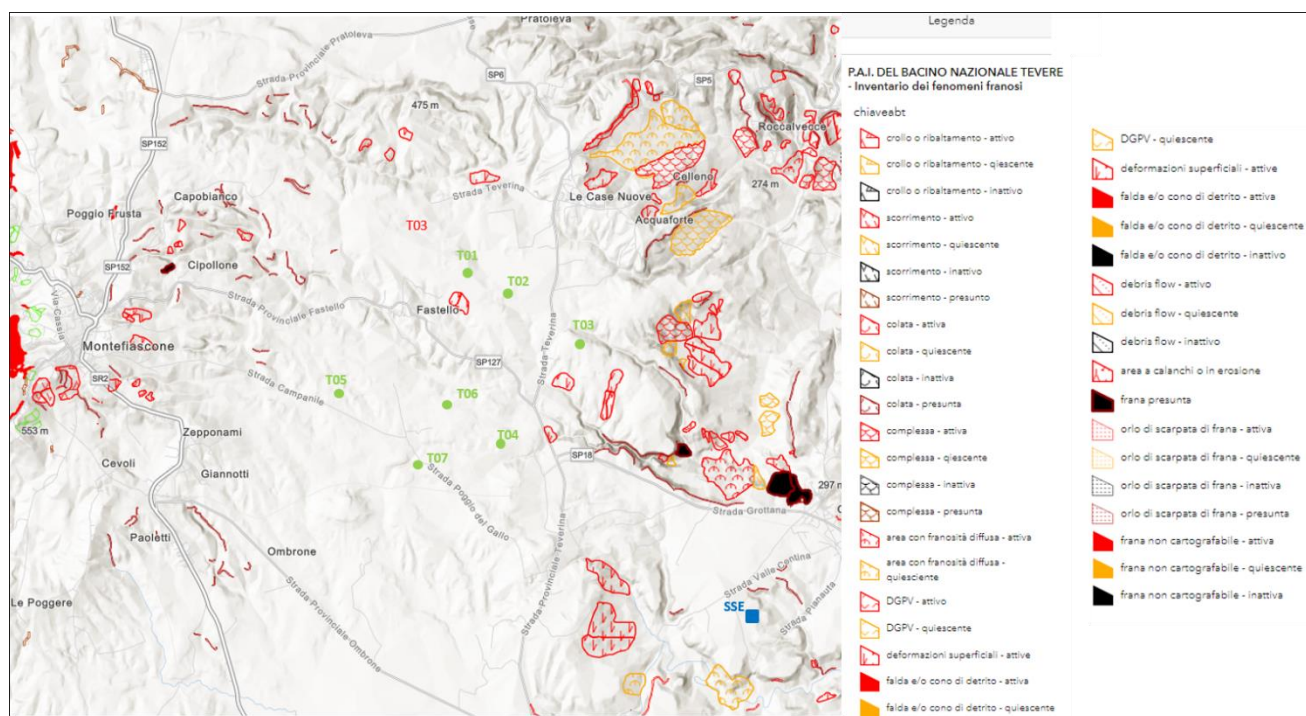
Nella stretta area di pertinenza delle opere in progetto, non sono state rilevate sorgenti. Anche il cavidotto, per la maggior parte, seguirà la viabilità esistente, mentre gli attraversamenti di fossi o valloni ed aree a criticità morfologica sarà effettuata tramite T.O.C., come di seguito descritto, proprio onde evitare ogni interferenza con il normale deflusso delle acque incanalate (reticolo idrografico). Inoltre, sia le strade, ma anche le piazzole di servizio, saranno realizzate in misto granulare, ovvero con materiale drenante, al fine di minimizzare l'interferenza con l'attuale corrivazione delle acque meteoriche superficiali, nonchè con il loro drenaggio in profondità.



## 7. VALUTAZIONE DEL RISCHIO FRANE ED ALLUVIONE

Il Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI) rappresenta uno strumento conoscitivo, normativo e tecnico-operativo mediante il quale sono programmate e pianificate le azioni e le norme d'uso riguardanti la difesa dal rischio idraulico ed idrogeologico del territorio.

Dall'esame degli elaborati cartografici dall' Autorità di Bacino distrettuale dell'Appennino Centrale - Bacino del Fiume Tevere, si evince che non ci sono interferenze di aree a rischio da frana, a pericolosità geomorfologica o idraulica, per quanto riguarda sia le aree di sedime degli aerogeneratori che della SSE. In merito, **Carta Geomorfologica (Elaborato F0532FT03B - Carta Geomorfologica)** viene riportato il progetto e il PAI. Di seguito si riporta uno stralcio della cartografia tematica con l'individuazione delle aree di progetto.



**Fig. 03:** PAI dell'Autorità di Bacino distrettuale dell'Appennino Centrale - Bacino del Fiume Tevere, relativo al sito di progetto (in verde l'area di imposta degli aerogeneratori ed in blu l'area di imposta della sottostazione)

È possibile affermare che la realizzazione del progetto di che trattasi, in nessun modo va ad interferire con l'attuale stato di equilibrio dei luoghi e, quindi, è ininfluenza sul grado di pericolosità e rischio idrogeologico dell'area di sedime. **Pertanto, in riferimento alle norme d'attuazione del PAI, gli interventi previsti in progetto non sono soggetti a particolari prescrizioni salvo quelle di rito. Di conseguenza, si esprime giudizio positivo sulla loro fattibilità e compatibilità idrogeologica.**

## 8. CARATTERIZZAZIONE MORFOLOGICA ED IDROLOGICA

In questa fase della progettazione, come già accennato, il rilevamento geologico e geomorfologico effettuato in loco ha confermato macroscopicamente le buone condizioni di stabilità di tutta l'area di sedime del parco eolico. Si sviluppa su una morfologia pianeggiante dai caratteri tipici delle aree vulcaniche del Lazio Settentrionale con aree subpianeggianti, residuali di ampi plateaux ignimbrici, impostati sul substrato sedimentario Plio-Pleistocenico, riportato in affioramento a luoghi, dall'azione erosiva dei corsi d'acqua.

