



REGIONE EMILIA ROMAGNA
 PROVINCIA DI PARMA
 COMUNE DI BORGHO VAL DI TARO



PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE
 DEL PARCO EOLICO
 "MONTE CROCE DI FERRO"

Potenza complessiva 30 MW

PROGETTO DEFINITIVO
 DELL'IMPIANTO, DELLE OPERE CONNESSE E DELLE
 INFRASTRUTTURE INDISPENSABILI

G-R.1

RELAZIONE GEOLOGICA

COMMITTENTE

**BORGOTARO
 WIND**

**Piazza del Grano 3
 39100 Bolzano, Italia**

GRUPPO DI LAVORO

Ing. GIUSEPPE STEFANINI: progettista opere civili, idrauliche e calcoli strutturali

Ing. PIETRO RICCIARDINI (GEOTECH srl): progettista opere elettriche e sottostazione

Ing. GIULIO BARTOLI, Dott. Geol. STEFANO MANTOVANI (MMA srl): SIA, studi paesaggistici, relazioni specialistiche, studio geologico geotecnico, studio di impatto acustico, simulazioni fotografiche

Dott.ssa. MARIA GRAZIA LISENO (NOSTOI srl): studio archeologico

Prof. DINO SCARAVELLI (Coop. ST.E.R.N.A.): relazione faunistica, piano di monitoraggio faunistico, avifaunistico e chiroterteri, relazione floristico-vegetazionale

Arch. LUCIANO SERCHIA: consulente paesaggistico

Arch. STEFANO BOTTI (ABACUS sas) geom. CESARE SCHIATTI (STUDIO ARCO srl): rilievi aerofotogrammetrici e GNSS, documentazioni fotografiche da drone e da terra

Arch. MATTEO MASCIA: modellazione tridimensionale e renderizzazione fotorealistica

Dott. ENRICO CIRCELLI: consulenza micologica

Dott. Forestale FRANCESCO MARIOTTI: progettista interventi forestali compensativi

SCALA:

FIRME



Giulio Bartoli



Stefano Mantovani

Rev.	Descrizione	Redatto	Verificato	Approvato	Data
00	Prima emissione	Mantovani	Mantovani	Piovatucci A.	Marzo 2022
01	Integrazione nota ARPAE SAC Parma Prof. n. 203102/2022 del 12/12/2022	Mantovani	Mantovani	Piovatucci A.	Marzo 2023



REGIONE EMILIA ROMAGNA

Comune di Borgo Val di Taro (Parma)

BORGOTAROWIND

Borgotaro Wind Srl

Piazza del Grano 3, Bolzano, P.IVA e Cod. Fisc. 03127880213

**PROGETTO DEL
PARCO EOLICO “MONTE CROCE DI FERRO”,
DELLE OPERE CONNESSE E
DELLE INFRASTRUTTURE INDISPENSABILI**

PROGETTO PARCO EOLICO

G-R.1 RELAZIONE GEOLOGICA

Revisione 01 d.d. marzo 2023



INDICE

1. PREMESSA.....	3
2. UBICAZIONE GEOGRAFICA DEL SITO E DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO.....	4
3. DESCRIZIONE DEL PROGETTO.....	7
4. QUADRO GEOLOGICO REGIONALE.....	11
4.1 Inquadramento geologico regionale.....	11
4.2 Successione stratigrafica.....	13
4.2.1 Arenarie di Monte Gottero (GOT).....	13
4.2.2 Litozona argillitica caotica (GOTa).....	14
4.2.3 Argilliti di San Siro (SSI).....	14
4.2.4 Litozona marnosa (SSla) (Marne di Pontolo).....	14
5. QUADRO GEOLOGICO LOCALE - AEROGENERATORI.....	19
5.1 Descrizione dei siti degli aerogeneratori.....	19
5.2 Indagini geognostiche.....	32
5.2.1 Prove penetrometriche dinamiche tipo D.P.S.H.....	33
5.2.2 Indagini sismiche a rifrazione.....	34
5.2.3 Dati geognostici bibliografici.....	36
5.3 Analisi dei dati e caratterizzazione fisico-meccanica.....	37
5.3.1 Elaborazione ed interpretazione prove DPSH.....	37
5.3.2 Elaborazione ed interpretazione prospezioni tomografiche con tecnica a rifrazione.....	43
5.3.3 Elaborazione ed interpretazione dati geognostici bibliografici.....	61
5.4 Unità litotecniche e sezioni geologiche.....	67
5.5 Geomorfologia e stabilità dei versanti.....	73
5.6 Analisi degli aspetti idrogeologici.....	76
6. QUADRO GEOLOGICO LOCALE – SOTTOSTAZIONE UTENTE.....	78
6.1 Caratteri geologici locali.....	78
6.2 Indagini geognostiche.....	81
6.3 Modello geologico.....	90
6.4 Geomorfologia e stabilità dei versanti.....	93
6.5 Aspetti idrogeologici locali.....	99
7. INDICATORE AMBIENTALE VOLUMI DI SCAVO.....	102
8. CONCLUSIONI.....	104



1. PREMESSA

Il presente elaborato è stato revisionato al fine di recepire le integrazioni richieste con note prot. 203102/2022 trasmessa in data 12/12/2022 e prot. 205606/2022 trasmessa in data 15/12/2022 da parte di ARPAE Servizio Autorizzazioni e Concessioni di Parma ai seguenti paragrafi:

- *F. Suolo e sottosuolo*
- o *F.20 Si chiede di offrire un confronto con altre installazioni eoliche (ad esempio quelle di proprietà del Proponente) in merito al volume di scavi necessario alla realizzazione delle opere in rapporto alla capacità di produzione dell'impianto eolico. Si chiede di elaborare a tal proposito un indicatore esplicativo, ad esempio tonnellate di scavi per MW di potenza di picco installata, o per MWh di energia prodotta annualmente.*

e le integrazioni richieste con la nota SNAM S.p.A. del 28/10/2022 (acquisita agli atti da Arpae con PG/2021/178352 del 28/10/22) al seguente punto relativamente all'aerogeneratore BT02:

- *L'asse dell'aerogeneratore è posizionato oltre la fascia di sicurezza/servitù ma la proiezione della pala ricade all'interno di detta fascia e quindi in condizioni inaccettabili. Per ricondurre nella condizione di cui all'installazione BT1 è necessario che il progetto venga aggiornato spostando la proiezione della pala oltre la fascia di sicurezza/servitù;*

Il presente elaborato è stato altresì redatto tenendo in considerazione le modifiche progettuali introdotte rispetto alla proposta progettuale iniziale sottoposta ad iter procedurale di PAUR e che sono meglio descritte nelle premesse dell'elaborato RI-R.0.

A seguito di incarico conferito da **BORGOTARO WIND srl con sede in Bolzano, Piazza del Grano 3** per la redazione dello studio geologico-sismico-geotecnico relativo alla **costruzione del Parco Eolico “Monte Croce di Ferro”**, attualmente in corso di progettazione, si è proceduto all'analisi degli aspetti geologici dei terreni per la valutazione della fattibilità dell'intervento proposto.

Lo studio è stato redatto sulla base delle prescrizioni riportate nell'Aggiornamento delle *Norme Tecniche per le Costruzioni (Decreto del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti del 17.01.2018 e Circolare 21.01.2019 n° 7 C.S.LL.PP. Istruzioni per l'applicazione dell'“Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni” di cui al D.M. 17.01.2018)* e della vigente legislazione nazionale e locale, ed è finalizzato alla definizione delle caratteristiche geologiche (litologiche, geomorfologiche e idrogeologiche), dell'area di intervento.



2. UBICAZIONE GEOGRAFICA DEL SITO E DESCRIZIONE DELL’INTERVENTO

La zona oggetto del presente studio è ubicata in Comune di Borgo Val di Taro PR, nel settore sud-orientale del territorio comunale; in particolare, l’area del Parco Eolico si colloca in corrispondenza del crinale Tosco-Emiliano nella zona compresa all’incirca tra il Monte Croce di Ferro (ad Ovest) e il Monte Borraccia (ad Est); la sottostazione utente collegata al Parco è ubicata a Borgo Val di Taro, in un’area ad Est della stazione ferroviaria ed in particolare ad Est del Centro Edile.

L’ubicazione del sito è meglio illustrata nelle Figura 2.1, Figura 2.2, Figura, 2.3, Figura 2.4 e Figura 2.5.

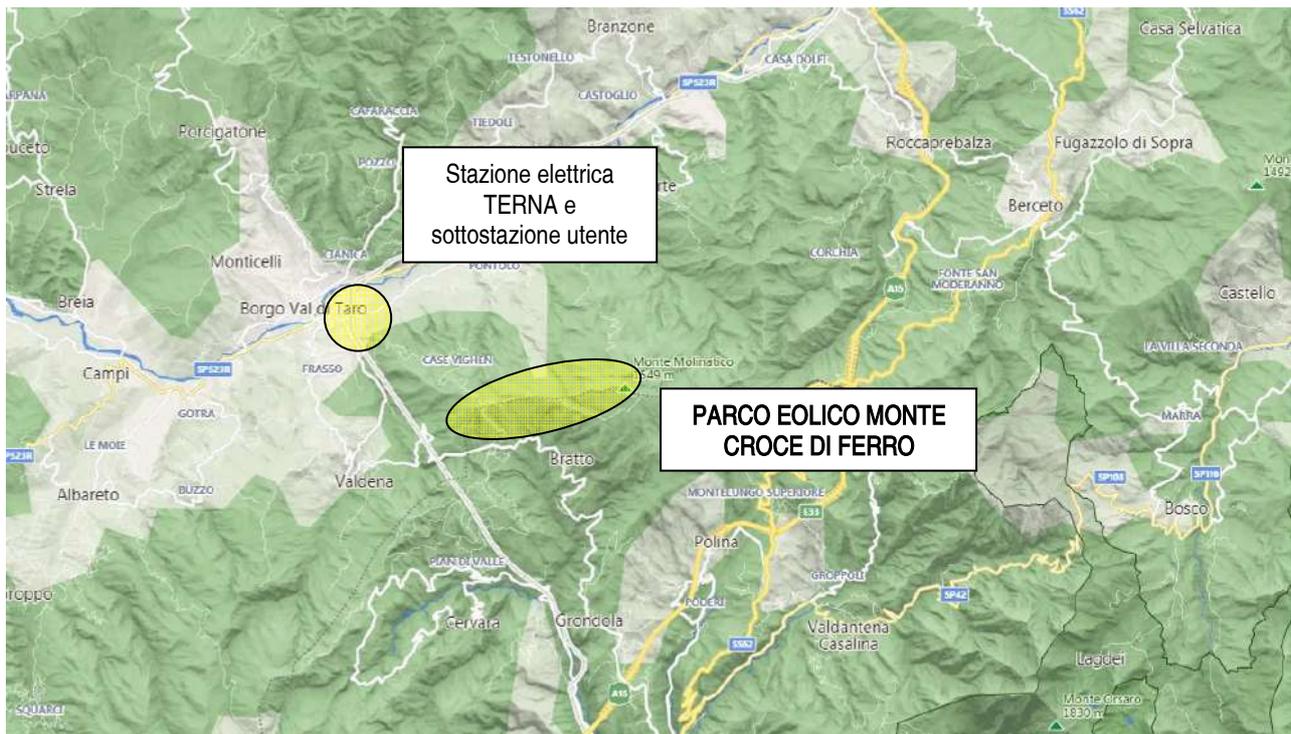


Figura 2.1 - Inquadramento territoriale

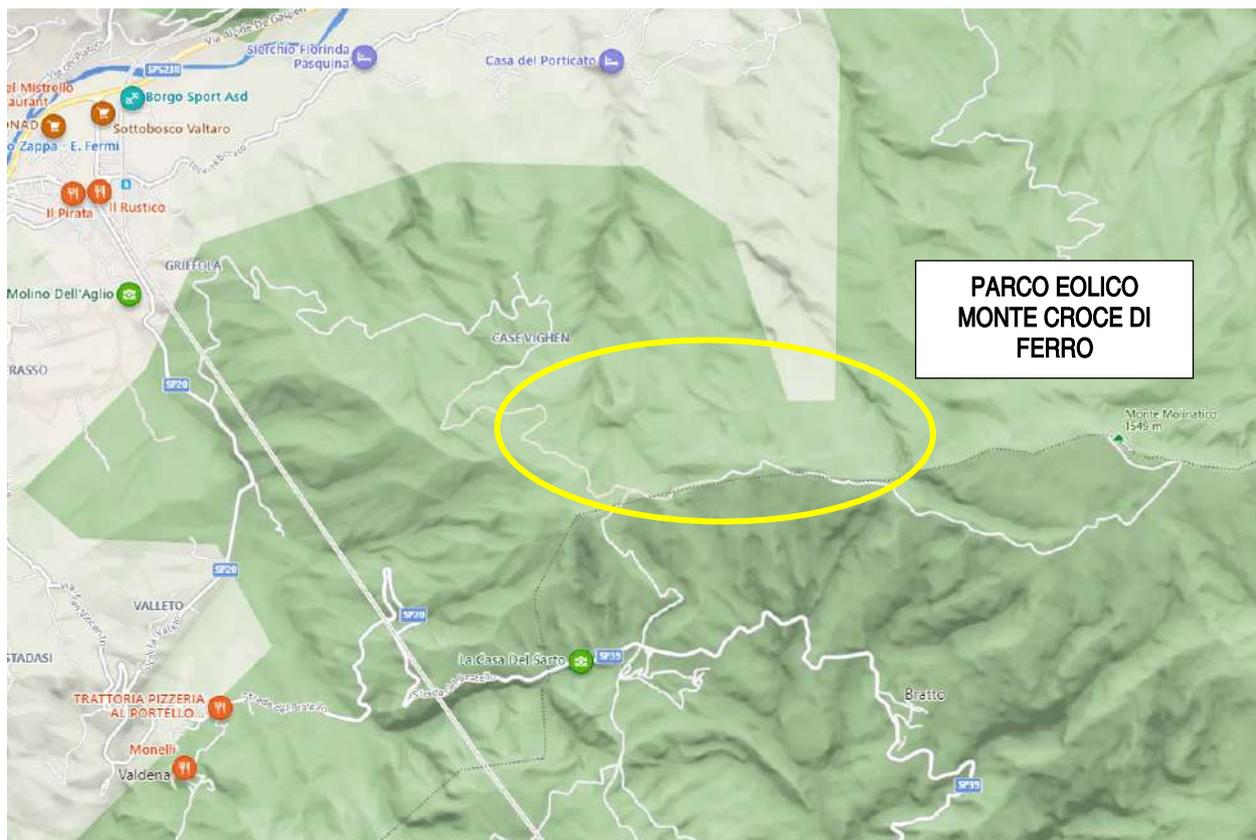


Figura 2.2 – Area del parco eolico



Figura 2.3 – Inquadramento da foto aerea del sito del parco eolico

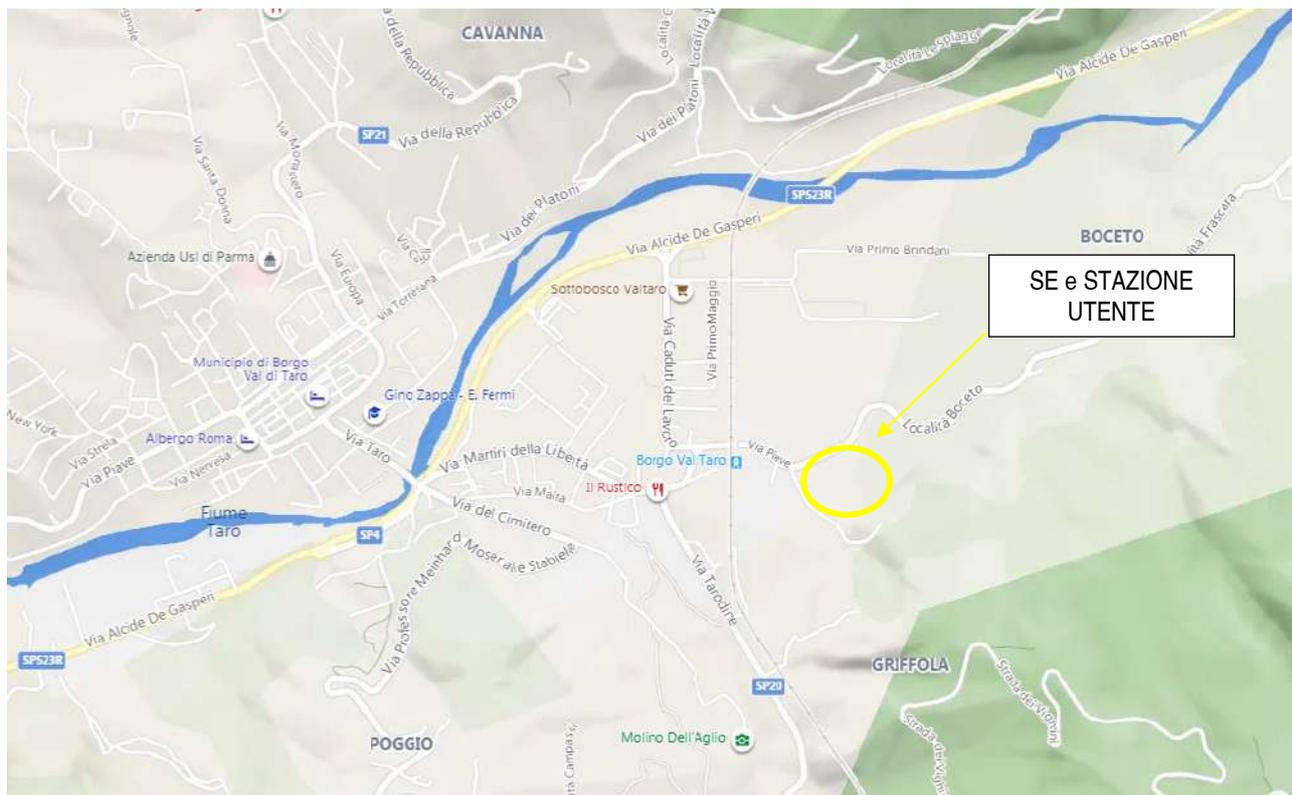


Figura 2.4 – Area della SS Utente



Figura 2.5 – Inquadramento da foto aerea del sito



3. DESCRIZIONE DEL PROGETTO

Il progetto generale descritto nella presente relazione nasce dalla volontà della Società Proponente di realizzare un parco eolico per la produzione di energia elettrica denominato “Monte Croce di Ferro”, da costruire lungo il crinale omonimo posto nel territorio del comune di Borgo Val di Taro (PR).

L’impianto, proposto dalla società Borgotaro Wind S.r.l., sarà costituito da 7 aerogeneratori della potenza massima di 6,1 MW ove i singoli aerogeneratori saranno limitati a 4,2, 4,3 o 4,5 MW al fine di rispettare il vincolo della potenza massima di impianto di 30 MW sul punto di connessione alla RTN, in aderenza e nel rispetto della STMG ottenuta da Terna e accettata dalla scrivente società (elaborato AE-1_riservato). Da tali aerogeneratori, posti lungo una fascia di circa 2,3 km e compresi in un intervallo altimetrico di 135 m e collegati tra loro a gruppi in numero variabile da due a tre, l’energia elettrica prodotta verrà convogliata tramite un cavidotto interrato al punto di raccolta e consegna (sottostazione elettrica di trasformazione MT/AT) e successivamente alla futura stazione elettrica Terna, prevista sempre nel territorio comunale di Borgo Val di Taro.

Il sito di intervento si colloca in prossimità del confine con la Regione Toscana, coincidente in quella zona con il dislivello delle acque, e si sviluppa lungo il pendio Emiliano distanziandosi dalla linea di massima quota da un minimo di 90 m ad un massimo di 620 m.

Il progetto è il risultato di una serie di studi che hanno preso in considerazione numerosi fattori, quali l’anemologia, l’orografia e l’accessibilità del sito, con lo scopo di massimizzare il rendimento dei singoli aerogeneratori e dell’impianto nel suo complesso, attraverso l’utilizzo di software appositi, nel rispetto della normativa vigente.

Il tipo di aerogeneratore previsto per l’impianto in oggetto (aerogeneratore di progetto) è un aerogeneratore ad asse orizzontale con rotore tripala e una potenza massima di 6,1 MW, limitata a 4,2, 4,3 o 4,5 MW, le cui caratteristiche principali sono di seguito riportate:

- rotore tripala a passo variabile, di diametro massimo pari a 158 m, posto sopravvento alla torre di sostegno, costituito da 3 pale generalmente in resina epossidica rinforzata con fibra di vetro e da mozzo rigido in acciaio;
- navicella in carpenteria metallica con carenatura in vetroresina e lamiera, in cui sono collocati il generatore elettrico, il moltiplicatore di giri, il trasformatore BT/MT e le apparecchiature idrauliche ed elettriche di comando e controllo;
- torre di sostegno tubolare troncoconica in acciaio, avente altezza fino all’asse del rotore pari a massimi 132 m;
- altezza complessiva massima fuori terra dell’aerogeneratore pari a 200,0 m;
- diametro massimo alla base del sostegno tubolare: 4,95 m;
- area spazzata massima: 19.607 mq.

La velocità del vento di avviamento (o velocità di cut-in) è la minima velocità alla quale la macchina inizia a ruotare ed è pari a 3,0 m/sec; una volta che la velocità del vento supera il valore corrispondente alla velocità di avviamento la potenza cresce al crescere della velocità del vento. La potenza cresce fino alla velocità nominale e poi si mantiene costante fino alla velocità di fuori servizio o di cut-out (25 m/sec); per ragioni di sicurezza, a partire dalla velocità nominale, la turbina si regola automaticamente e l’aerogeneratore fornirà la potenza nominale servendosi dei suoi meccanismi di controllo.

Le opere civili previste per la realizzazione del campo eolico sono di seguito elencate:

- viabilità interna: è costituita da una serie di strade e di piste di accesso, in parte esistenti e in parte di nuova realizzazione, che consentono di raggiungere agevolmente tutte le postazioni in cui verranno collocati gli aerogeneratori. La progettazione stradale è stata svolta tenendo conto del fatto che la movimentazione dei pezzi componenti l’aerogeneratore e delle gru necessarie per il loro montaggio richiede una geometria stradale avente le seguenti caratteristiche minime:
 - larghezza netta della pista 4,50 m



- raggio minimo di curvatura 24,00 m
- allargamento della pista in corrispondenza delle curve fino a 13 m totali
- pendenza longitudinale massima 21%
- raggio di curvatura minimo altimetrico 200,00 m

I rilevati stradali saranno realizzati utilizzando, per quanto possibile, il materiale presente in sito mediante stabilizzazione con calce per i rilevati e realizzazione di terre armate per il sostegno degli stessi. Dopo l'esecuzione della necessaria compattazione, verrà steso uno strato di geotessile, quindi verrà realizzata una fondazione in misto granulare dello spessore di 30 cm e infine uno strato superficiale di massicciata tipo A1-b D<30mm UNI 10006 dello spessore di 10 cm.

- piazzole provvisorie: sono state dimensionate per consentire il montaggio a terra del braccio della gru principale a mezzo di altre due gru di supporto. Una volta completate le fasi di montaggio degli aerogeneratori si provvederà a ripristinare le parti delle piazzole provvisorie non più necessarie ai fini dell'accesso alle zone più prossime all'aerogeneratore, che andranno a costituire le piazzole definitive. In alcuni casi il ripristino comporterà la rimozione delle opere realizzate con la reintroduzione dello stato ante-operam, in altri casi il ripristino prevederà il ricoprimento delle parti delle piazzole provvisorie non più necessarie con relativo rinverdimento. Anche per la realizzazione delle parti in rilevato delle piazzole provvisorie si privilegerà l'impiego di terreni provenienti dagli scavi stabilizzata con la calce e sostenuta con la per la realizzazione di terre armate. La pavimentazione delle piazzole provvisorie sarà realizzata con le stesse modalità previste per le strade costituenti la viabilità.

- piazzole definitive: saranno ricavate dalle piazzole provvisorie ripristinandone la parte non più necessaria in fase di esercizio; anche la pavimentazione delle piazzole provvisorie sarà costituita da uno strato di misto stabilizzato dello spessore minimo di 40 cm.

- opere di sostegno: la particolare morfologia del terreno, i vincoli imposti alla geometria stradale della viabilità di collegamento, l'opportunità di ridurre le dimensioni del sedime di occupazione delle opere di progetto rendono necessaria la realizzazione di significative opere d'arte, per lo più costituite da terre armate che assolveranno sia alla funzione di sostegno del rilevato stradale e dei rilevati costituenti le piazzole sia a quelle di stabilizzazione del fronte scavo nei tratti di strada in trincea e nelle parti di piazzola ricavate in scavo. Date le caratteristiche del terreno movimentato, che interesserà principalmente la coltre superficiale di natura argilloso-limosa, il materiale necessario per la realizzazione delle terre armate sarà prelevato direttamente in sito. Ove le condizioni lo rendono necessario, per adeguare le strade comunali esistenti, verranno realizzati dei By-Pass e allargamenti a monte e a valle della sede viaria, intervenendo anche con soluzioni con paratie in micropali tirantate.

- opere di attraversamento e deviazione dei corsi d'acqua minori: la realizzazione della viabilità interna e delle piazzole presenterà alcune interferenze con la rete idrografica di 2° ordine (rii) e in casi più frequenti con quelle di 3° ordine (impluvi) della zona di intervento. Si prevede pertanto di realizzare un sistema di fossi di guardia e di tombini in modo da garantire una corretta regimazione delle acque intercettate dalle nuove opere ed il loro corretto convogliamento nella rete idrografica esistente. Nei punti di intersezione delle nuove opere, i corsi d'acqua intercettati risultano caratterizzati da bacini di estensione limitata, in quanto l'area d'intervento risulta situata in prossimità di una zona di crinale.

- opere di regimazione idraulica in adiacenza alle frane attive: trattasi di interventi di regimazione delle acque superficiali da attuarsi in prossimità dei principali corpi instabili, ubicati in adiacenza alla futura stazione elettrica Terna e all'area di cantiere. Saranno costituiti da fossi di guardia e tubi, per il convogliamento delle acque ai rii prossimi ai dissesti; tali interventi non interferiranno con i corpi di frana che non saranno interessati da interventi diretti ed avranno la funzione di impedire il ruscellamento e infiltrazione delle acque superficiali all'interno dei corpi di frana stessi.



- fondazioni degli aerogeneratori: le torri degli aerogeneratori saranno fissate ad un elemento circolare di base in acciaio, a sua volta annegato all'interno di una fondazione tronco-piramidale in conglomerato cementizio armato, progettata per resistere al peso proprio della struttura e alle sollecitazioni cinematiche provocate dai sismi e dal vento. Date le caratteristiche del terreno risultanti dalle indagini geologiche e geotecniche condotte sulle singole postazioni degli aerogeneratori, la fondazione sarà del tipo su pali di grande diametro in calcestruzzo armato. La dimensione del plinto sarà circolare con diametro di 24 m con n. 16 pali trivellati da 100 cm e lunghezza variabile da 15 a 27 m. L'altezza del plinto sarà variabile da 1,50 m a 4,35 m.
- elettrodotti interrati: al di sotto della viabilità interna al parco correranno i cavi di media tensione che trasmetteranno l'energia elettrica prodotta dagli aerogeneratori alla sottostazione MT/AT e quindi alla rete elettrica nazionale. Lo scavo per l'alloggiamento del cavidotto, della profondità non inferiore a 1,30 m, sarà di larghezza variabile a seconda del numero di terne contenute; queste verranno collocate su uno strato di sabbia dello spessore di 10 cm, ricoperte con un ulteriore strato di sabbia di 30 cm, all'interno del quale troveranno posto anche il cavo in rame per la messa a terra, il cavo di comunicazione in fibra ottica per il sistema di controllo del parco (all'interno di un tubo in PVC del diametro di 50 mm) e uno o più elementi di resina a protezione dei cavi. La restante porzione dello scavo sarà riempita con materiale arido, all'interno del quale sarà collocato il nastro segnalatore. Il percorso del cavidotto verso la sottostazione elettrica di trasformazione MT/AT seguirà, nel tratto che scende verso l'abitato di Borgo Val di Taro, il tracciato di vecchie strade interpoderali e comunali con un minimo impatto sulla viabilità ordinaria e senza interferenze con le zone boschive.
- sottostazione elettrica di trasformazione MT/AT 30/132 kV: il collegamento alla RTN verrà realizzato mediante punto di raccolta ed elevazione 30/132 kV collegato in antenna a 132 kV alla futura stazione di smistamento a 132 kV della RTN nel Comune di Borgo Val di Taro (PR) da inserire in entra-esce sulle linee a 132 kV “Pontremoli RT – Borgotaro RT” e “Borgotaro RT – Berceto”. Progettualmente è previsto anche un collegamento provvisorio alla RTN: dal punto di vista elettrico la connessione avverrà tramite un cavo interrato a 132 kV in partenza dalla futura sottostazione MT/AT che, arrivato “al punto di consegna”, salirà in aereo tramite porta terminale aereo – cavo. Da qui la connessione, passando per il sezionatore, salirà con una calata dei conduttori aerei della linea a 132 kV “Pontremoli RT – Borgotaro RT” che in quel tratto ha le terne in parallelo. Tale sistema di inserimento su una linea esistente viene definito “T rigido”. La nuova sottostazione elettrica di trasformazione verrà realizzata in un'area attualmente agricola posta all'esterno dell'abitato di Borgo Val di Taro e lungo il tratto della strada comunale ex S.S. 523; il profilo altimetrico del terreno porta a realizzare la superficie della nuova sottostazione elettrica di trasformazione con paratie di contenimento in pali di grande diametro e tiranti sub orizzontali. La disposizione sarà comunque in andamento con la superficie esistente e mitigata con l'inserimento di essenze arboree e sistemazioni a verde. L'accesso alla futura sottostazione elettrica di trasformazione, condiviso con quella della futura stazione elettrica di smistamento RTN, avverrà direttamente dalla strada comunale utilizzando un percorso interno esistente che sarà opportunamente adeguato. Il layout elettromeccanico della sottostazione utente è predisposto al fine di prevedere la possibilità di realizzare in futuro un condominio in conformità a quanto richiesto da Terna Spa in STMG.
- futura stazione di smistamento RTN a 132 kV: è prevista nel Comune di Borgo Val di Taro (PR) da inserire in entra-esce sulle linee a 132 kV “Pontremoli RT – Borgotaro RT” e “Borgotaro RT – Berceto”; questa futura stazione di smistamento provvederà così ad alimentare l'esistente cabina RFI di Borgotaro. La futura stazione Terna verrà realizzata nella stessa zona della sottostazione elettrica di trasformazione e ad essa adiacente, ma con dimensioni maggiori connesse con il posizionamento delle apparecchiature elettromeccaniche e il collegamento alla rete elettrica esistente. A monte verrà realizzata una paratia in pali e tiranti, in analogia a quelli previsti per la sottostazione elettrica di trasformazione, e a valle il terreno verrà raccordato con terre armate e scarpate stabili in modo da adeguarsi alla morfologia esistente. Verranno previste



anche in questo caso mitigazioni ambientali con l’inserimento di essenze arboree e sistemazioni a verde.

Per maggiori dettagli si rimanda agli elaborati progettuali del progetto definitivo.



4. QUADRO GEOLOGICO REGIONALE

Lo studio è articolato nelle seguenti fasi principali:

- studio bibliografico relativo ai caratteri geologici generali dell'area in oggetto e reperimento di dati geologici, idrogeologici e geotecnici relativi alle formazioni geologiche ivi affioranti;
- esecuzione di indagini geognostiche costituite da prove penetrometriche dinamiche tipo DPSH;
- esecuzione di indagini sismiche costituite da stendimenti sismici a rifrazione con misurazione delle velocità delle onde longitudinali (P) e trasversali (S);
- reperimento di indagini geognostiche e prove di laboratorio eseguite nelle adiacenze del sito e relative alle formazioni geologiche di interesse per il progetto;
- analisi dei dati acquisiti, elaborazioni e sviluppo del modello geologico;
- verifica delle problematiche di carattere geomorfologico, idrogeologico e valutazioni sulla fattibilità.

4.1 Inquadramento geologico regionale

L'inquadramento geologico regionale dell'area oggetto del presente studio è stato redatto sulla base degli studi illustrati nei seguenti elaborati bibliografici:

- “Carta geologica d'Italia alla scala 1:50.000” - Progetto CARG: CARTografia Geologica e geotematica - <http://www.apat.gov.it/Media/carg>
- “Cartografia Geologica della Regione Emilia-Romagna”: https://geo.regione.emilia-romagna.it/cartografia_sgss/user/viewer.jsp?service=geologia

L'Appennino Settentrionale è un segmento del sistema di catene alpine circummediterranee la cui porzione nord-occidentale rappresenta la transizione alle Alpi Marittime.

Esso è costituito da un complesso insieme di unità tettoniche le cui caratteristiche litostratigrafiche e strutturali riflettono l'evoluzione geodinamica di questo settore di catena; questa evoluzione si è sviluppata attraverso le seguenti fasi:

- fasi di rifting e di spreading triassico-giurassiche, che hanno portato all'individuazione del dominio oceanico ligure-piemontese, situato tra i margini continentali delle placche europea ed Adria;
- successive fasi convergenti, attive fin dal Cretacico superiore, che hanno determinato la chiusura del dominio ligure-piemontese, tramite la subduzione di litosfera oceanica e nell'Eocene medio, la collisione continentale;
- deformazioni esclusivamente intracontinentali che, a partire dall'Oligo-Miocene, hanno interessato il margine della placca Adria con una progressiva migrazione del fronte compressivo verso est.

L'Appennino Settentrionale è quindi caratterizzato dalla sovrapposizione tettonica dell'insieme alloctono delle Unità Liguri, di origine oceanica, sul dominio Umbro-Toscano, che rappresenta la copertura deformata e scollata dell'avampaese continentale apulo. Le Unità Umbro-Toscane affiorano prevalentemente nella parte meridionale dell'Appennino Settentrionale (Toscana ed Umbria), mentre le Unità Liguri sono ben rappresentate soprattutto nell'Appennino Ligure-Emiliano, costituendo una “coltre” continua dal Mar Ligure fino alla Pianura Padana (*Figura 4.2 – Schema geologico semplificato e Figura 4.2 - Schema Tettonico*).

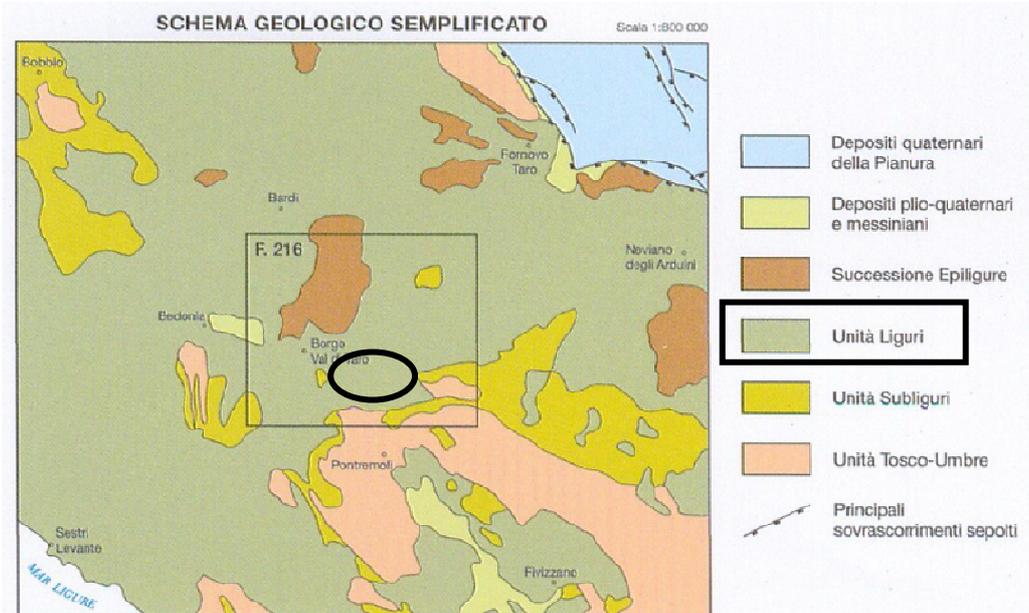


Figura 4.1 - Stralcio da Carta Geologica d'Italia 1: 50.000 – progetto CARG – sito ISPRA – schema geologico semplificato

L'area del Parco Eolico in oggetto ricade nell'**UNITA' GOTTERO** identificata nella cartografia con il numero 10.

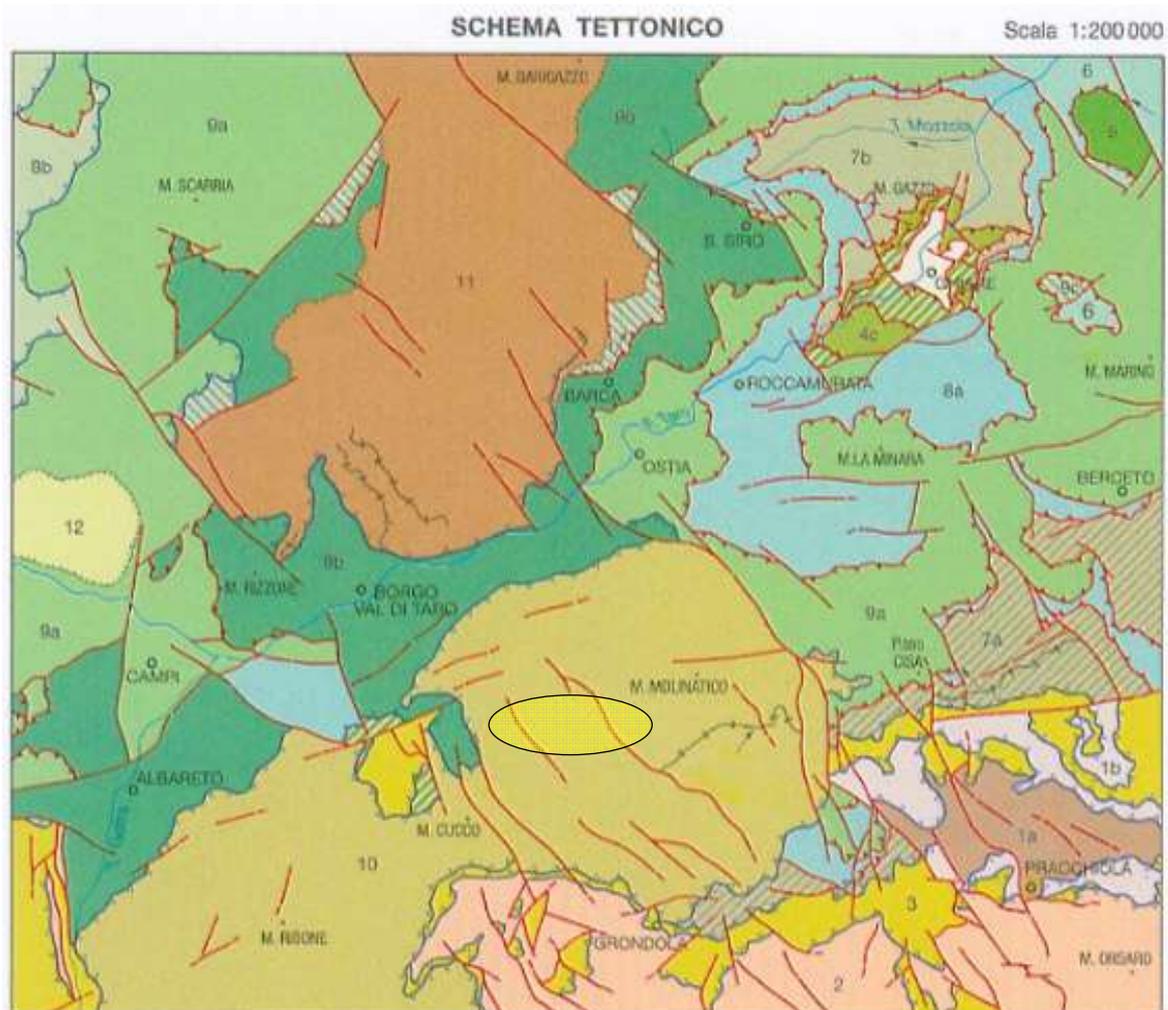




Figura 4.2 - Stralcio da Carta Geologica d'Italia 1: 50.000 – progetto CARG – sito ISPRA – schema tettonico

Tale unità si estende su un ampio settore allungato in direzione antiappenninica tra la media Val Taro e il Pontremolese, occupando la posizione strutturale sommitale. E' localmente rappresentata dalle sole Arenarie di Monte Gottero che, delimitate alla base da una superficie di sovrascorrimento, si sovrappongono a differenti unità nel tratto compreso tra l'estremità SW del foglio di Borgo Val di Taro (26) e il Passo della Cisa.