La morfologia quindi risulta condizionata dalla natura litologica dei terreni affioranti, caratterizzata quindi da superfici pianeggianti, che nel loro insieme concorrono alla stabilità statica e geomorfologica del luogo, ma al contempo sono caratterizzate da variabilità fisico-meccanica, specie in senso verticale, che richiedono puntuali indagini geotecniche per definire compiutamente il complesso terreno-fondazione. **Negli stessi siti non sono state riconosciute forme gravitative legate a movimenti di versante in atto o in preparazione tali da compromettere la fattibilità dell'intervento da realizzare, infatti, l'andamento morfologico risulta regolare.**

Tale valutazione è congruente con gli strumenti normativi adottati a scala di bacino (Autorità di Bacino distrettuale dell'Appennino Centrale - Bacino del Fiume Tevere). Infatti, le aree di sedime degli aerogeneratori e della SSE non ricadono in aree classificate come esposte a pericolosità e rischio da frana, né interessate da fenomeni di alluvionamento, come meglio riportato **Carta Geomorfologica (Elaborato F0532FT03B - Carta Geomorfologica)**. Nella progettazione esecutiva saranno effettuate specifiche indagini geognostiche dirette ed indirette finalizzate alla definizione delle effettive condizioni di stabilità dei settori di versante di interesse.

**Dall'analisi stereoscopica delle foto aeree di qualche anno fa e dal rilevamento geomorfologico in sito, è stato possibile verificare che le aree di sedime degli aerogeneratori e della sottostazione si collocano su porzioni di versanti che presentano un andamento morfologico regolare senza segni di forme e fenomeni di movimenti gravitativi in atto o in preparazione; negli stessi siti non sono stati rilevati quei fattori predisponenti al dissesto.**

**Inoltre, si ritiene che la costruzione delle pale eoliche non potrà che andare a migliorare le condizioni di stabilità attuali, in quanto:**

- **non ci saranno appesantimenti per i versanti poiché le tensioni in gioco rimarranno pressoché invariate;**
- **si avrà un consolidamento circoscritto del sedime di fondazione ad opera delle strutture fondali che, nel caso del "tipo indiretto", comunque effettueranno quel benefico "effetto"**

**chiodante" anche nei livelli più superficiali dei terreni in affioramento, sicuramente dotati di caratteristiche geotecniche più scadenti rispetto a quelle del substrato s.s.;**

- **si procederà ad una sistemazione superficiale del terreno con regimentazione delle acque di corrivazione sul pendio per tutta l'area interessata dal progetto.**

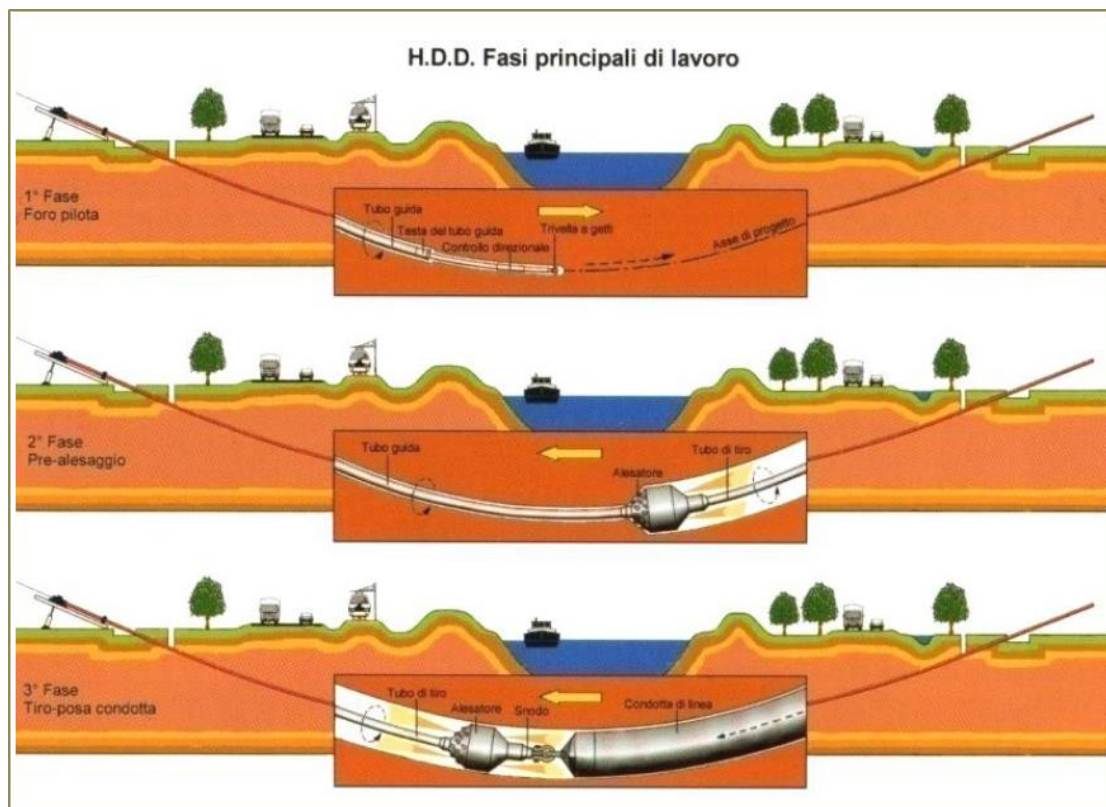
**Al fine di garantire a lungo termine la stabilità dei fronti di scavo e dei rilevati, e di non incrementare la corrivazione delle acque sui settori di versanti interessati dal progetto, è comunque necessario: prevedere fossi di guardia sulla testata delle scarpate nelle sezioni in scavo ed al piede dei rilevati nelle sezioni in riporto; regimentare le acque delle piazzole o piazzali in modo da convogliarle e scaricarle in appositi canali di scolo.**

L'andamento della porzione di territorio interessato dal progetto in parola, oltre a garantirne la sua stabilità "per posizione", permetterà la realizzazione delle opere minimizzando la movimentazione di terreno, ovvero gli scavi saranno contenuti e confinati alle sole strutture fondali degli aerogeneratori (plinti circolari di circa 20.00 m di diametro ed altezza media di circa m 3.00), le stesse piazzole e strade saranno praticamente a "raso" rispetto al piano campagna e, quindi, si procederà essenzialmente allo scotico del terreno vegetale ed alla regolarizzazione e livellazione richiesta dal progetto. Solo in alcuni settori si procederà a scavi e rinterri, comunque, di modesta rilevanza.