Lungo il margine nord-occidentale essa risulta costantemente sovrascorsa all'Unità media Val Taro, mentre lungo il margine Sud Orientale sovrascorre quasi direttamente il Macigno.

L'area della sottostazione utente ricade nell'**UNITA' MEDIA VAL TARO** identificata nella cartografia con il numero 9 ed in particolare nell'elemento **SAN SIRO (9b)**.

Questa unità affiora estesamente nella media Val Taro, dove occupa la posizione più elevata fra le unità liguri ed è ricoperta in discordanza stratigrafica dalla placca epiligure del Monte Barigazzo, mentre nella zona di nostro interesse è sovrascorsa dall'Unità Gottero. L'assetto dell'unità è sempre alquanto deformato.

4.2 Successione stratigrafica

4.2.1 Arenarie di Monte Gottero (GOT)

Le informazioni reperite sulle NOTE ILLUSTRATIVE della CARTA GEOLOGICA D'ITALIA (ISPRA scala 1:50.000) indicano che tutta l'area oggetto di studio rientra nell'ambito della formazione delle "**Arenarie di Monte Gottero (GOT)**", appartenente all'**Unità tettonica GOTTERO** sopra richiamata e descritta.

Le **arenarie di Monte Gottero** sono rappresentate da una potente successione di arenarie torbiditiche generalmente poco inclinate con vergenza verso nord e ben affioranti sui ripidi versanti sud-orientali presenti localmente lungo il confine toscano-emiliano fino al Passo della Cisa.

Ottime esposizioni si osservano anche lungo la strada del Passo del Bratello tra Valderna e Grondola, mentre estese coltri detritiche rendono sempre difficoltosa l'individuazione della superficie di sovrascorrimento basale in destra idrografica della Val Taro.

L'unità si presenta generalmente poco deformata, coinvolta da faglie e abbastanza inclinate e da deformazioni plicative piuttosto blande; fa eccezione la zona sud del Monte Molinatico, dove le arenarie sono coinvolte in un piegamento che verticalizza alcune centinaia di metri di successione. La formazione è costituita da **arenarie quarzoso-feldspatiche alternate ad argilliti e siltiti nerastre in rapporto a/p=1**; le arenarie si presentano generalmente a grana media e grossolana, in strati spessi e molto spessi, frequentemente massivi con intraclasti di argilliti verdi piuttosto frequenti.

Alternate a questa litofacies principale, sono presenti peliti nerastre con intercalate arenarie fini grigio-scure in strati da medi a sottili.



La formazione raggiunge una potenza di circa 1000 m e comprende una litozona argillitica caotica GOT_a intercalata a differenti livelli.

Il contatto basale è sempre di sovrascorrimento sulle Argilliti di San Siro o sulle Arenarie di Scabiazza; in alcuni affioramenti l'impressione è che la superficie meccanica che separa le Arenarie di Monte Gottero dalle unità sottostanti possa rappresentare la tettonizzazione di un contatto originariamente stratigrafico.

4.2.2 Litozona argillitica caotica (GOTa)

E' rappresentata da **corpi argillitici caotici di spessore decametrico intercalati alle Arenarie di Monte Gottero**, individuabili con buone esposizioni nella zona di M. Corlo, M. Ribone e M. Pero; tali intercalazioni sono costituite essenzialmente da **argilliti nerastre**, talora policrome, che richiamano le argilliti di San Siro.

Nelle argilliti sono inglobati dei blocchi decimetrici e lembi metrici di calcari micritici grigio chiari e biancastri, calcareniti fini, calcari marnosi grigio-scuri e arenarie nerastre fini; tali inclusioni sono quasi sempre rivestiti da patine di ossidi nerastri e lembi arenacei spesso presentano alterazioni ocracee. Sono inoltre compresi lembi metrici delle Arenarie di Monte Gottero, deformati in pieghe molto serrate, antecedenti al completamento del processo di litificazione delle stesse.

Le intercalazioni raggiungono uno spessore massimo di 70 m e si posizionano a differenti livelli nella parte medio-alta della successione.

4.2.3 Argilliti di San Siro (SSI)

La formazione è costituita da argilliti nerastre, grigio-verdastre e rosso-violacee, intercalate da livelli calcilutitici e calcareniti grigiastre; talvolta si notano intercalazioni di sottili torbiditi arenacei in strati di spessore non costante, arenarie grossolane in strati sottili e livelli discontinui di brecciole.

4.2.4 Litozona marnosa (SSla) (Marne di Pontolo)

Localmente è presente una litozona marnosa collocata nella zona alta delle Argilliti di San Siro, a cui risulta intercalata con passaggi anche gradualmente in lembi di geometria molto irregolare, talora lenticolare, spessore decametrico. Si riconoscono marne grigie a volte più argillose o calcaree, in strati molto spessi a base calcarenitica fine laminata, intercalati da orizzonti argillitici nerastri e grigio-verdastri e localmente da siltiti grigio scure.



DEPOSITI CONTINENTALI QUATERNARI

Pleistocene - Olocene

-  a1 **Frane in evoluzione.** Accumuli caotici di elementi litoidi eterogenei ed eterometrici in matrice pelitica, con evidenze di movimento in atto.
-  a2 **Frane quiescenti.** Accumuli caotici di elementi litoidi eterogenei ed eterometrici in matrice pelitica, attualmente quiescenti o stabilizzati.
-  a3 **Depositi di versante.** Coperture detritiche ad elementi litoidi eterogenei ed eterometrici in matrice pelitica e/o sabbiosa, accumulati lungo i versanti per gravità.
-  a6 **Detriti di falda.** Accumuli di elementi litoidi spigolosi ed eterometrici generalmente privi di matrice, alla base di scarpate rocciose.
-  b1 **Depositi alluvionali in evoluzione.** Ghiaie sabbie e localmente blocchi, occupanti l'alveo attuale e i tratti recentemente abbandonati.
-  b2-b4 **Depositi alluvionali terrazzati.** Ghiaie prevalenti sabbie e localmente blocchi, in accumuli fissati dalla vegetazione a varie altezze, in ordini diversi numerati a partire dal più recente (b2).
-  c1 **Depositi glaciali e periglaciali.** Depositi glaciali ad elementi arenacei in matrice limo-sabbiosa, indistinti da coperture detritiche a blocchi e massi spigolosi, in matrice di disaggregazione crioclastica.
-  f1 **Depositi di conca palustre.** Depositi ghiaiosi, sabbiosi e limosi, con abbondante frazione organica vegetale nei livelli più fini.

DOMINIO LIGURE

Viene suddiviso in unità strutturali di seguito elencate nell'ordine geometrico dall'alto verso il basso oppure nell'ordine geografico da SW a NE.

UNITÀ TETTONICA GOTTERO

Cretacico

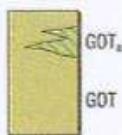
ARENARIE DI MONTE GOTTERO

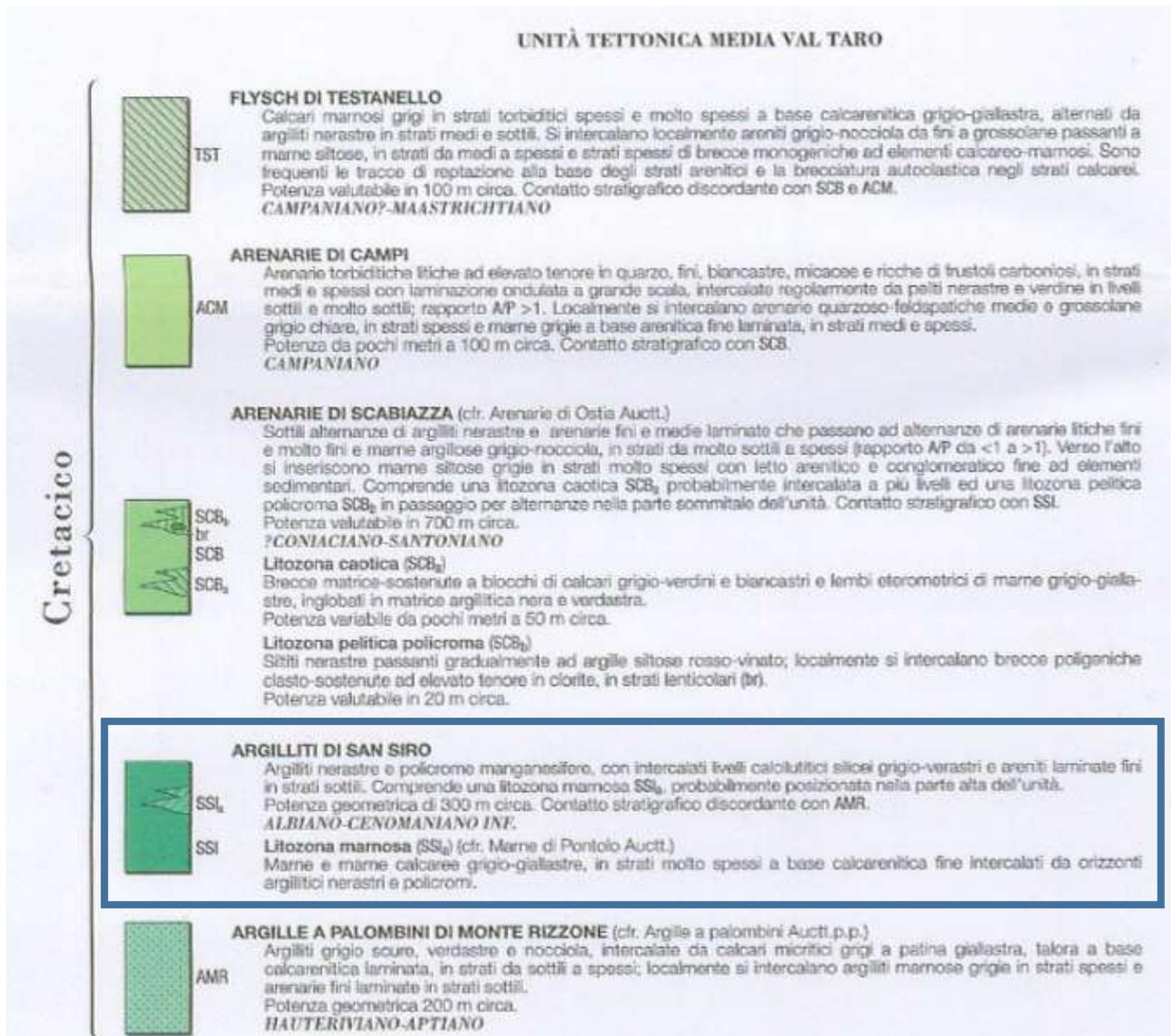
Arenarie torbiditiche quarzoso-feldspatiche medie e grossolane grigio chiare, in strati da spessi a molto spessi, con frequenti intraclasti verdastri e locali basi erosive, alternate da sottili livelli pelitici nerastri; rapporto A/P >>1. Si associano arenarie fini nerastre laminare e peliti nere, in regolari alternanze di strati medi e sottili, con rapporto a/p circa 1. Alla base intercalazioni metriche di arenarie litiche fini grigio-nocciola, in strati sottili e medi, laminati, alternati a siltiti marmose grigio chiare. Comprende una litozona argillitica GOT_g intercalata probabilmente a più livelli. Potenza variabile da 700 a 1000 m circa.

SANTONIANO-PALEOCENE (in aree limitrofe)

Litozona argillitica caotica (GOT_g)

Argilliti nerastre e policrome molto scagliettate, inglobanti blocchi di calcari micritici biancastri e grigi, lembi di bancate calcarenitiche laminare e calcareo-marmose e lembi deformati delle stesse Arenarie di M.Gottero. Si intercala in GOT probabilmente a più livelli. Potenza variabile da 10 a 70 m circa.





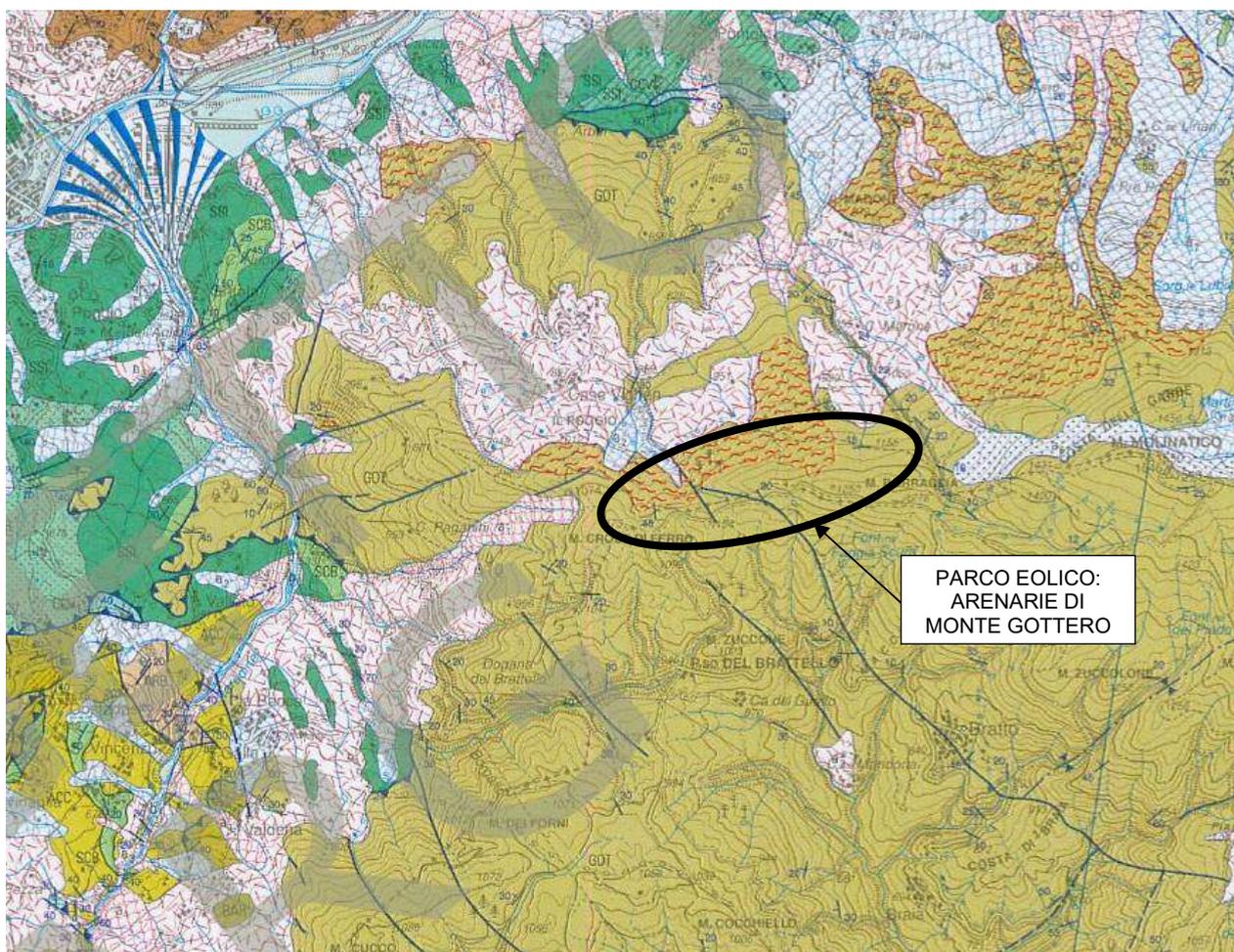
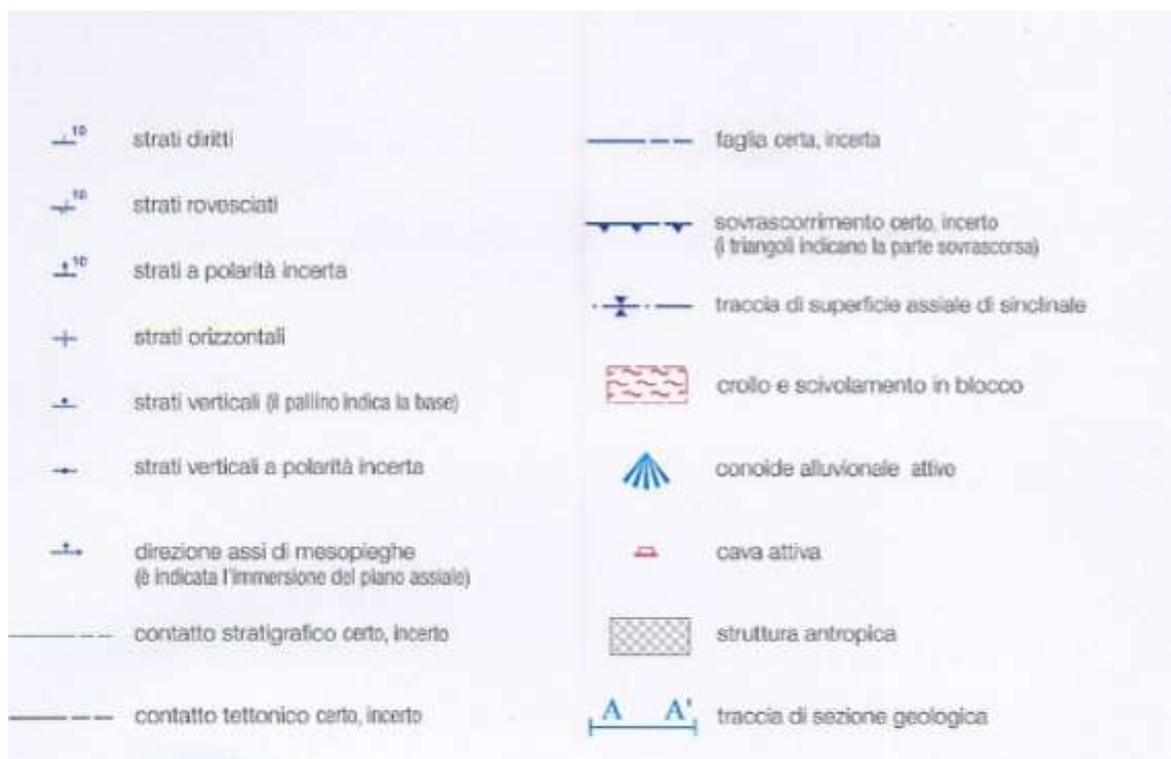


Figura 4.3 - Stralcio da Carta Geologica d'Italia 1: 50.000 – progetto CARG – sito ISPRA – PANORAMICA

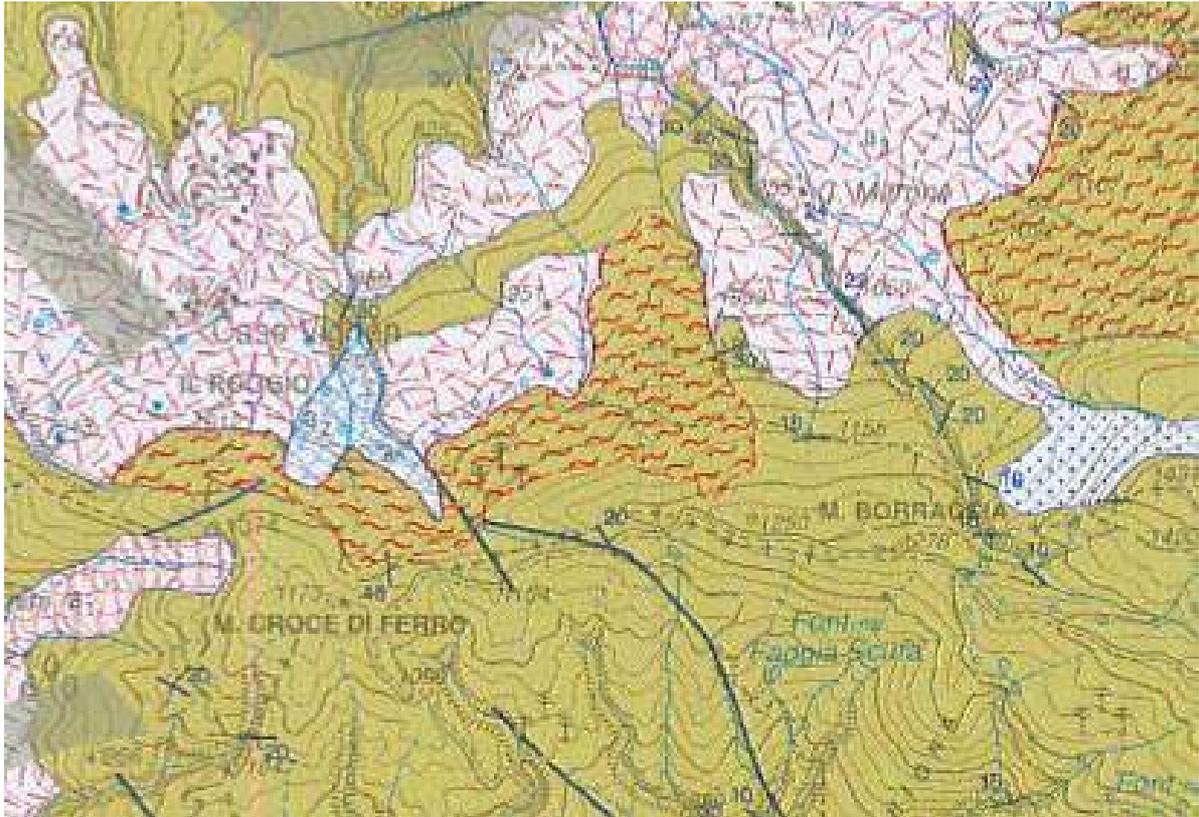


Figura 4.4 - Stralcio da Carta Geologica d'Italia 1: 50.000 – progetto CARG – sito ISPRA – DETTAGLIO



5. QUADRO GEOLOGICO LOCALE - AEROGENERATORI

5.1 Descrizione dei siti degli aerogeneratori

L'area interessata dal progetto è ubicata nel versante settentrionale del crinale toscano-emiliano, nel tratto compreso tra il Monte Croce di Ferro e il Monte Molinatico e ricade completamente nel territorio comunale di Borgo Val di Taro; anche i cavidotti di collegamento fra il parco eolico e la sottostazione dell'impianto, quest'ultima e la stazione elettrica Terna sono interamente previsti nel Comune di Borgo Val di Taro.

Come descritto ampiamente nei paragrafi precedenti, l'area del parco eolico si sviluppa pressochè interamente nell'Unità di Monte Gottero, che caratterizza tutto il crinale della zona oggetto di studio; si tratta di litotipi arenacei contraddistinti da scarsa fratturazione ed elevata resistenza, che risultano poco visibili per la presenza di una copertura detritica che presente comunque spessori molto ridotti.

Osservando l'ubicazione dei siti degli aerogeneratori in progetto, riportata schematicamente nella *Figura 5.1*, si può osservare quanto segue:

- Gli aerogeneratori BT02, BT03, BT05 e BT07 risultano ubicati in corrispondenza di aree caratterizzate dalla formazione delle “Arenarie di Monte Gottero” (GOT), con presenza di copertura fine di ridotta potenza;
- Gli aerogeneratori BT01 e BT04 sono ubicati in corrispondenza di coperture di detrito di versante (a6);
- L'aerogeneratore BT06 è ubicato in corrispondenza di un'area censita come “Deposito di frana quiescente per scivolamento in blocco o DGPV” sviluppato nella formazione delle Arenarie di Monte Gottero (a2h);
- L'area di cantiere è ubicata in corrispondenza di un esteso affioramento di depositi glaciali e periglaciali (c3).

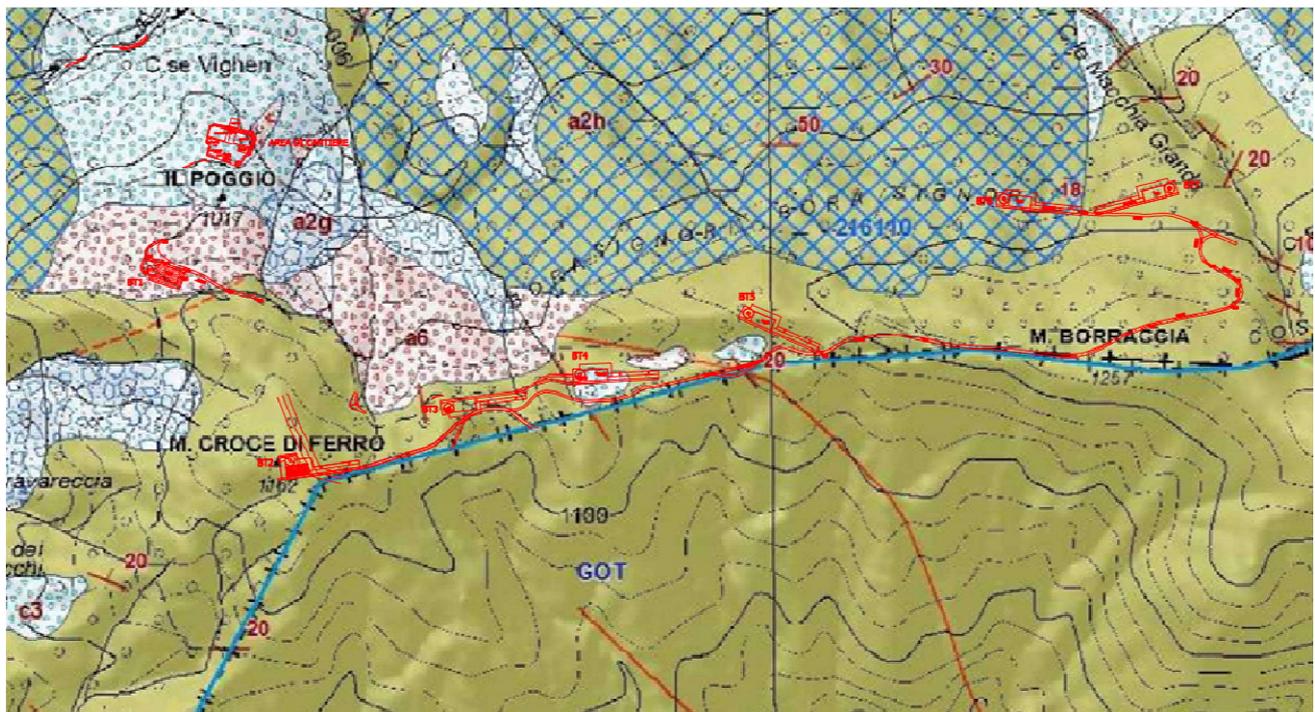


Figura 5.1 – planimetria del campo eolico con ubicazione cantiere e siti aerogeneratori



AEROGENERATORE BT01

Il sito dell'aerogeneratore BT01 è ubicato monte di un piccolo tornante della viabilità che porta da Case Vighini al crinale del Monte Croce di Ferro, ad una quota altimetrica di circa 1.058 m slm.

COORDINATE PIANE: EPSG 25832			
TORRE	COORD. X	COORD. Y	COORD. Z
BT1	564806	4 924469	1 058.00

Come osservabile dalla cartografia geologica della Regione Emilia Romagna, il sito dell'aerogeneratore e della piazzola di esercizio ricadono nel Detrito di Falda (a6) che viene così descritto nel database del webgis regionale: *“Accumulo detritico di origine mista, generato da fenomeni di crollo di tipo intermittente ma prolungato nel tempo, che può essere stato anche rielaborato da episodi prolungati gelo-disgelo e dal ruscellamento delle acque superficiali; i Detriti di falda si trovano alla base di scarpate e lungo versanti molto acclivi.”*

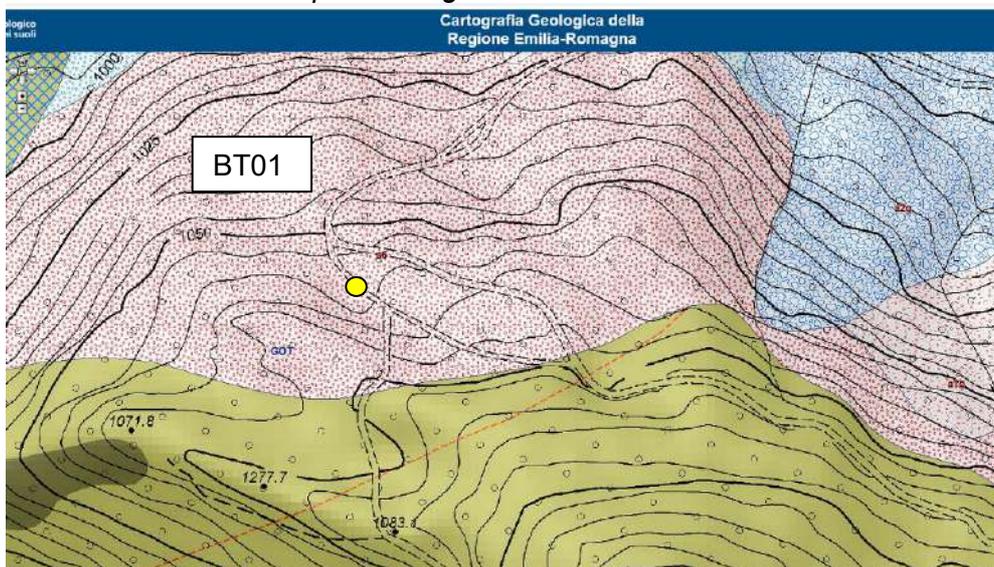


Figura 5.2 – carta geologica aerogeneratore BT01

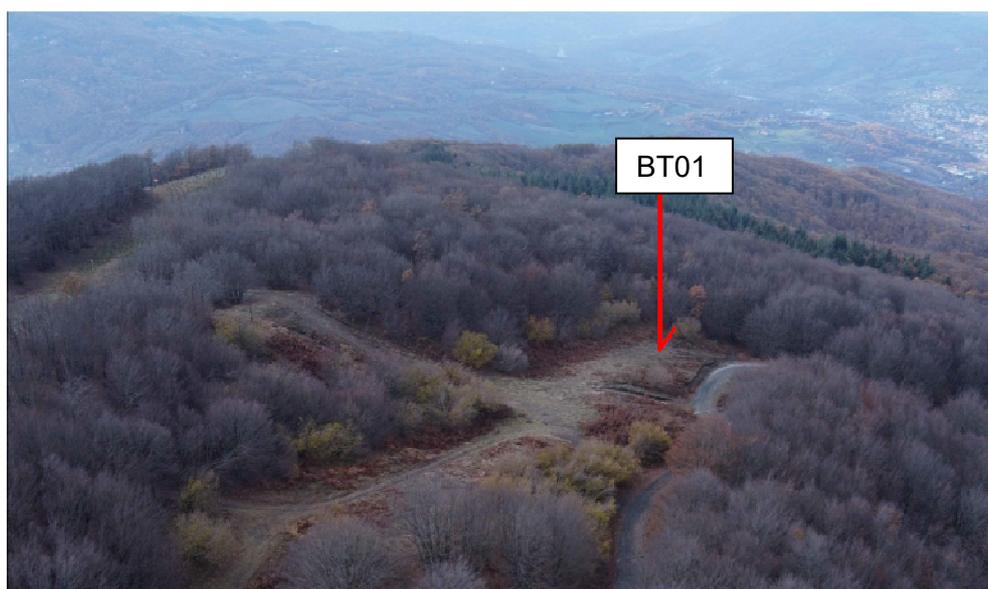


Figura 5.3 – vista aerea del sito aerogeneratore BT01



Figura 5.4 – Vista di dettaglio del sito aerogeneratore BT01

AEROGENERATORE BT02

Il sito dell'aerogeneratore BT02 è ubicato in adiacenza alla sommità del Monte Croce di Ferro, in corrispondenza di una radura posta ad Ovest del tracciato del metanodotto SNAM che collega Pontremoli a Cortemaggiore.

COORDINATE PIANE: EPSG 25832			
TORRE	COORD. X	COORD. Y	COORD. Z
BT2	565046	4 924 040	1 160.00

Come osservabile dalla cartografia geologica della Regione Emilia Romagna, il sito dell'aerogeneratore e della piazzola di esercizio ricadono nelle “Arenarie di Monte Gottero” (GOT – Dominio Ligure); si tratta di rocce costituite da alternanze tra livelli lapidei e livelli pelitici, ammassi rocciosi strutturalmente ordinati costituiti da alternanze tra livelli lapidei (Es: arenarie cementate, calcareniti, calcilutiti ecc.) e livelli pelitici con rapporto tra livelli lapidei e livelli pelitici $3 > L/P > 1/3$.

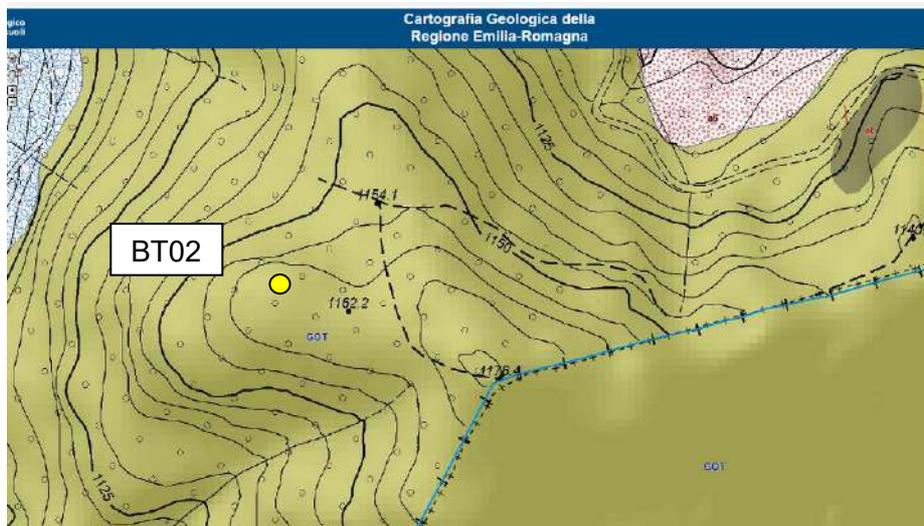


Figura 5.5 – carta geologica aerogeneratore BT02



Figura 5.6 – vista aerea del sito aerogeneratore BT02

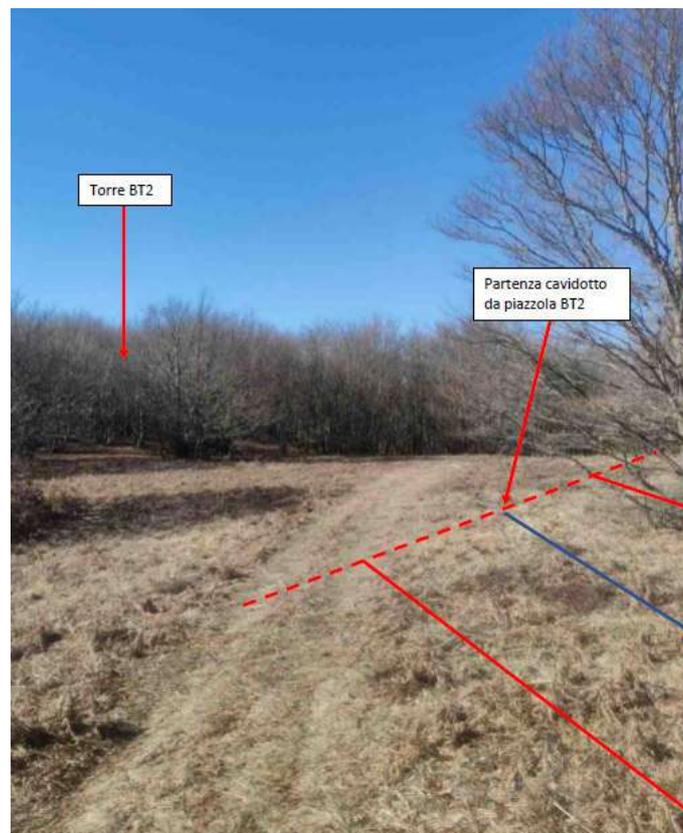


Figura 5.7 – Vista dell'area del sito aerogeneratore BT02



AEROGENERATORE BT03

Il sito dell'aerogeneratore BT03 è ubicato in prossimità del bivio fra la strada che sale da Case Vighini e la strada che sale dal Passo del Bratello, in corrispondenza di una radura a debole pendenza e priva di vegetazione.

COORDINATE PIANE: EPSG 25832			
TORRE	COORD. X	COORD. Y	COORD. Z
BT3	565 475	4 924 154	1 127.00

Come osservabile dalla cartografia geologica della Regione Emilia Romagna, analogamente al sito BT02, il sito dell'aerogeneratore BT03 e della piazzola di esercizio ricadono nelle “Arenarie di Monte Gottero” (GOT – Dominio Ligure); si tratta di rocce costituite da alternanze tra livelli lapidei e livelli pelitici, ammassi rocciosi strutturalmente ordinati costituiti da alternanze tra livelli lapidei (Es: arenarie cementate, calcareniti, calcilutiti ecc.) e livelli pelitici con rapporto tra livelli lapidei e livelli pelitici $3 > L/P > 1/3$.

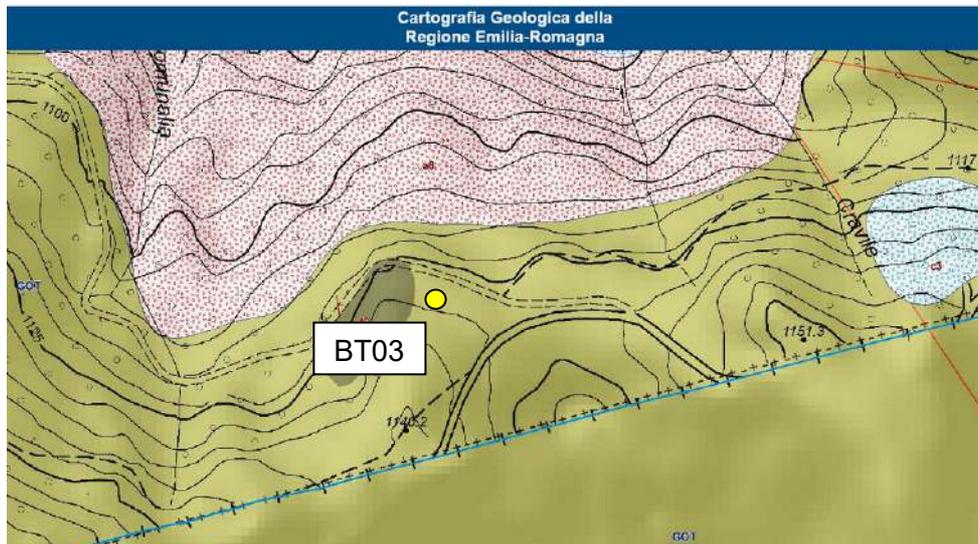


Figura 5.8 – carta geologica aerogeneratore BT03



Figura 5.9 – vista aerea del sito aerogeneratore BT03

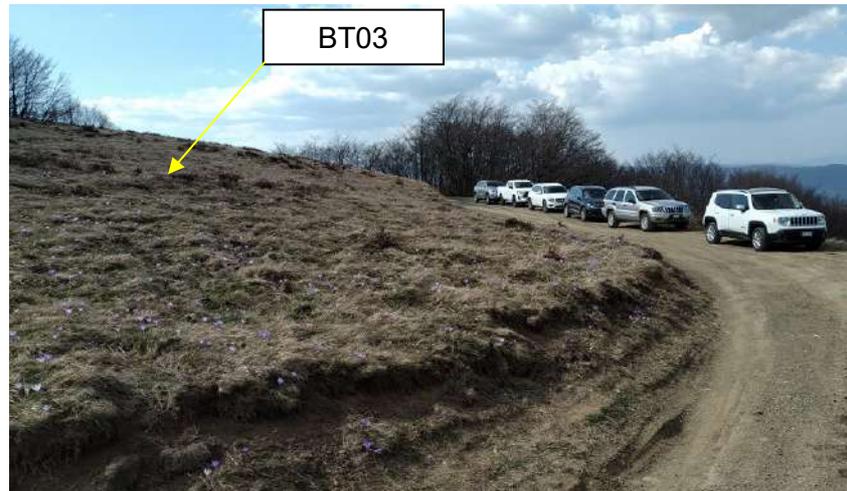


Figura 5.10 – Vista di dettaglio del sito aerogeneratore BT03

AEROGENERATORE BT04

Il sito dell'aerogeneratore BT04 è ubicato in corrispondenza di un versante a debole pendenza e priva di vegetazione, posto a nord della viabilità presente sul crinale.