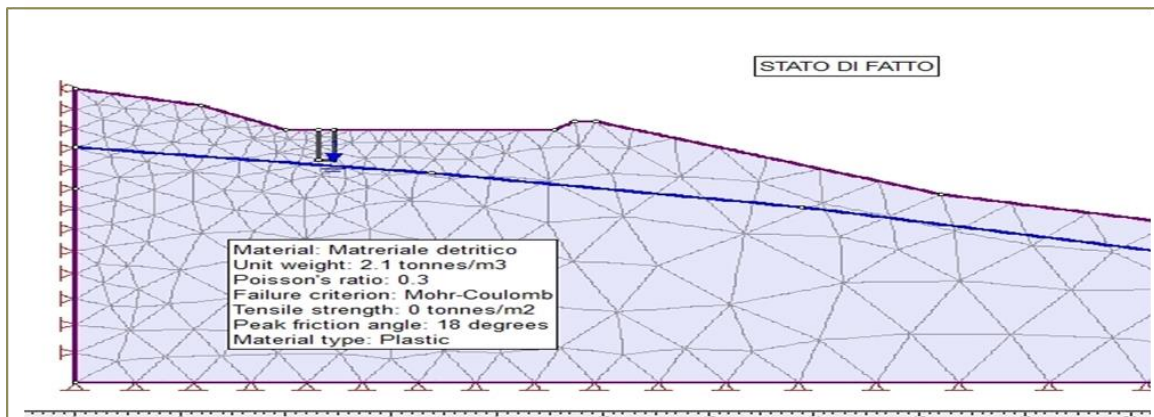
La stessa realizzazione delle strutture fondali delle turbine eoliche non potrà incidere sullo stato tensionale dell'area, in quanto non ci saranno appesantimenti, poiché le tensioni in gioco rimarranno pressoché invariate poiché si procederà all'utilizzo di una fondazione "compensata" o di una fondazione "profonda o indiretta" (plinto su pali), a seconda dall'effettivo modello geotecnico delle aree di sedime che sarà più approfonditamente ricostruito nella fase esecutiva della progettazione. Circa le indicazioni sulla geometria delle strutture fondali è il caso di chiarire che, in una fase di *progettazione definitiva*, ne viene solo indicato un predimensionamento, mentre solo nella *fase esecutiva* della progettazione, una volta analizzata la struttura in elevazione in termini di *carichi*, di *momenti*, di *tagli*, di *eccentricità*, *ecc.*, ed alla luce della ricostruzione dettagliata del modello geotecnico delle aree di sedime tramite appropriati studi tematici, supportati da indagini geognostiche dirette ed indirette e prove ed analisi geotecniche di laboratorio, sarà possibile procedere alla sua progettazione da un punto di vista geotecnico ed ingegneristico. E' in dubbio che una fondazione profonda espliciti, al di là del contesto morfoevolutivo in cui è inserita, un *effetto chiodante* della struttura al terreno, nonché una *resistenza a taglio* in caso di rilassamenti laterali dei livelli più superficiali, sicuramente meno competenti di quelli più profondi.

Anche la posa del cavidotto, per il quale sarà necessario uno scavo limitato nelle dimensioni e nei volumi di terreno rimossi, non intaccherà i fattori di sicurezza preesistenti delle aree attraversate, né tantomeno il contesto idrogeologico degli areali interessati; in merito, di seguito, si dimostrerà analiticamente come le condizioni tensionali nel terreno, *ante e post operam* del cavidotto, rimarranno pressoché le stesse. Questo risultato è facilmente intuibile per l'estrema superficialità e "lievità" dell'intervento che non interesserà volumi di terreno significativi, in quanto, la profondità e la larghezza di scavo saranno veramente trascurabili. Quindi, la limitatezza e l'inconsistenza dei volumi di terreno coinvolti, unitamente all'indubbia velocità di esecuzione, non potranno in nessun modo compromettere l'equilibrio dei luoghi che, comunque, si presentano macroscopicamente ed oggettivamente stabili. Anche le metodologie di scavo che si intenderanno utilizzare, essendo poco o per niente invasive, contribuiranno ancora di più alla realizzazione del cavidotto senza incidere sullo stato tensionale dei terreni attraversati. Comunque, in particolari condizioni morfologiche, ad esempio negli attraversamenti dei corsi d'acqua o in corrispondenza delle zone a criticità morfologica, come già accennato, sarà possibile posare il cavidotto con le Tecniche di attraversamento no-dig: Trivellazione Orizzontale Controllata (T.O.C.). La trivellazione orizzontale controllata, chiamata anche perforazione orizzontale controllata (HDD), o perforazione direzionale teleguidata, è una vantaggiosa alternativa ai tradizionali metodi d'installazione di linee di servizio. Infatti, con tale tecnologia è possibile passare con la perforazione e, dunque, con il cavidotto, in totale sicurezza al disotto del corso d'acqua o ad una profondità di sicurezza al disotto di un movimento franoso. L'utilizzo di tali tecnologie, nella progettazione esecutiva, sarà necessariamente supportato da studi geologici specifici corredati da sondaggi geognostici a carotaggio continuo ed indagini geofisiche necessarie alla ricostruzione del modello litotecnico del sottosuolo da attraversare con la trivellazione. Nella figura sottostante è mostrato uno schema della T.O.C.:





Come già sopra premesso, per la realizzazione del cavidotto, saranno coinvolti volumi di terreno poco significativi, in quanto, la profondità e la larghezza di scavo saranno veramente trascurabili. Infatti, la profondità sarà compresa entro 1.20/1.50 m, mentre la larghezza sarà di circa 30/40 cm. Pertanto, lo scavo interesserà il primo livello dei terreni di copertura humificati nei tratti in cui si svilupperà in "aperta campagna", mentre su tratti stradali (asfaltati e non) si attesterà immediatamente al disotto della massicciata stradale e, comunque, nei primi decimetri dei materiali di copertura. Quindi, apparato macroscopicamente la stabilità delle aree in cui il cavidotto stesso si sviluppa, in considerazione che da un punto di vista geologico-tecnico, in nessun modo si andrà ad interessare i terreni di substrato che, pertanto, per tale opera vengono trascurati, mentre si dimostrerà analiticamente, anche se è facilmente intuibile, che gli scavi per la realizzazione del cavidotto non andranno a modificare lo stato dei luoghi, sia per quanto concerne le *tensioni nel terreno*, sia, di conseguenza, i *fattori di stabilità e di sicurezza* degli areali attraversati. Seppure le minime variazioni interessino esclusivamente i volumi di terreno strettamente localizzati al contorno dello scavo, non si evince alcuna ripercussione sullo stato *tensio-deformativo* delle aree attraversate. In tal senso, si riporta di seguito una semplice dimostrazione analitica di quanto appena espresso, ad esempio "in termini di tensioni verticali geostatiche ( $\sigma_1$ )", per una situazione abbastanza frequente di posizionamento del cavidotto lungo una strada. A favore di sicurezza si è considerato che il cavo sia posato in terreni detritici a scadenti caratteristiche geotecniche così come di seguito schematizzato:

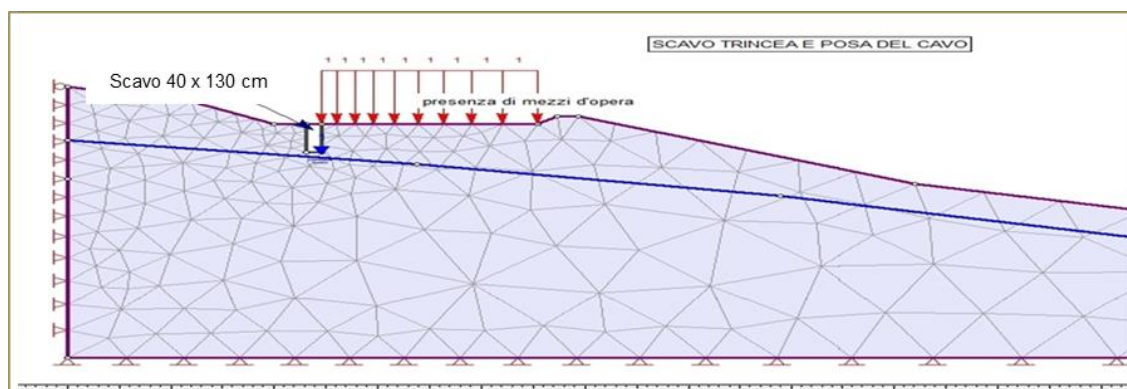


STAGE 1

La larghezza stradale, l'inclinazione del piano di campagna, ecc. sono da ritenersi molto cautelative rispetto all'effettiva morfologia dei luoghi che è sempre pressoché pianeggiante. La qualità geotecnica dei terreni sommitali è stata volutamente considerata decisamente scarsa in modo da simulare terreni detritici o di alterazione. I valori dei parametri fisico-meccanici assunti, non hanno nessuna importanza per la finalità dell'esempio che, invece, vuole evidenziare come non si ha alcuna variazione tensionale, a prescindere dalle caratteristiche litotecniche del terreno attraversato dal cavidotto elettrico. A vantaggio di calcolo, è stata prevista anche la falda nello strato detritico o di alterazione. Tramite un **modello di calcolo F.E.M. (Metodo agli elementi finiti)** sono stati previsti n° 3 stages (fasi) ed in particolare :

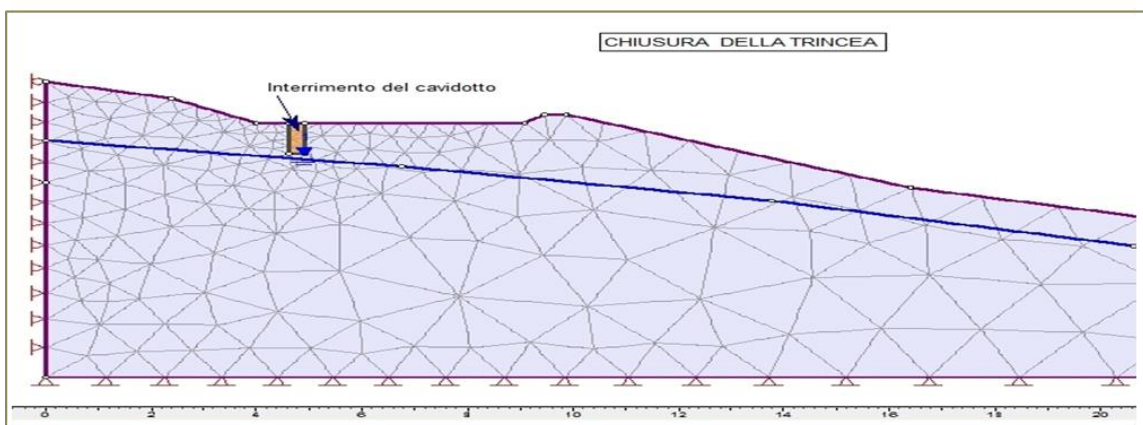
- Stage 1 : Stato di fatto (di riferimento iniziale);
- Stage 2 : fase di scavo e posa del cavidotto;
- Stage 3 : rinterro dello scavo.

Dal momento che le operazioni dello Stage 2 e 3, sono eseguite in un lasso di tempo limitatissimo tra la fase di scavo, posa e quella di rinterro, in questo esempio, non è stato preso in considerazione alcun fenomeno sismico, anche perché non necessario agli scopi dimostrativi della quasi inesistente variazione del regime tensionale verticale nei terreni.



STAGE 2





STAGE 3

Le informazioni sui dati e sui risultati principali, sono riportate di seguito:

### Phase2 Analysis Information

#### Document Name

sezione tipo condotta 1strato rev2.fez

#### Project Settings

##### General

Project Title: sezione su strada condotta  
Number of Stages: 3  
Analysis Type: Plane Strain  
Solver Type: Gaussian Elimination  
Units: Metric, stress as tonnes/m<sup>2</sup>

##### Stress Analysis

Maximum Number of Iterations: 500  
Tolerance: 0.001  
Number of Load Steps: Automatic

##### Groundwater

Method: Piezometric Lines  
Pore Fluid Unit Weight: 0.981 tonnes/m<sup>3</sup>

#### Field Stress

Field stress: gravity  
Using actual ground surface  
Total stress ratio (horizontal/vertical in-plane): 1  
Total stress ratio (horizontal/vertical out-of-plane): 1  
Locked-in horizontal stress (in-plane): 0  
Locked-in horizontal stress (out-of-plane): 0

#### Mesh

Mesh type: graded  
Element type: 3 noded triangles  
Number of elements on Stato di fatto: 368  
Number of nodes on Stato di fatto: 220  
Number of elements on Scavo e posa condotta: 368  
Number of nodes on Scavo e posa condotta: 220  
Number of elements on Chiusura scavo: 368  
Number of nodes on Chiusura scavo: 220

#### Material Properties

##### Material: Materiale detritico

Initial element loading: field stress & body force  
Unit weight: 2.1 tonnes/m<sup>3</sup>  
Elastic type: isotropic  
Poisson's ratio: 0.3