COORDINATE PIANE: EPSG 25832			
TORRE	COORD. X	COORD. Y	COORD. Z
BT4	565 771	4 924 231	1 117.50

Come osservabile dalla cartografia geologica della Regione Emilia Romagna, il sito dell'aerogeneratore e della piazzola di esercizio ricadono in parte nel Detrito di Falda (a6 "Accumulo detritico di origine mista, generato da fenomeni di crollo di tipo intermittente ma prolungato nel tempo, che può essere stato anche rielaborato da episodi prolungati gelo-disgelo e dal ruscellamento delle acque superficiali; i Detriti di falda si trovano alla base di scarpate e lungo versanti molto acclivi.") e in parte nella formazione delle "Arenarie di Monte Gottero" (GOT – Dominio Ligure).

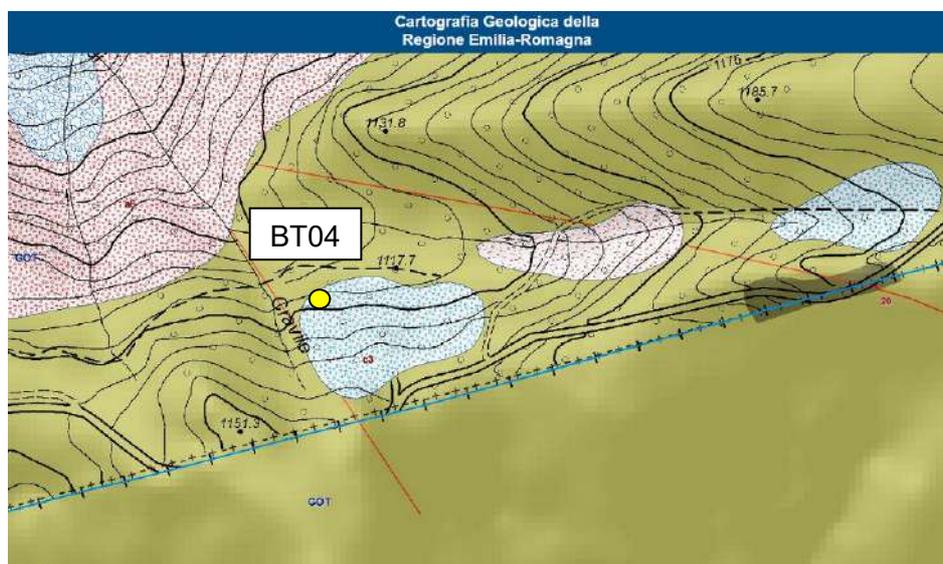


Figura 5.11 – carta geologica aerogeneratore BT04

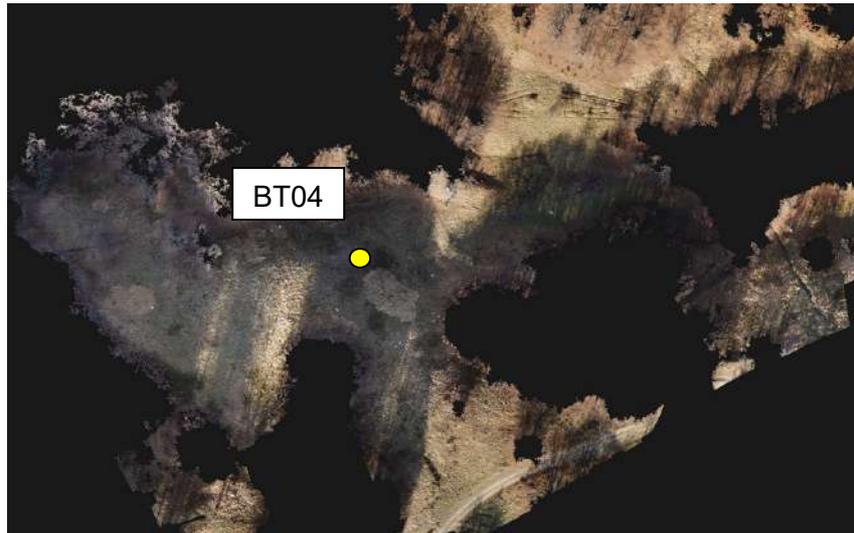


Figura 5.12 – vista aerea del sito aerogeneratore BT04



Figura 5.13 – Vista di dettaglio del sito aerogeneratore BT04

AEROGENERATORE BT05

Il sito dell'aerogeneratore BT05 è ubicato all'incirca a metà strada fra il Monte Croce di Ferro e il Monte Borraccia, in corrispondenza di un rilievo a debole pendenza e privo di vegetazione posto a nord della viabilità presente sul crinale.

COORDINATE PIANE: EPSG 25832			
TORRE	COORD. X	COORD. Y	COORD. Z
BT5	566 150	4 924 371	1 190.00

Come osservabile dalla cartografia geologica della Regione Emilia Romagna, analogamente al sito BT03, il sito dell'aerogeneratore BT05 e della piazzola di esercizio ricadono nelle “Arenarie di Monte Gottero” (GOT – Dominio Ligure); si tratta di rocce costituite da alternanze tra livelli lapidei e livelli pelitici, ammassi rocciosi strutturalmente ordinati costituiti da alternanze tra livelli lapidei (Es:



arenarie cementate, calcareniti, calcilutiti ecc.) e livelli pelitici con rapporto tra livelli lapidei e livelli pelitici $3 > L/P > 1/3$.

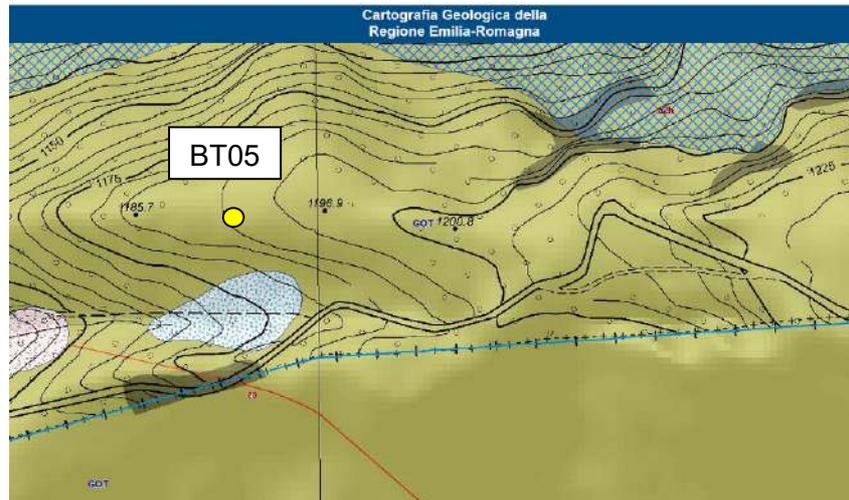


Figura 5.14 – carta geologica aerogeneratore BT05

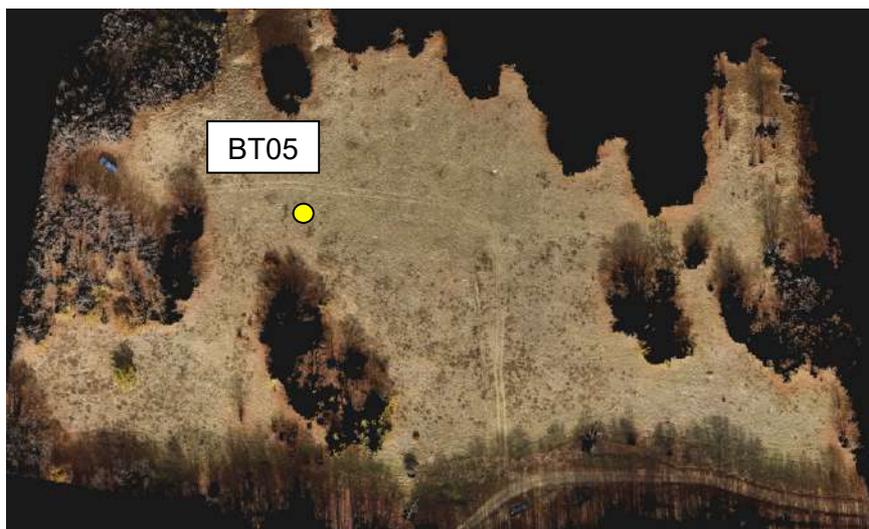


Figura 5.15 – vista aerea del sito aerogeneratore BT05



Figura 5.16 – Vista di dettaglio del sito aerogeneratore BT05



AEROGENERATORE BT06

Il sito dell'aerogeneratore BT06 è ubicato in corrispondenza del versante nord di Monte Borraccia ed è raggiungibile da un percorso di viabilità poderali che parte da quella presente sul crinale e scende lungo il pendio fino all'incirca alla isoipsa 1.150 m slm. L'area dell'aerogeneratore e della piazzola è caratterizzata dalla presenza di una faggeta.

COORDINATE PIANE: EPSG 25832			
TORRE	COORD. X	COORD. Y	COORD. Z
BT6	566 727	4 924 633	1 147.00

Come osservabile dalla cartografia geologica della Regione Emilia Romagna il sito dell'aerogeneratore BT06 e della piazzola di esercizio ricadono in un settore delle “Arenarie di Monte Gottero” che fu interessato da deformazioni gravitative profonde di versante (a2h – deposito di frana quiescente per scivolamento in blocco o DGPV); gli scivolamenti in blocco sono depositi costituiti da masse di dimensioni più o meno rilevanti di roccia che, pur sciolte lungo una o più superfici di scorrimento, traslativa e/o rotazionale, conservano al loro interno la coerenza stratigrafica della roccia di provenienza. Si trovano spesso nella parte alta dei versanti e su vaste superfici e sono in grande prevalenza in stato di attività quiescente o soggette a movimenti estremamente lenti. Le DGPV (Deformazioni gravitative profonde di versante) sono movimenti di masse che coinvolgono interi versanti e che si attuano attraverso una deformazione perlopiù lenta e progressiva della massa rocciosa senza che sia presente in profondità un vero piano di scorrimento. Anch'esse presentano caratteristiche di movimenti estremamente lenti. Le due tipologie sono spesso di difficile distinzione e pertanto sono state rappresentate insieme.

Si tratta di depositi gravitativi senza evidenze di movimenti in atto o recenti, alla data del rilevamento o dell'aggiornamento. Generalmente si presentano con profili regolari, vegetazione con grado di sviluppo analogo a quello delle aree circostanti non in frana, assenza di terreno smosso e assenza di lesioni recenti a manufatti, quali edifici o strade. Per queste frane sussistono oggettive possibilità di riattivazione poiché le cause preparatorie e scatenanti che hanno portato all'origine e all'evoluzione del movimento gravitativo non hanno, nelle attuali condizioni morfoclimatiche, esaurito la loro potenzialità. Sono quindi frane ad attività intermittente con tempi di ritorno lunghi, generalmente superiori a vari anni. Rientrano in questa categoria anche i corpi franosi oggetto di interventi di consolidamento, se non supportati da adeguate campagne di monitoraggio o da evidenze di drastiche modifiche all'assetto dei luoghi.

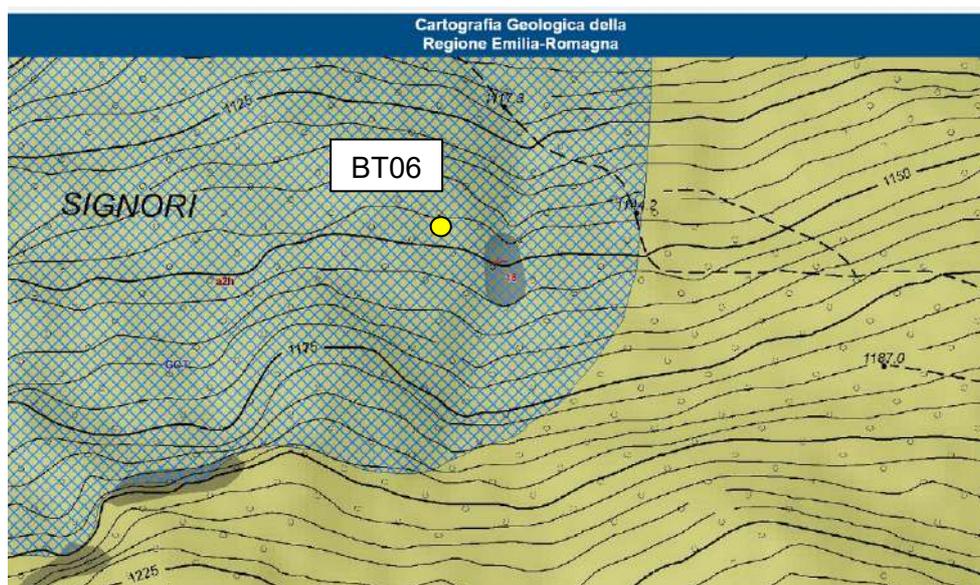


Figura 5.17 – carta geologica aerogeneratore BT06



Figura 5.18 – vista aerea del sito aerogeneratore BT06

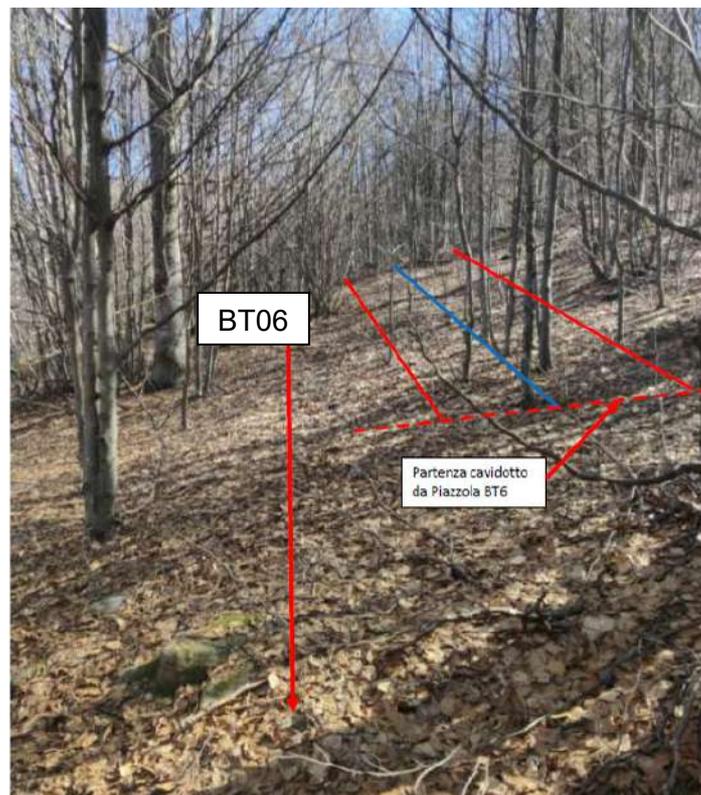


Figura 5.19 – Vista di dettaglio del sito aerogeneratore BT06



AEROGENERATORE BT07

Il sito dell'aerogeneratore BT07 è ubicato in corrispondenza del versante nord di Monte Borraccia ed è raggiungibile da un percorso di viabilità podereale che parte da quella presente sul crinale e scende lungo il pendio fino all'incirca alla isoipsa 1.150 m slm. Il sito è posto ad est dell'aerogeneratore BT06 in corrispondenza di un'area priva di alberature, ma in adiacenza a bosco ceduo di taglio recentissimo.

COORDINATE PIANE: EPSG 25832			
TORRE	COORD. X	COORD. Y	COORD. Z
BT7	567 100	4 924 658	1 150.00

Come osservabile dalla cartografia geologica della Regione Emilia Romagna, il sito dell'aerogeneratore BT07 e della piazzola di esercizio ricadono nelle “Arenarie di Monte Gottero” (GOT – Dominio Ligure); si tratta di rocce costituite da alternanze tra livelli lapidei e livelli pelitici, ammassi rocciosi strutturalmente ordinati costituiti da alternanze tra livelli lapidei (Es: arenarie cementate, calcareniti, calcilutiti ecc.) e livelli pelitici con rapporto tra livelli lapidei e livelli pelitici $3 > L/P > 1/3$.

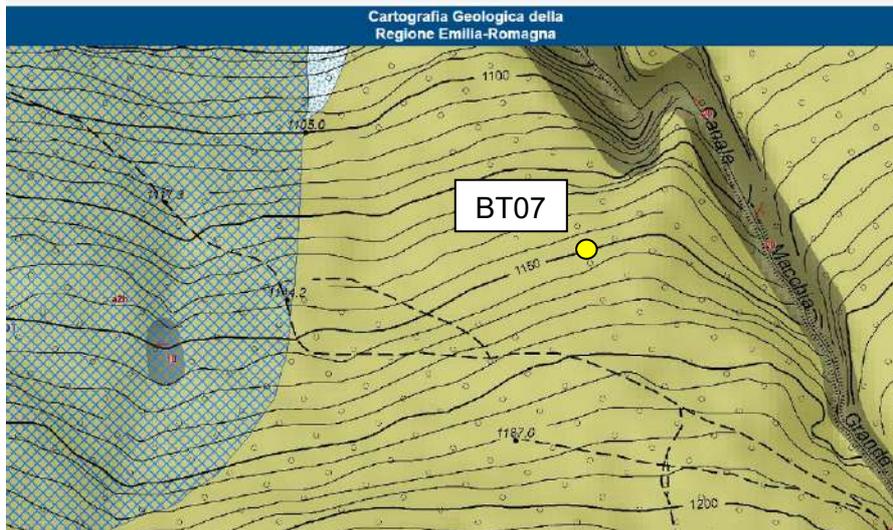


Figura 5.20 – carta geologica aerogeneratore BT07

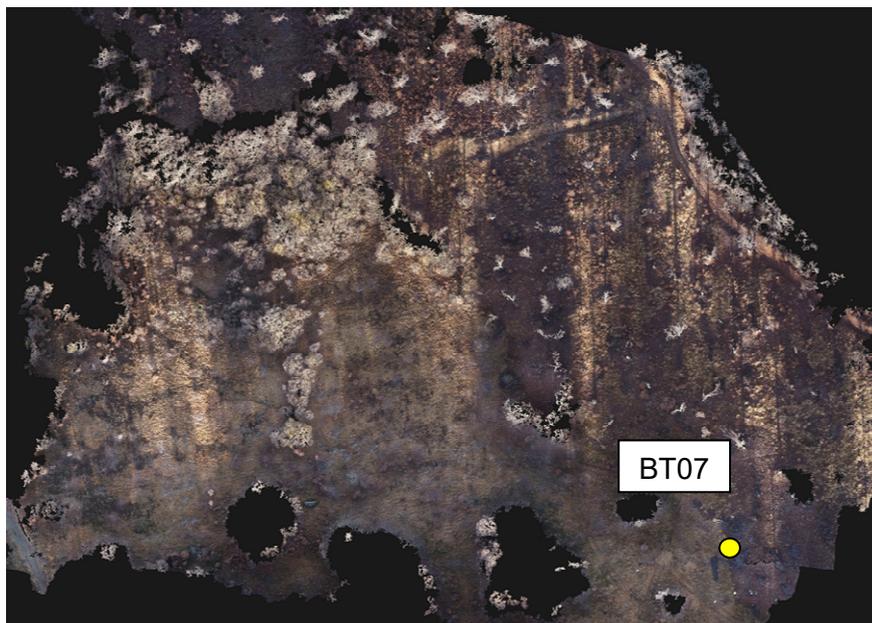




Figura 5.21 – vista aerea del sito aerogeneratore BT07

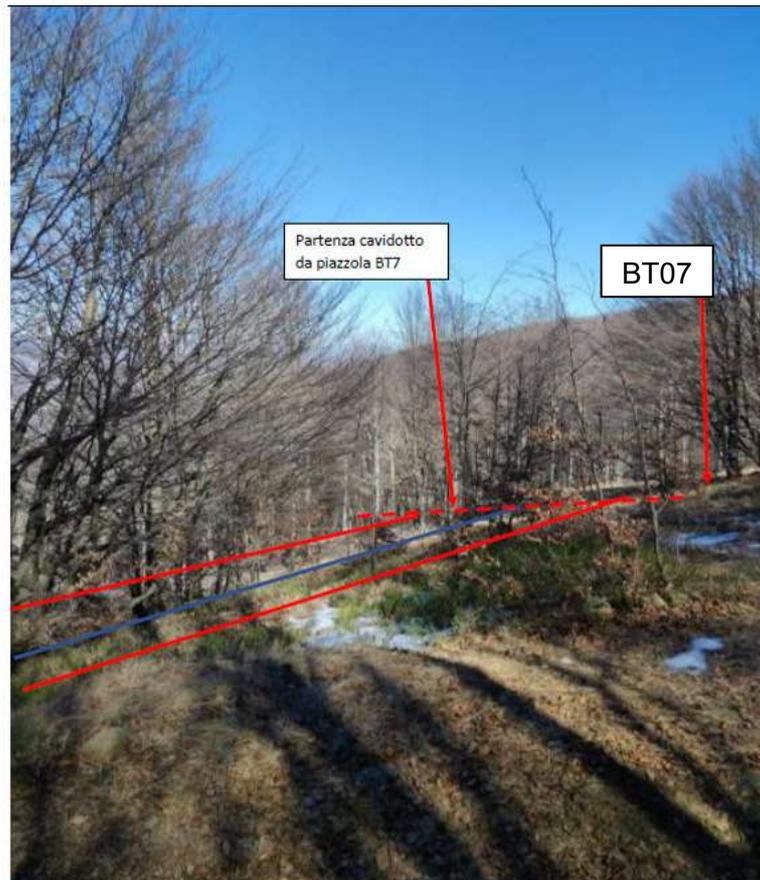


Figura 5.22 – Vista di dettaglio del sito aerogeneratore BT07

AREA DI CANTIERE

L'area logistica di cantiere è ubicata in corrispondenza di un versante con deboli pendenze in località Il Poggio; si tratta di un'ampia area che presenta scarsa vegetazione ed è localizzata poco a valle rispetto al futuro parco eolico.