Failure criterion: Mohr-Coulomb  
Tensile strength: 0 tonnes/m<sup>2</sup>  
Peak friction angle: 18 degrees  
Peak cohesion: 0 tonnes/m<sup>2</sup>  
Material type: Plastic  
Dilation Angle: 0 degrees  
Residual Friction Angle: 18 degrees  
Residual Cohesion: 0 tonnes/m<sup>2</sup>  
Piezo to use: 1  
Hu Type: Custom  
Hu value: 1

Material: riempimento scavo

Initial element loading: body force only  
Unit weight: 2.2 tonnes/m<sup>3</sup>  
Elastic type: isotropic  
Young's modulus: 500 tonnes/m<sup>2</sup>  
Poisson's ratio: 0.3  
Failure criterion: Mohr-Coulomb  
Tensile strength: 0 tonnes/m<sup>2</sup>  
Peak friction angle: 35 degrees  
Peak cohesion: 0 tonnes/m<sup>2</sup>  
Material type: Plastic  
Dilation Angle: 0 degrees  
Residual Friction Angle: 35 degrees  
Residual Cohesion: 0 tonnes/m<sup>2</sup>  
Piezo to use: None  
Ru value: 0

**Areas of Excavated and Filled Elements**

Scavo e posa condotta

Material: Materiale detritico, Area Excavated: 0.60 m<sup>2</sup>

Chiusura scavo

Material: riempimento scavo, Area Filled: 0.60 m<sup>2</sup>

**Excavation Areas**

Original Un-deformed Areas

Excavation Area: 0.60 m<sup>2</sup>  
Excavation Perimeter: 3.80 m  
External Boundary Area: 212.027 m<sup>2</sup>  
External Boundary Perimeter: 74.116 m

Stato di fatto

Excavation Area: 0.60 m<sup>2</sup> (-5.0119e-005 m<sup>2</sup> change from original area)  
Excavation Perimeter: 3.80 m (-0.00448978 m change from original perimeter)  
External Boundary Area: 212.280 m<sup>2</sup> (0.252363 m<sup>2</sup> change from original area)  
External Boundary Perimeter: 74.048 m (-0.0675524 m change from original perimeter)  
Volume Loss to Excavation: -82.6102 %

Scavo e posa condotta

Excavation Area: 5.118 m<sup>2</sup> (2.81208 m<sup>2</sup> change from original area)  
Excavation Perimeter: 11.682 m (8.13233 m change from original perimeter)  
External Boundary Area: 213.248 m<sup>2</sup> (1.22127 m<sup>2</sup> change from original area)  
External Boundary Perimeter: 84.044 m (9.92811 m change from original perimeter)  
Volume Loss to Excavation: -399.778 %

Chiusura scavo

Excavation Area: 5.117 m<sup>2</sup> (2.81158 m<sup>2</sup> change from original area)  
Excavation Perimeter: 11.670 m (8.13315 m change from original perimeter)  
External Boundary Area: 213.324 m<sup>2</sup> (1.29639 m<sup>2</sup> change from original area)  
External Boundary Perimeter: 84.050 m (9.93367 m change from original perimeter)  
Volume Loss to Excavation: -424.37 %

**Displacements**

Maximum total displacement for Stato di fatto: 0.110545 m  
Maximum total displacement for Scavo e posa condotta: 0.125059 m  
Maximum total displacement for Chiusura scavo: 0.126825 m

**Yielded Elements**

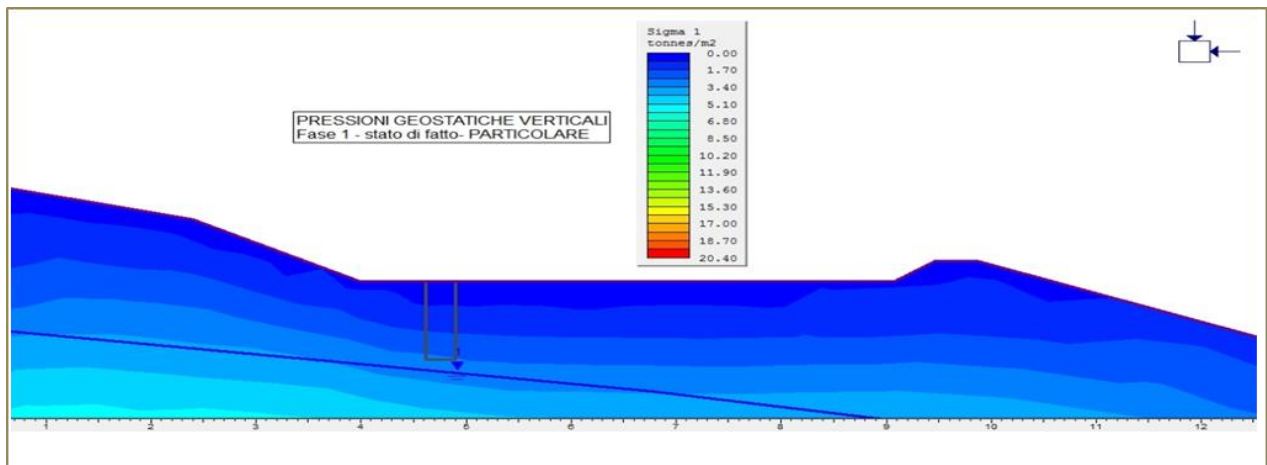
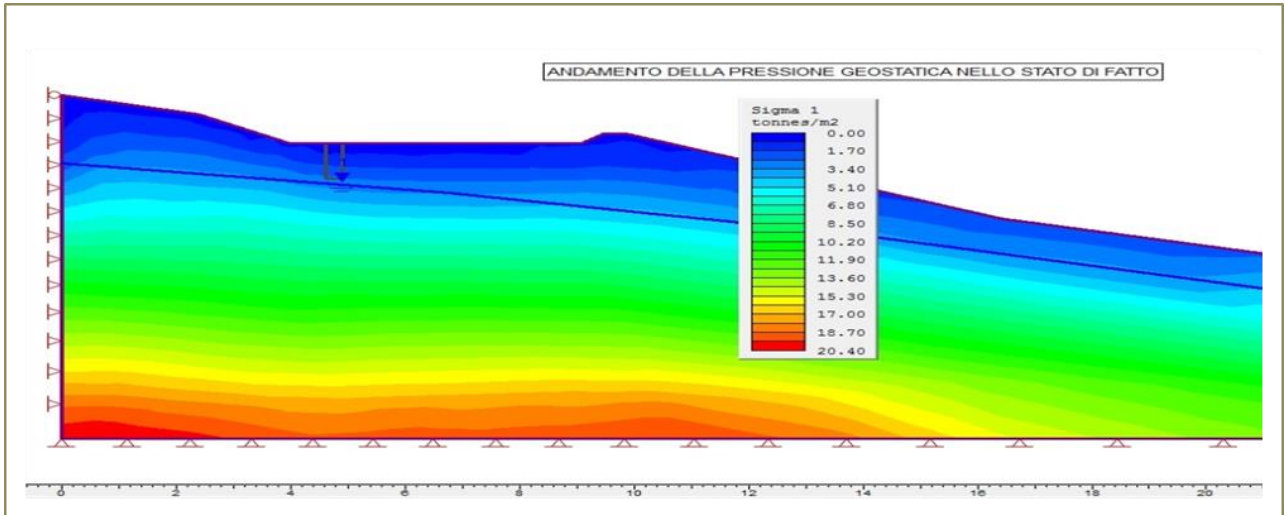
Yielded Mesh Elements