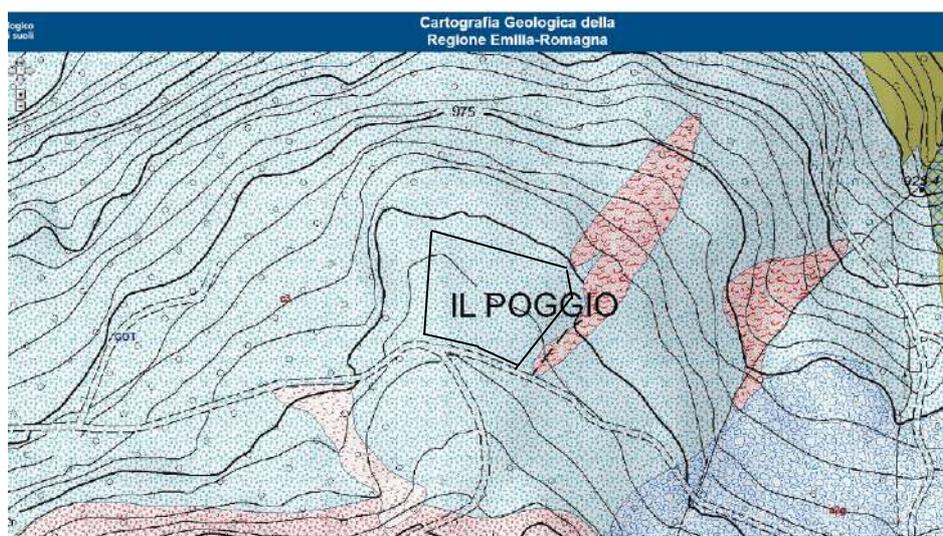


Figura 5.23 – carta geologica area di cantiere

Come osservabile dalla cartografia geologica della Regione Emilia Romagna, il sito dell'area di cantiere ricade nel Detrito di Falda (a6) che viene così descritto nel database del webgis regionale: “*Accumulo detritico di origine mista, generato da fenomeni di crollo di tipo intermittente ma*



prolungato nel tempo, che può essere stato anche rielaborato da episodi prolungati gelo-disgelo e dal ruscellamento delle acque superficiali; i Detriti di falda si trovano alla base di scarpate e lungo versanti molto acclivi." A nord-est dell'area di cantiere è presente una piccola frana attiva, non interessata dal sedime dell'opera temporanea ma solo dalle opere di regimazione idraulica per un corretto scolo e deflusso delle acque.



Figura 5.24 – vista aerea dell'area di cantiere



Figura 5.25 – Vista di dettaglio dell'area di cantiere



5.2 Indagini geognostiche

Con la finalità di definire la sequenza lito-stratigrafica del sottosuolo e la caratterizzazione fisico-meccanica dei terreni interessati dalle opere in progetto sono state eseguite le seguenti indagini geognostiche (G-R.1-Tav.3a – Planimetria indagini geognostiche):

- n° 4 prove penetrometriche dinamiche tipo D.P.S.H. (dynamic penetrometer super heavy,) approfondite fino a rifiuto;
- n° 7 rilievi sismici tomografici a rifrazione con stendimenti sismici di lunghezza 120 m, in corrispondenza di tutti e / i siti degli aerogeneratori.

In questa fase progettuale (progetto definitivo) la programmazione delle indagini geognostiche è stata finalizzata alla caratterizzazione delle situazioni di maggior importanza, sia in relazione alle caratteristiche geologiche dei siti sia in relazione ai vincoli dettati dalla pianificazione provinciale e comunale.

Premesso che nella successiva fase di progettazione esecutiva saranno eseguiti **sondaggi meccanici a rotazione** spinti alla profondità minima necessaria per il raggiungimento e la perforazione del bedrock in ciascun sito degli aerogeneratori e **prove sismiche di tipo down-hole in foro** per la determinazione della V_{seq} , attualmente si è deciso di intervenire puntualmente sulle situazioni ritenute maggiormente doverose di approfondimento, utilizzando questi criteri:

- le indagini penetrometriche sono state eseguite in corrispondenza di tutti i siti degli aerogeneratori raggiungibili dalla viabilità esistente senza dover eseguire opere provvisorie per il transito dei mezzi; secondo tale criterio, in questa fase sono rimasti esclusi i siti BT04, BT06 e BT07 in quanto ubicati in zone più difficoltose per il loro raggiungimento;
- gli stendimenti sismici con la tecnica a rifrazione sono stati eseguiti in tutti i siti, al fine di fornire sezioni sismostratigrafiche ad integrazione delle informazioni bibliografiche esistenti sulla formazione geologica ivi presente.

Nella Fig. 7.10 si riporta la planimetria con l'ubicazione delle indagini che viene di seguito illustrata:

- BT01: sito ubicato in corrispondenza di affioramento di detrito di versante, che ricopre la formazione delle “Arenarie di Monte Gottero” – eseguita prova penetrometrica DPSH04 spinta fino alla profondità di 3,60 m dal p.c. e stendimento sismico a rifrazione Tomografia L1;
- BT02: sito ubicato sul Monte Croce di Ferro in corrispondenza di affioramento di “Arenarie di Monte Gottero” – eseguita prova penetrometrica DPSH02 spinta fino alla profondità di 1,20 m dal p.c. e stendimento sismico a rifrazione Tomografia L2;
- BT03: sito ubicato in corrispondenza di affioramento di “Arenarie di Monte Gottero” – eseguita prova penetrometrica DPSH03 spinta fino alla profondità di 1,60 m dal p.c. e stendimento sismico a rifrazione Tomografia L3;
- BT04: sito ubicato in corrispondenza di affioramento di “Arenarie di Monte Gottero” – eseguito stendimento sismico a rifrazione Tomografia L4;
- BT05: sito ubicato in corrispondenza di affioramento di “Arenarie di Monte Gottero” – eseguita prova penetrometrica DPSH01 spinta fino alla profondità di 1,60 m dal p.c. e stendimento sismico a rifrazione Tomografia L5;
- BT06: sito ubicato in corrispondenza di affioramento di “a2h - Deposito di frana quiescente per scivolamento in blocco o DGPV” – eseguito stendimento sismico a rifrazione Tomografia L6;
- BT07: sito ubicato in corrispondenza di affioramento di “Arenarie di Monte Gottero” – eseguito stendimento sismico a rifrazione Tomografia L7.



Figura 5.26 – planimetria delle indagini geognostiche

5.2.1 Prove penetrometriche dinamiche tipo D.P.S.H.

Per la realizzazione delle prove DPSH è stata utilizzata la Sonda: DPSH - TG 63-100 PAGANI (Figura 5.27) avente le seguenti Caratteristiche Tecniche:

- *Peso massa battente: 63.5 Kg*
- *Altezza di caduta libera: 0.75 m*
- *Peso sistema di battuta: 8 Kg*
- *Diametro punta conica: 50.46 mm*
- *Area di base della punta: 20 cm²*
- *Lunghezza delle aste: 1 m*
- *Peso aste al metro: 6.3 Kg/m*
- *Profondità di giunzione prima asta: 0.80 m*
- *Avanzamento punta: 0.20 cm*
- *Numero di colpi per punta: N (20)*
- *Angolo di apertura punta: 90°*
- *Coefficiente di correlazione: 1.504*
- *Rivestimento/fanghi: No*

Le DPSH sono prove penetrometriche che permettono di fornire i numeri di colpi necessari ad infiggere, per una data profondità, una punta conica di dimensioni e forma standardizzate consentendo di restituire un maggior dettaglio per quanto riguarda le variazioni di resistenza alla penetrazione lungo la verticale.



Figura 5.27 – sonda Pagani utilizzata per le prove DPSH

Procedura di indagine

Le prove dinamiche vengono eseguite a partire da piano campagna attuale stando attenti alla verticalità delle aste: se la prova dovesse deviare per più di 2° allora deve essere terminata poiché l'indagine in profondità sarebbe troppo lontana dalla verticale del punto di indagine.

L'infissione si realizza mantenendo tra i 15 ed i 30 colpi al minuto in modo continuo e se dovessero essere eseguite interruzioni superiori ai 5 minuti devono essere segnate. Il report derivante dall'indagine in sito mostrerà il numero di colpi per ogni 20 cm di affondamento, la prova si riterrà conclusa al raggiungimento della profondità di indagine oppure quando lo strumento raggiungerà valori di rifiuto.

Per l'area oggetto di indagine sono state eseguite n°4 prove DPSH denominate DPSH1, DPSH2, DPSH 3 e DPSH4 rispettivamente portate alla profondità di: 1.60 m da p.c.; 1.20 m da p.c.; 1.60 m da p.c. e 3.60 m da p.c..

5.2.2 Indagini sismiche a rifrazione

Le indagini sono state effettuate con SISMOGRAFO AMBROGEO mod. ECHO24/2010 (www.ambrogeo.eu). In *Figura 5.28* è mostrata la scheda tecnica del sismografo utilizzato per questa indagine.



AMBR GEO Strumenti per Geofisica

Seismograph ECHO 24 Seismic Unit

- Monitor: Touchscreen/External laptop
- Number of channels: 12-24 x 1
- A/D Conversion: 24 bits
- Dynamic range: 130dB @ 1ms PG=0dB
- Cross talk: 130dB @ 1ms PG=18dB
- Preampify gain: -38dB
- Frequency response: 0db, 6db, 12db, 24db, 30 db, 36 db
- Acquisition and display filter: 0 to 60Hz (30kSPS)
- Sampling interval: 0 to 4.8kHz (19kSPS)
- Record length: 0 to 9kHz (7.5kSPS)
- Stacking trigger accuracy: 0 to 1.8kHz (3.5kSPS)
- Distortion (THD): 0 to 800Hz (2kSPS)
- Max input signal: 0 to 400Hz (1kSPS)
- CMR: Low Cut Off
- Noise: 10,15,25,35,50,70,100,200,280,400 Hz
- Pre-trigger data: 32us, 64us, 128us, 256us, 480us, 960us
- Delay: 18000 samples
- Temperature range: 1/32 of samples interval
- Power: 0.0004 %
- Connector: 27pin DDB
- Continuous recording: 115dB ICM +80Hz (DATA = 30kSPS)
- Output format: 8.25uV/2ms, 38dB
- Connector: 524ms @ 32us sample interval
- Connector: 0 to 2500ms step 10ms
- Connector: -30°C/+70°C
- Connector: 12 V
- Connector: HNSB
- Connector: SEG-YSEG2 / SAF (BESAME ASCII FORMAT)
- Connector: 61-pin Bantex connector - NK27-pin Cannon connector

Figura 5.28 – sismografo utilizzato per le tomografie

Il metodo sismico a rifrazione è un metodo che si basa sulla misura dei tempi di primo arrivo delle onde sismiche (P e/o S) generate in superficie da una sorgente sismica e rilevate da ricevitori (geofoni), anch'essi in superficie, disposti su un allineamento a diverse distanze dalla sorgente. L'analisi della velocità di propagazione delle onde elastiche nel sottosuolo, longitudinali (V_p) e/o trasversali (V_s), ottenuta conoscendo la distanza sorgente-ricevitore ed il relativo tempo di arrivo dell'impulso sismico (velocità=spazio/tempo), consente di rilevare in sintesi le proprietà fisiche e meccaniche dei terreni, poiché i valori di V_p e/o V_s sono proporzionali al grado di compattezza dei mezzi percorsi (Figura 5.29).

Litotipi	V_p [m/s] min-max	V_s [m/s] min-max
TERRENI E ACQUA		
Alluvioni	400 - 2000	200 - 800
Sabbia asciutta	200 - 1000	80 - 400
Sabbia satura (in funzione anche del grado di saturazione)	600 - 2300	250 - 450
Sabbia siltosa	600 - 1900	200 - 600
Sabbia e ghiaia	300 - 1800	300 - 600
Limo	650 - 1250	240 - 480
Argilla	1000 - 2500	300 - 600
Argilla sabbiosa	600 - 2500	200 - 450
Acqua	1450 - 1500	0
ROCCE SEDIMENTARIE		
Argillite	2100 - 4400	550 - 2100
Arenaria	2000 - 6000	950 - 3100
Arenaria fratturate	800 - 2100	380 - 950
Calcere	2000 - 7000	1000 - 3300
Calcere fratturato	750 - 1500	330 - 1000
Calcarenite	1400 - 4400	800 - 2500
Calcarenite fratturata	600 - 1300	330 - 800
Marna	1500 - 2000	300 - 500
ROCCE IGNEE		
Basalto	1800 - 5000	1000 - 3000
Basalto fratturato	950 - 1350	480 - 700
Granitoidi	1600 - 5000	900 - 3000
Granitoidi fratturati	1000 - 1750	500 - 900
Piroclastite coerente	750 - 2500	350 - 1100
Piroclastite incoerente	350 - 1000	160 - 450

Figura 5.29 – Valori di velocità delle onde P ed S dei principali litotipi. Fonti: Hearey e Brooks 1991, R. E. Sheriff and L. P. Geldart

1995, Bala et al 2005, Corrao e Coco 2006



Si fa presente che le velocità delle onde P misurate per terreni perfettamente saturi ($S_r = 100\%$) dipendono talora in maniera decisiva dalle vibrazioni trasmesse dal fluido interstiziale e non dallo scheletro solido del materiale e perciò tale valore può non essere rappresentativo delle proprietà meccaniche del materiale in questione. Invece, le velocità delle onde S sono caratteristiche delle vibrazioni trasmesse prevalentemente dal solo scheletro solido e, perciò, rappresentative delle proprietà meccaniche del terreno. Ne consegue che per alcuni terreni al di sotto della falda le uniche onde in grado di fornire informazioni precise sulla rigidezza del terreno sono quelle di taglio (S).

Procedura di indagine

Per l'individuazione delle caratteristiche sismiche che costituiscono il settore oggetto di interesse sono stati realizzati stendimenti sismici a rifrazione, elaborati con metodologia tomografica 2D tramite il programma RAYFRACT, generando onde sismiche di compressione (onde P) e di taglio (onde S), utilizzando, rispettivamente, sensori verticali e orizzontali per la determinazione dei tempi di arrivo.

Gli stendimenti sismici a rifrazione sono stati effettuati utilizzando un sismografo ECHO 24/2010 Seismic Unit, attrezzato con 24 geofoni verticali e orizzontali con frequenza propria di 4,5 Hz (Figura 3), disposti ad interassi di 5 m per una lunghezza totale di ogni stesa di 115 m (Figura 5.30).

L'energizzazione sul terreno delle onde di compressione e di taglio è stata effettuata con mazza da 8 kg battente su piastra in polizene. Date le particolari condizioni di lavoro dovute all'elevato rumore ambientale generato dal forte vento, per aumentare il rapporto segnale/rumore si è proceduto alla somma di più energizzazioni (stacking) sia per la registrazione delle onde P che S.

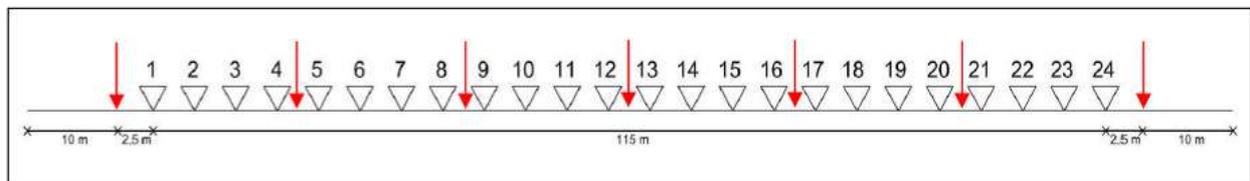


Figura 5.30 – Schema geometrico delle acquisizioni a sismica a rifrazione, i triangoli indicano la posizione dei geofoni, mentre le frecce rosse indicano i punti di energizzazione

In seguito alla fase di acquisizione del dato è stata eseguita l'elaborazione tomografica. Partendo dai dati del picking è stata effettuata l'elaborazione con il software RAYFRACT che parte da un modello iniziale generato con la tecnica Deltat-V. Successivamente viene effettuata l'inversione iterativa del modello con la tecnica WET (Wavepath Eikonal Traveltime tomography) che analizza la propagazione dei vari fronti d'onda generati nei punti di energizzazione fino ad ogni geofono. Il modello stratigrafico ottenuto come insieme di elementi caratterizzati da una specifica velocità viene quindi rappresentato mediante il contour a linee di isovelocità. La colorazione dei vari elementi segue una scala cromatica riferita ad una predefinita sequenza di velocità che facilita l'immediata visione dei risultati.

5.2.3 Dati geognostici bibliografici

In aggiunta alle indagini sopracitate sono state reperite ulteriori indagini (sondaggi e prove di laboratorio) relative alla formazione delle “Arenarie di Monte Gottero”, localmente molto estesa e rappresentata e costituente il substrato su cui poggeranno le fondazioni degli aerogeneratori in progetto:

- Prove di compressione monoassiale su campioni cubici (da Oppimitti 2002);



- Prove di laboratorio su campioni estratti dai sondaggi c/o il Passo del Bratello (SNAM metanodotto Pontremoli – Cortemaggiore, 2008)

5.3 Analisi dei dati e caratterizzazione fisico-meccanica

L’osservazione diretta delle aree interessate dalle opere in progetto durante i sopralluoghi, le informazioni geologiche reperite dalla bibliografia e le ricostruzioni lito-stratigrafiche derivate dalle indagini hanno consentito di definire in modo sufficientemente dettagliato (in rapporto all’attuale livello di progettazione il quadro litologico e stratigrafico del sottosuolo locale.

Le informazioni raccolte mediante l’esecuzione delle **prove penetrometriche dinamiche DPSH** hanno consentito, oltre alla caratterizzazione dei terreni presenti superficialmente (coperture detritiche), di determinare puntualmente l’approfondimento del substrato roccioso delle “Arenarie di Monte Gottero”.

Le **tomografie sismiche**, eseguite lungo le linee di massima pendenza del versante in asse di ciascun aerogeneratore, con elaborazione sia per le onde longitudinali (Vp) sia per quelle di taglio (Vs), hanno consentito di estendere al settore di versante e alle piazzole le informazioni puntuali delle penetrometrie, permettendo di eseguire una stima “mirata” degli spessori dei corpi detritici di copertura.

5.3.1 Elaborazione ed interpretazione prove DPSH

L’analisi è stata condotta seguendo una scansione corrispondente alla stratimetria, con lo scopo di ottenere, per ciascun parametro geotecnico, il valore medio (Vm) per ciascun orizzonte litologico individuato, prendendo in considerazione tutti i dati ad esso relativi.

Si riporta, a titolo esemplificativo, tabella di correlazione fra il numero di colpi e i principali parametri geotecnici relativi sia a terreni prevalentemente granulari, sia a terreni prettamente coesivi:

<i>SPT N₃₀</i>	< 4	4 - 10	10 - 30	30 - 50	>50
Stato di addensamento (Raccomandazioni AGI,	<i>molto sciolto</i>	<i>sciolto</i>	<i>moderatame nte</i>	<i>addensat o</i>	<i>molto addensato</i>
Angolo d’attrito $\varphi' (^{\circ})$ (Peck, et al., 1953/1974)	< 27°	27° - 30°	30° - 36°	36° - 42°	> 42°
peso di volume secco $\gamma_d (t/m_3)$ (Terzaghi e Peck, 1948/1967)	< 1.4	1.4 - 1.5	1.5 - 1.7	1.7 - 2.2	> 2.2
peso di volume saturo $\gamma_{sat} (t/m_3)$ (Terzaghi e Peck, 1948/1967)	< 1.8	1.8 - 1.9	1.9 - 2.0	2.0 - 2.2	> 2.2

<i>SPT N₃₀</i>	<2	2- 4	4 - 8	8 - 15	15 - 30	>30
Consistenza terreni (Raccomandazioni AGI, 1977)	<i>privo di consistenza</i>	<i>poco consistente</i>	<i>moderat. consistente</i>	<i>consisten te</i>	<i>molto consistente</i>	<i>duro</i>
coesione non drenata C_u in kg/cmq (Terzaghi e Peck, 1948/1967)	< 0.1	0.1 - 0.25	0.25 - 0.5	0.5 - 1.0	1.0 - 2.0	> 2
peso di volume saturo $\gamma_{sat} (t/m_3)$ (Terzaghi e Peck, 1948/1967)	< 1.7	1.7 - 1.8	1.8 - 1.9	1.9 - 2.0	2.0 - 2.2	> 2.2

Figura 5.31 – tabelle di correlazione



Nel seguito, per ciascun sito indagato, si riporta la foto del piazzamento, la tabella dei dati elaborati e lo schema grafico della prova.

AEROGENERATORE BT01 – prova DPSH04



PROVA Nr.4

Strumento utilizzato... DPSH TG 63-100 PAGANI
Prova eseguita in data 27/09/2021
Profondità prova 3,60 mt
Falda non rilevata

Tipo elaborazione Nr. Colpi: Medio

Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Kg/cm ²)	Res. dinamica (Kg/cm ²)	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (Kg/cm ²)	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (Kg/cm ²)
0,20	2	0,855	16,61	19,44	0,83	0,97
0,40	9	0,851	74,41	87,46	3,72	4,37
0,50	2	0,847	16,46	19,44	0,82	0,97
0,80	2	0,843	16,39	19,44	0,82	0,97
1,00	3	0,840	22,65	26,97	1,13	1,35
1,20	5	0,836	37,59	44,95	1,88	2,25
1,40	12	0,833	89,85	107,88	4,49	5,39
1,60	11	0,830	82,03	98,89	4,10	4,94
1,80	11	0,826	81,71	98,89	4,09	4,94
2,00	8	0,823	55,08	66,91	2,75	3,35
2,20	10	0,820	68,59	83,63	3,43	4,18
2,40	12	0,817	82,01	100,36	4,10	5,02
2,60	11	0,814	74,91	92,00	3,75	4,60
2,80	10	0,811	67,86	83,63	3,39	4,18
3,00	9	0,809	56,90	70,37	2,85	3,52
3,20	15	0,756	88,66	117,28	4,43	5,86
3,40	24	0,703	131,99	187,64	6,60	9,38
3,60	50	0,601	234,90	390,92	11,74	19,55

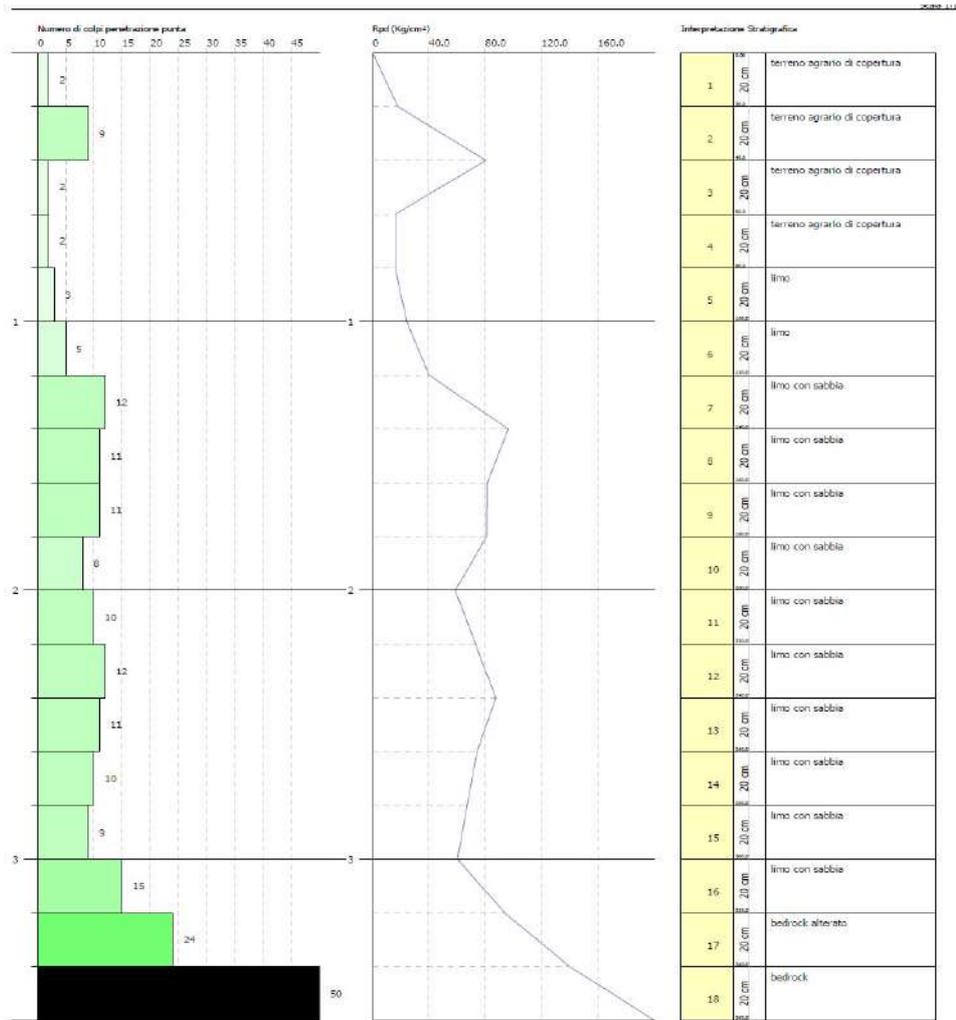


Figura 5.32 – foto del piazzamento prova DPSH04, dati acquisiti ed elaborati e schema grafico

AEROGENERATORE BT02 – prova DPSH02



PROVA Nr.2

Strumento utilizzato... DPSH TG 63-100 PAGANI
 Prova eseguita in data 27/09/2021
 Profondità prova 1,20 mt
 Falda non rilevata

Tipo elaborazione Nr. Colpi: Medio

Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Kg/cm ²)	Res. dinamica (Kg/cm ²)	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (Kg/cm ²)	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (Kg/cm ²)
0,20	1	0,855	8,31	9,72	0,42	0,49
0,40	1	0,851	8,27	9,72	0,41	0,49
0,60	1	0,847	8,23	9,72	0,41	0,49
0,80	13	0,793	100,22	126,33	5,01	6,32
1,00	39	0,640	224,30	350,60	11,22	17,53
1,20	50	0,636	286,00	449,49	14,30	22,47

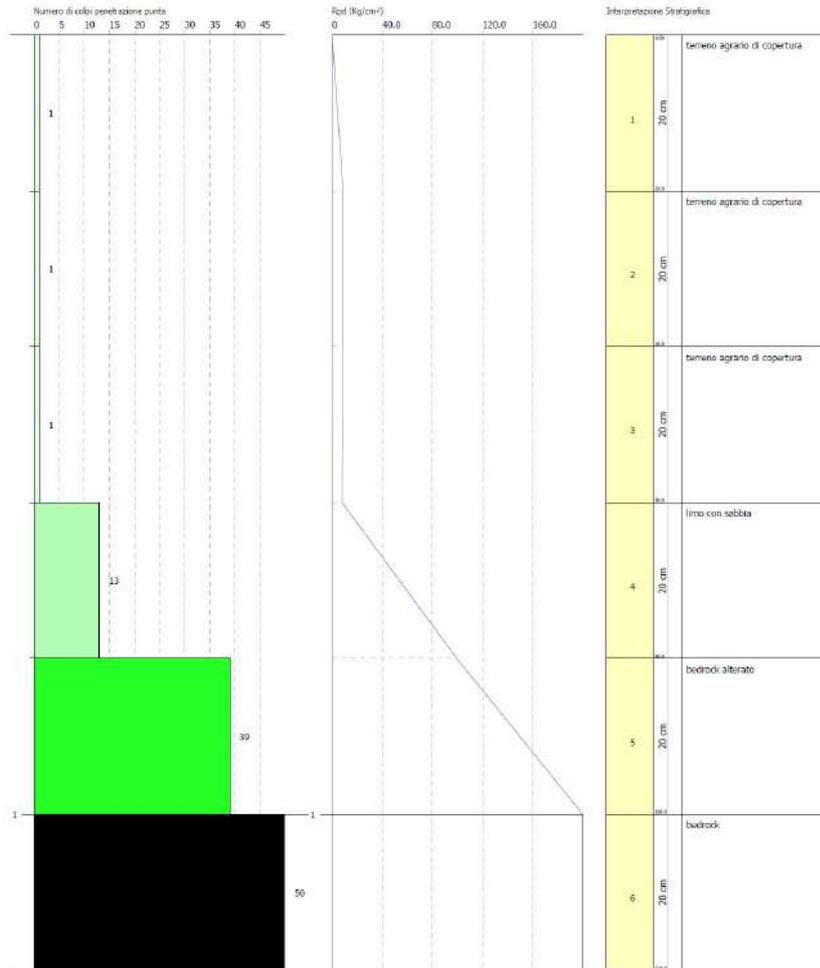
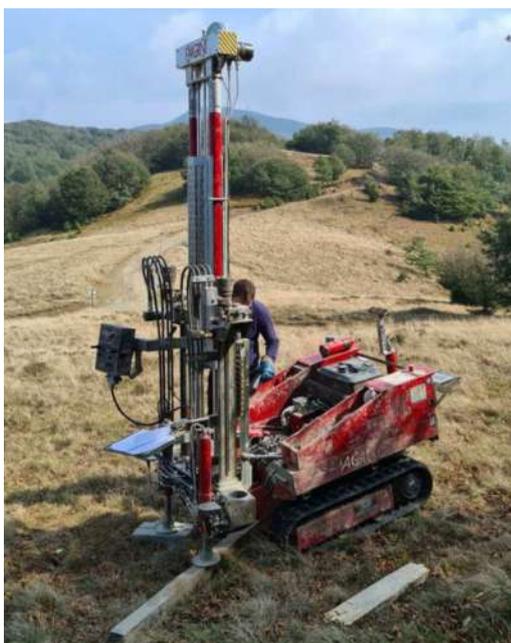


Figura 5.33 – foto del piazzamento prova DPSH02, dati acquisiti ed elaborati e schema grafico

AEROGENERATORE BT03 – prova DPSH03



PROVA Nr.3

Strumento utilizzato... DPSH TG 63-100 PAGANI
 Prova eseguita in data 27/09/2021
 Profondità prova 1,60 mt
 Falda non rilevata

Tipo elaborazione Nr. Colpi: Medio

Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Kg/cm²)	Res. dinamica (Kg/cm²)	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (Kg/cm²)	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (Kg/cm²)
0,20	1	0,855	8,31	9,72	0,42	0,49
0,40	3	0,851	24,80	29,15	1,24	1,46
0,60	3	0,847	24,69	29,15	1,23	1,46
0,80	4	0,843	32,78	38,87	1,64	1,94
1,00	5	0,840	37,75	44,95	1,89	2,25
1,20	7	0,836	52,63	62,93	2,63	3,15
1,40	15	0,783	105,57	134,85	5,28	6,74
1,60	50	0,630	282,98	449,49	14,15	22,47

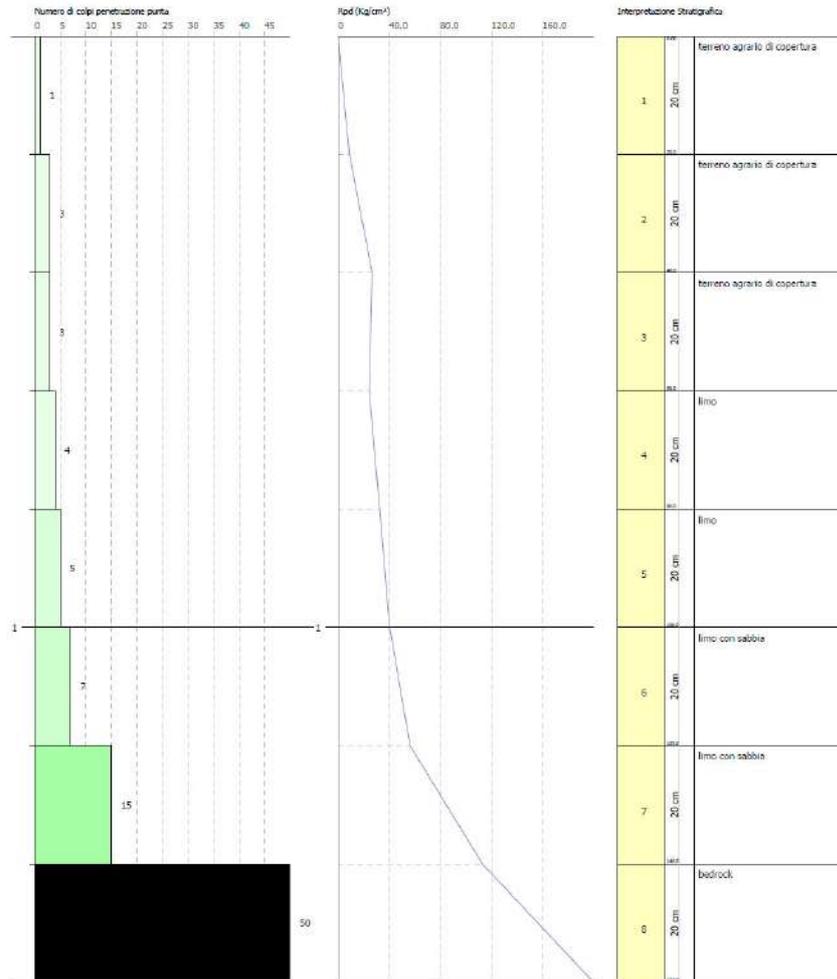


Figura 5.34 – foto del piazzamento prova DPSH03, dati acquisiti ed elaborati e schema grafico

AEROGENERATORE BT05 – prova DPSH01



PROVA Nr.1

Strumento utilizzato... DPSH TG 63-100 PAGANI
 Prova eseguita in data 27/09/2021
 Profondità prova 1,60 mt
 Falda non rilevata

Tipo elaborazione Nr. Colpi: Medio

Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Kg/cm²)	Res. dinamica (Kg/cm²)	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (Kg/cm²)	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (Kg/cm²)
0,20	1	0,855	8,31	9,72	0,42	0,49
0,40	1	0,851	8,27	9,72	0,41	0,49
0,60	3	0,847	24,69	29,15	1,23	1,46
0,80	11	0,843	90,15	106,90	4,51	5,34
1,00	29	0,740	192,86	260,71	9,64	13,04
1,20	30	0,736	198,57	269,70	9,93	13,48
1,40	27	0,733	177,89	242,73	8,89	12,14
1,60	50	0,630	282,98	449,49	14,15	22,47

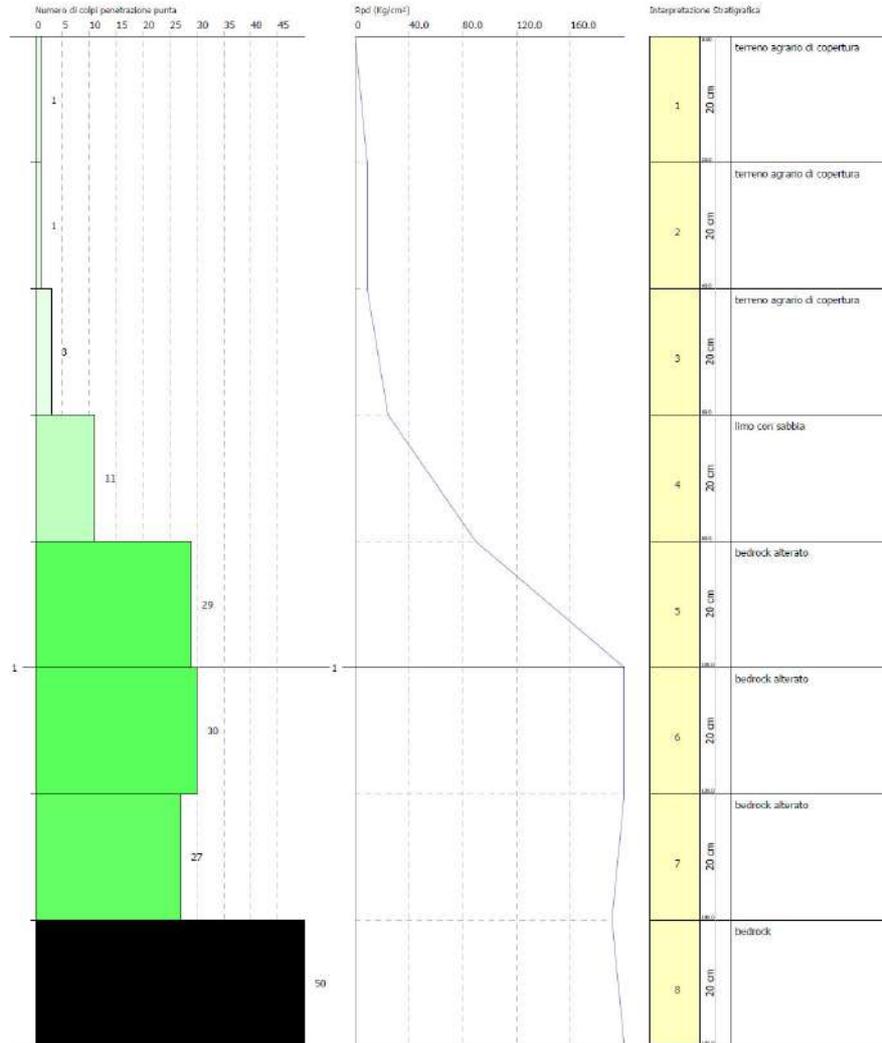


Figura 5.35 – foto del piazzamento prova DPSH01, dati acquisiti ed elaborati e schema grafico

Ad eccezione della prova DPSH04 (aerogeneratore BT01), che è ubicata nel detrito di versante, le ulteriori prove penetrometriche hanno evidenziato la presenza di una copertura con spessori insignificanti ai fini geotecnici e trascurabili dal punto di vista progettuale (1,0-1,6 m).

Si riporta nel seguito la sola caratterizzazione geotecnica della prova DPSH04 relativa ai materiali del Detrito di Versante.

Detrito di versante DPSH04 – AEROGENERATORE BT01										
	γ		γ_{sat}		D_r (Meyerhof 1957)	φ' (Meyerhof 1956)	E_d (Buisman Sanglerat)		E (Bowles, 1982)	
	t/m^3	kN/m^3	t/m^3	kN/m^3	%	°	kg/cm^2	kPa	kg/cm^2	kPa
	1.95	19.12	1.97	19.32	94.59	25.11	107.22	10514.70	164.35	16117.24
1.91	18.73	1.96	19.22	88.91	24.68	98.28	9637.98	156.9	15386.64	
1.91	18.73	1.96	19.22	87.03	24.68	98.28	9637.98	156.9	15386.64	
1.79	17.55	1.93	18.93	72.64	23.4	71.46	7007.84	134.55	13194.85	
1.88	18.44	1.95	19.12	79.51	24.25	89.34	8761.27	149.45	14656.05	
1.95	19.12	1.97	19.32	85.34	25.11	107.22	10514.70	164.35	16117.24	
1.91	18.73	1.96	19.22	80.16	24.68	98.28	9637.98	156.9	15386.64	
1.88	18.44	1.95	19.12	74.97	24.25	89.34	8761.27	149.45	14656.05	
1.84	18.04	1.94	19.02	69.77	23.83	80.4	7884.55	142	13925.45	
2.04	20.01	1.99	19.52	88.49	26.38	133.98	13138.95	186.65	18304.12	
VALORI MEDI	1.91	18.69	1.96	19.20	82.14	24.64	97.38	9549.72	156.15	15313.09
VALORI MIN	1.81	17.77	1.93	18.97	71.06	23.59	75.48	7402.36	137.90	13523.62



5.3.2 Elaborazione ed interpretazione prospezioni tomografiche con tecnica a rifrazione

I dati ottenuti in fase di acquisizione hanno consentito la costruzione di una matrice di valori di velocità che, mediante software RAYFRACT, ha restituito un modello stratigrafico di velocità mediante visualizzazione grafica in 2D.