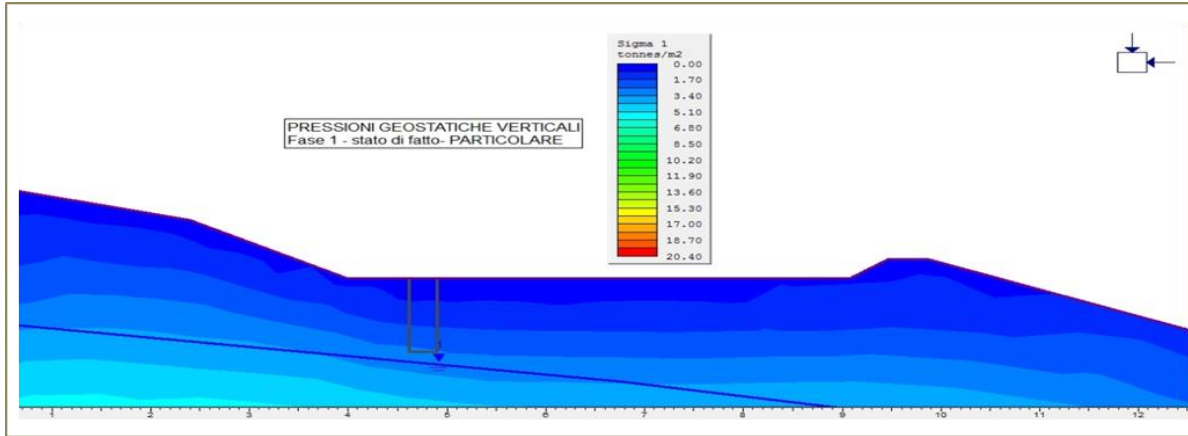
Number of yielded mesh elements on Stato di fatto: 486

Number of yielded mesh elements on Scavo e posa condotta: 482

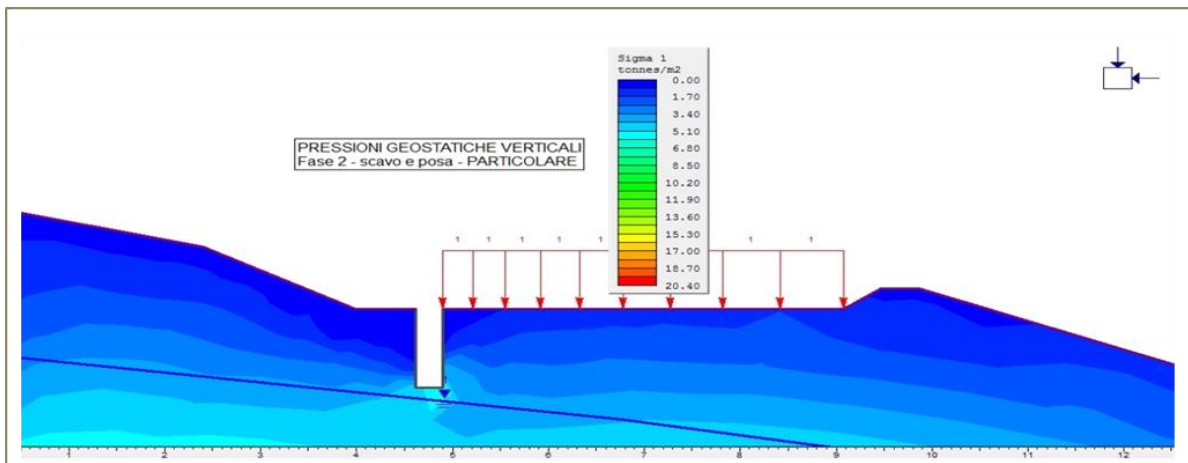
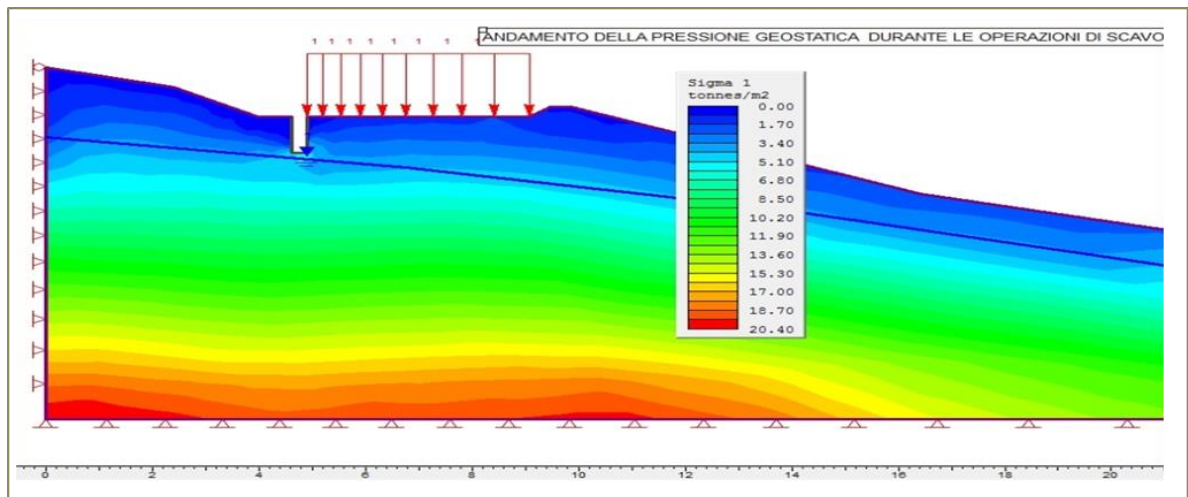
Number of yielded mesh elements on Chiusura scavo: 500

I risultati delle analisi FEM sono compendati dai grafici successivi, che non hanno bisogno di commento:

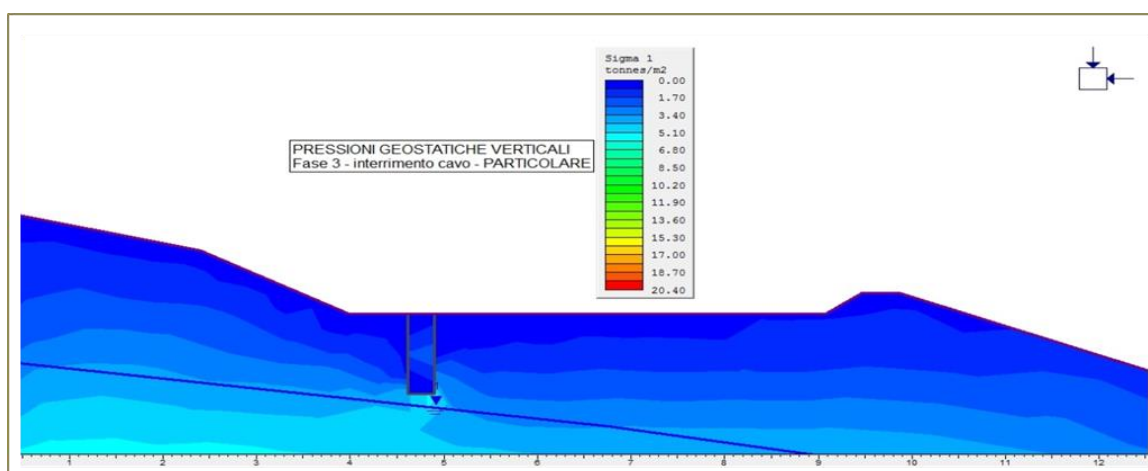
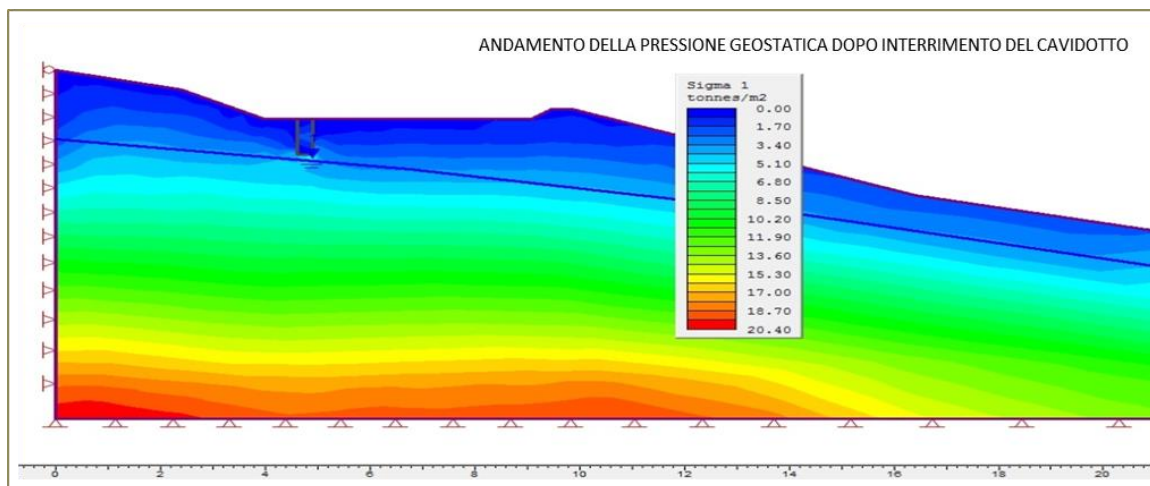




STAGE 1:  $\sigma_1$



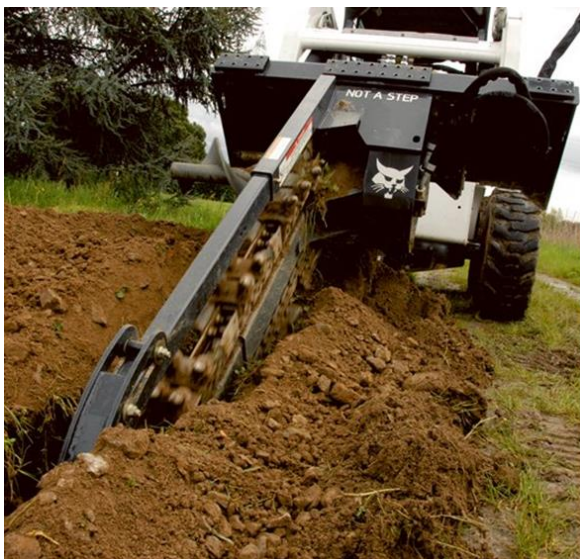
STAGE 2:  $\sigma_1$

STAGE 3:  $\sigma_1$ 

Come si può notare dalle figure dello *Stage 1* e dello *Stage 3*, la condizione *tensionale*  $\sigma_1$  è praticamente la stessa (sia nel contesto generale che nel dettaglio). Questo risultato è facilmente intuibile per la limitatezza degli scavi da eseguire che, unitamente all'indubbia velocità di esecuzione (non secondaria quando si opera in terreni di tale natura), non intaccano minimamente i *fattori di sicurezza preesistenti* delle aree attraversate dall'opera a rete. Di conseguenza, è possibile affermare che la realizzazione del cavidotto in nessun modo va ad interferire con l'attuale stato di equilibrio dei luoghi e, quindi, delle cose che ivi ricadono nelle immediate vicinanze, garantendo, allo stesso tempo, anche la stabilità dei fronti di scavo. Inoltre, assolutamente, è ininfluente sul grado di *pericolosità* e *rischio idrogeologico* delle aree di sedime. Anche le metodologie di scavo, come avanti riportato, essendo poco o per niente invasive, contribuiranno ancora di più alla realizzazione del cavidotto, senza incidere sullo stato tensionale dei luoghi. In merito, l'ottimizzazione del progetto ha tenuto conto della grande valenza ambientale, evitando, in tal senso, di operare scavi di sbancamento e di minimizzare quelli delle trincee, in cui posare il cavidotto. Nel dettaglio, saranno eseguite microtrincee tramite



un'apposita attrezzatura "trencher" (rif. figura laterale) che riduce sia i volumi di scavo che i tempi di realizzazione. Nei terreni di che trattasi, sono stimati scavi di lunghezza di oltre un chilometro al giorno.



I materiali utilizzati per i rinterri, saranno scelti in funzione dei luoghi o delle strade attraversate, ovvero per gli scavi eseguiti in aperta campagna sarà riutilizzato, previo allettamento del cavo, il terreno di scavo stesso idoneamente compattato in modo tale da ripristinare i luoghi nelle stesse condizioni ambientali *ante operam*; sulle strade asfaltate o sterrate, il rinterro sarà eseguito con idoneo materiale arido, posto in opera, a perfetta regola d'arte al fine di ripristinare il piano viabile nelle condizioni iniziali. Chiaramente i

fisiologici assestamenti che si potrebbero verificare, saranno ripristinati tempestivamente in modo da garantire la fruibilità della circolazione veicolare in sicurezza.

**Di conseguenza, lo scrivente, alla luce di tutti gli elementi di carattere idrogeomorfologico che è stato possibile rilevare in questa prima fase della progettazione, ritiene che il progetto non andrà ad interferire con l'attuale stato di equilibrio dei luoghi e, quindi, assolutamente sarà ininfluenza sul grado di *pericolosità/rischio idrogeologico* delle aree attraversate che, comunque, si presentano stabili.**



## 9. CONCLUSIONI

Il presente studio geologico per la realizzazione di un **Impianto di produzione di energia elettrica da fonte eolica "Acquaforte" di potenza nominale pari a 47.6 MW e relative opere connesse da realizzarsi nei comuni di Celleno, Montefiascone e Viterbo**, illustra i risultati interpretativi a cui si è giunti attraverso l'analisi geologica, geotecnica, idrogeologica e morfologica degli areali interessati dal suddetto progetto, che consta di n°7 aerogeneratori di potenza unitaria massima pari a 6.8 MW per una potenza complessiva in immissione pari a 47.6 MW ubicate nei comuni di Celleno e Montefiascone e delle relative opere di connessione che saranno ubicate nel Comune di Viterbo (Vt).

Per verificare la fattibilità geologica del progetto, il presente studio preliminare inquadra sotto il profilo geologico, idrogeologico e geomorfologico l'areale coinvolto dall'intervento. Ai fini della rappresentazione preliminare delle caratteristiche geologiche *latu sensu* dell'intera area, e per escludere la presenza di elementi di criticità morfologica, il rilevamento geo-morfologico di superficie si è dimostrato utile al raggiungimento dell'obiettivo. Le informazioni ottenute, tuttavia, devono ritenersi valide nei limiti che questa prima fase cognitiva pone, ovvero acquisizione di dati e notizie preliminari. Si rimanda al successivo grado di approfondimento della progettazione (progetto definitivo/esecutivo) la verifica puntuale delle caratteristiche litologiche, geotecniche, idrogeologiche e sismiche dei terreni in affioramento, finalizzate alla ricostruzione del modello litotecnico e sismico dell'areale di sedime di ogni opera da realizzare.

In merito, saranno eseguite le indagini geognostiche dirette ed indirette ed analisi e prove geotecniche di laboratorio. La progettazione definitiva ed esecutiva, infatti, certamente impone una campagna d'indagini geognostiche finalizzata ad ottenere tutti i dati necessari per una corretta progettazione.

L'andamento pianeggiante delle porzioni di territorio interessato dal progetto in parola, oltre a garantirne la sua stabilità "per posizione", permetterà la realizzazione delle opere minimizzando la movimentazione di terreno, ovvero gli scavi saranno contenuti sia per l'area parco, sia per la sottostazione elettrica, nonché per le strade; tali opere saranno praticamente a "raso" rispetto al piano campagna e, quindi, si procederà essenzialmente allo scotico del terreno vegetale. Solo in alcuni settori si procederà a scavi e rinterri, comunque, di modesta rilevanza. La stessa realizzazione degli aerogeneratori, non potrà incidere sullo stato tensionale dell'area, in quanto non ci saranno appesantimenti, poiché le tensioni in gioco rimarranno pressoché invariate; anzi si avrà un consolidamento circoscritto dei terreni per l' "effetto chiodante" dei pali fondazione.

Le aree di sedime degli aerogeneratori e della SSE non ricadono in aree classificate come esposte a pericolosità e rischio da frana, né interessate da fenomeni di alluvionamento. Nella progettazione esecutiva saranno effettuate specifiche indagini geognostiche dirette ed indirette finalizzate alla definizione delle effettive condizioni di stabilità dei settori di versante di interesse. Invece, per quanto riguarda il cavidotto, si procederà, con il loro sottoattraversamento tramite T.O.C..

Anche la posa del cavidotto, per il quale sarà necessario uno scavo limitato nelle dimensioni e nei volumi di terreno rimossi, non intaccherà i fattori di sicurezza preesistenti delle aree attraversate, né tantomeno il contesto idrogeologico degli areali interessati. Questo risultato è facilmente intuibile per l'estrema superficialità e "lievità" dell'intervento che non interesserà volumi di terreno significativi, in quanto, la profondità e la larghezza di scavo saranno veramente trascurabili.

Quindi, la limitatezza e l'inconsistenza dei volumi di terreno coinvolti, unitamente all'indubbia velocità di esecuzione, non potranno in nessun modo compromettere l'equilibrio dei luoghi che, comunque, si presentano macroscopicamente ed oggettivamente stabili. Anche le metodologie di scavo che si intenderanno utilizzare, essendo poco o per niente invasive, contribuiranno ancora di più alla realizzazione del cavidotto senza incidere sullo stato tensionale dei terreni attraversati. Comunque, in particolari condizioni morfologiche, ad esempio negli attraversamenti dei corsi d'acqua, come già accennato, sarà possibile posare il cavidotto con le Tecniche di attraversamento *no-dig*: Trivellazione Orizzontale Controllata (T.O.C.).

**Il Geologo**

Dott. Antonio DE CARLO

**I collaboratori**

Geol. Bartolo ROMANIELLO

Geol. Annagrazia MANCINI