Le sezioni tomografiche sono di seguito descritte.

AEROGENERATORE BT01 – tomografia sismica L1

Nel sito dell'aerogeneratore BT01 è stata eseguita una stesa denominata “Tomografia Sismica L1”, in direzione circa NW-SE, di lunghezza pari a 115 m con 24 geofoni avente passo intergeofonico di 5 m (Figura 5.36).

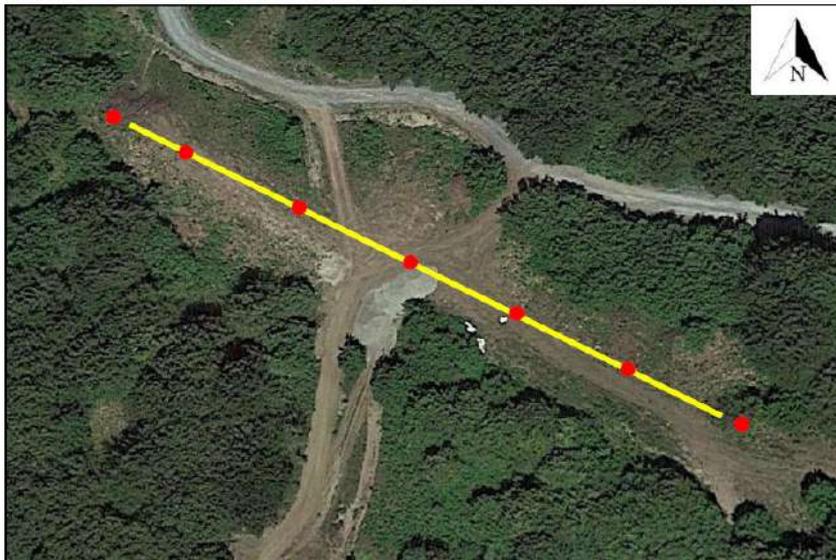


Figura 5.36 – Ubicazione in dettaglio della prima stesa, denominata “Tomografia Sismica L1”. La linea gialla mostra la geometria della stesa avente come estremi i geofoni 1 e 24, mentre i pallini rossi evidenziano i punti di energizzazione

tomografia onde P

L'esame della sezione sismica tomografica in onde P evidenzia la presenza di valori che variano tra 300 e 3500 m/sec per una profondità massima di 45 metri da p.c., identificando settori con caratteristiche diverse (Figura 5.37).

Da superficie sino a circa 4-5 m i valori di velocità variano tra 400 e 1100 m/sec, con andamento leggermente ondulato ed incrementanti con la profondità identificando un primo orizzonte superficiale di terreno detensionato.

Le isovelocità mostrano un andamento molto ondulato, in particolare si osserva una zona, tra i geofoni 9-20, dove si raggiungono alte velocità più velocemente rispetto all'inizio e alla fine della sezione analizzata. Questa zona si osserva a partire da circa -10.00 m da p.c. dove sono state osservate velocità intorno ai 1300 m/sec. All'aumentare della profondità questa zona tende a chiudersi a triangolo fino alla quota di circa -37.00-38.00 m da p.c. dove l'isovelocità di 3300 m/sec risulta piuttosto lineare e immergente in direzione del pendio.

Come accennato, all'inizio e alla fine della stesa le velocità tendono ad aumentare più lentamente, a circa - 10.00 m da p.c. si osservano velocità di propagazione intorno ai 1300 m/sec, al di sotto le velocità tendono ad aumentare di 500 m/sec ogni 8-9 metri circa.

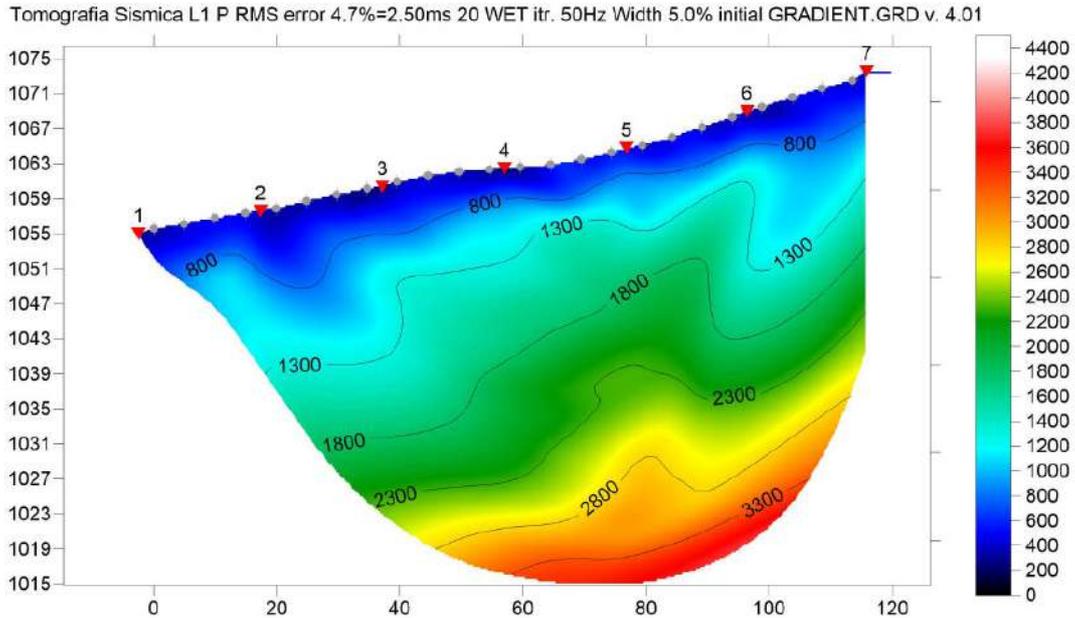


Figura 5.37 – stendimento L1 - tomografia onde P

tomografia onde S

L'esame della sezione sismica tomografica in onde S evidenzia la presenza di valori che variano tra 250 e 1200 m/sec per una profondità massima di indagine di 26-27 metri da p.c., la geometria delle linee di isovelocità risultano molto ondulate (Figura 5.38).

Da superficie sino a circa 4-5 m i valori di velocità variano tra 250 e 350 m/sec, con andamento ondulato ed incrementanti con la profondità identificando un primo orizzonte superficiale di terreno detensionato.

A profondità maggiori le isovelocità si presentano estremamente ondulate soprattutto a partire da circa -10.00 m da p.c. (<600m/sec) dove le geometrie delle linee di isovelocità risultano avere andamento simile a quello descritto per le onde P. Si fa presente anche l'accentuata ondulazione dell'isovelocità 600 m/sec che genera una stretta piega tra i geofoni 18-21 ad una profondità compresa tra -7.00 m e -12.00 m da p.c..

Al di sotto di tale isovelocità si registra un aumento della velocità stessa di 500 m/sec ogni 6-7 metri circa.

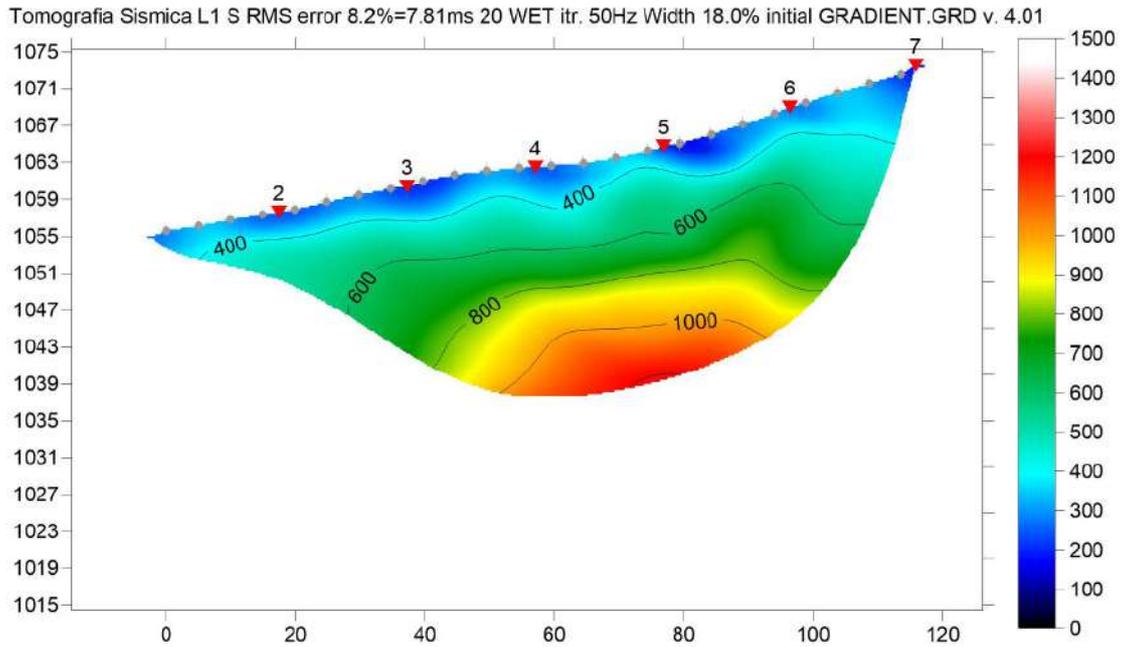


Figura 5.38 – stendimento L1 - tomografia onde S

AEROGENERATORE BT02 – tomografia sismica L2

Nel sito dell'aerogeneratore BT02 è stata eseguita una stesa denominata “Tomografia Sismica L2”, in direzione circa E-W, di lunghezza pari a 115 m con 24 geofoni avente passo intergeofonico di 5 m (Figura 5.39).

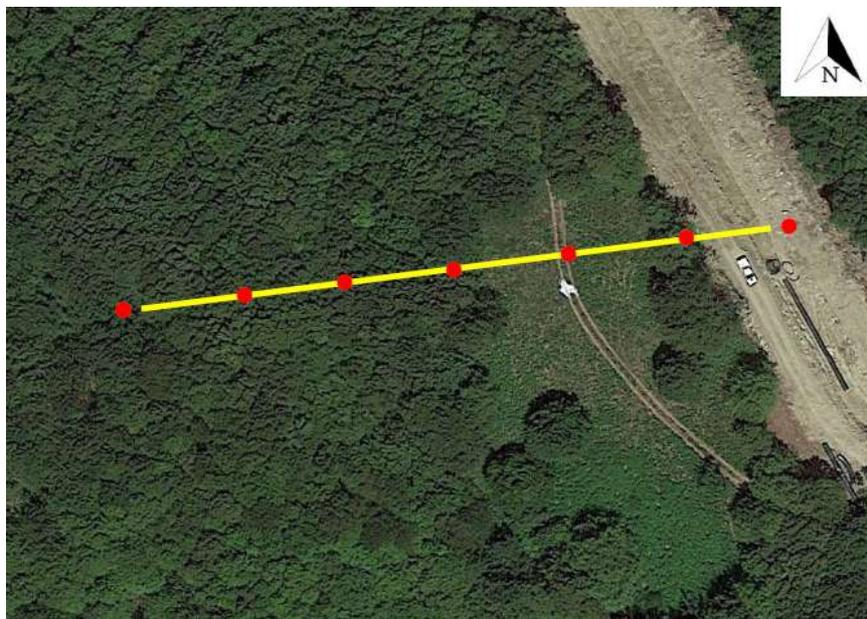


Figura 5.39 – Ubicazione in dettaglio della prima stesa, denominata “Tomografia Sismica L2”. La linea gialla mostra la geometria

della stesa avente come estremi i geofoni 1 e 24, mentre i pallini rossi evidenziano i punti di energizzazione

tomografia onde P



L'esame della sezione sismica tomografica in onde P evidenzia la presenza di valori che variano tra 400 e 3600 m/sec per una profondità massima di indagine di 37-38 metri da p.c., identificando settori con caratteristiche diverse.

Da superficie sino a circa 4-5 m i valori di velocità variano tra 400 e 1100 m/sec, con andamento leggermente ondulato ed incrementanti con la profondità identificando un primo orizzonte superficiale di terreno detensionato. Successivamente sino a circa 11-12 m i valori di velocità aumentano gradualmente con la profondità mantenendo un andamento leggermente ondulato fino a velocità di circa 1900 m/sec.

Oltre dette profondità i valori incrementano più lentamente sino a circa 2300 m/sec ad una profondità massima di circa 28-30 m, tali valori di velocità raggiungono la massima profondità tra i geofoni 11-18, mentre tendono ad essere più superficiali verso l'inizio, circa 20 m di profondità, e la fine della stesa dove gradualmente passano da 28-30 m fino a circa 10 m da p.c. al di sotto del 24esimo geofono. Inoltre, tra i geofoni 9-18 tra le profondità di 15 m e circa 22-23 m si osserva una zona a velocità superiori rispetto al contorno che si attestano tra 2300 e 2700 m/sec.

Alla profondità di circa 28-30 m si è identificato il tetto di un sismostrato che presenta un rapido aumento delle velocità fino ad un massimo di circa 3600 m/sec a circa 40 m di profondità.

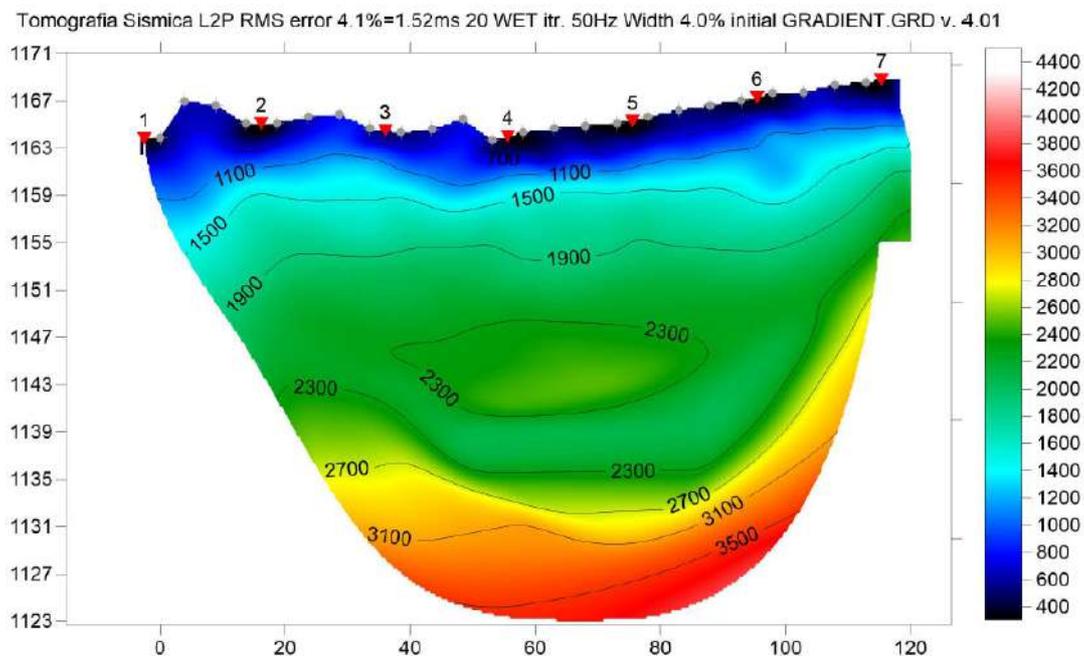


Figura 5.40 – stendimento L2 - tomografia onde P

tomografia onde S

L'esame della sezione sismica tomografica in onde S evidenzia la presenza di valori che variano tra 300 e 1800 m/sec per una profondità massima di indagine di circa 35-36 metri da p.c.; la geometria delle linee di isovelocità risulta ondulata ma tendenzialmente orizzontale lungo tutta la sezione osservata.

Da superficie sino a circa 4-5 m i valori di velocità variano tra 300 e 500 m/sec, con andamento leggermente ondulato ed incrementanti con la profondità identificando un primo orizzonte superficiale di terreno detensionato.

A profondità maggiori si assiste ad un graduale aumento delle velocità di circa 300 m/sec ogni 10 m circa.

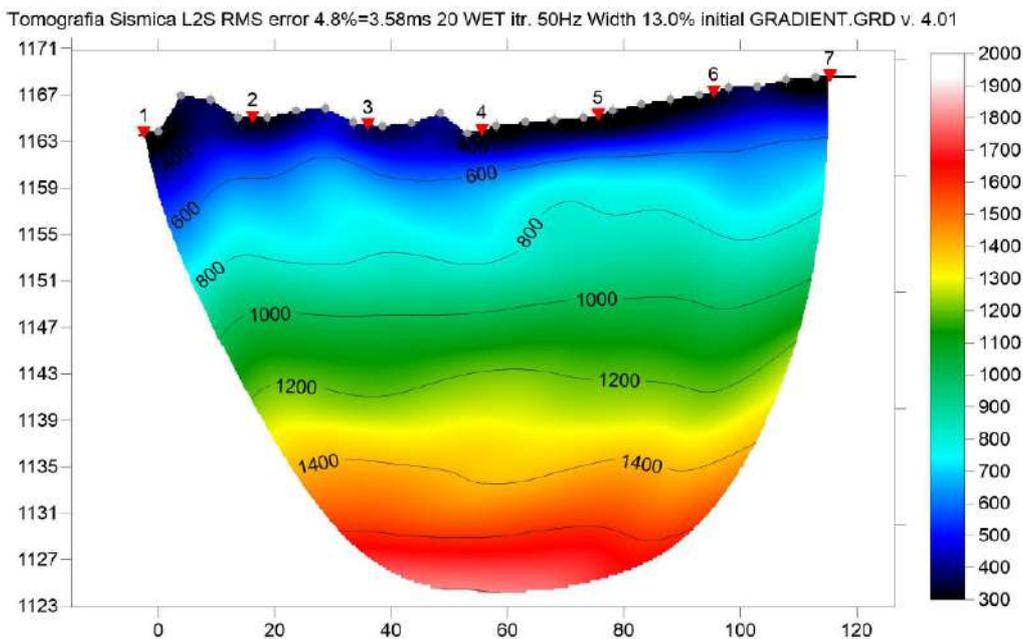


Figura 5.41 – stendimento L2 - tomografia onde S

AEROGENERATORE BT03 – tomografia sismica L3

Nel sito dell'aerogeneratore BT03 è stata eseguita una stesa denominata "Tomografia Sismica L3", in direzione circa N-S, di lunghezza pari a 115 m con 24 geofoni avente passo intergeofonico di 5 m (Figura 5.42); per motivi legati alla lunghezza dello stendimento e al transito sulla viabilità esistente non è stato possibile estendere lo stendimento fino al punto di progetto del BT03.



Figura 5.42 – Ubicazione in dettaglio della prima stesa, denominata "Tomografia Sismica L3". La linea gialla mostra la geometria della stesa avente come estremi i geofoni 1 e 24, mentre i pallini rossi evidenziano i punti di energizzazione



tomografia onde P

L'esame della sezione sismica tomografica in onde P evidenzia la presenza di valori che variano tra 300 e 4900 m/sec per una profondità massima di indagine di circa 55 metri da p.c., identificando settori con caratteristiche diverse.

Da superficie sino a circa 9-10 m da p.c. i valori di velocità variano tra 400 e 1300 m/sec, con andamento leggermente ondulato. A profondità maggiori, tra i geofoni 1-13, le linee di isovelocità si presentano subparallele tra loro ed al pendio, hanno un andamento leggermente ondulatorio ma nel complesso quasi lineare.

Inoltre, si assiste ad un graduale aumento delle velocità di circa 500 m/sec ogni 8-9 m circa, fino alla profondità di 40 m da piano campagna (p.c.) dove si raggiungono velocità di circa 2800 m/S; sotto tale quota i valori di velocità crescono più rapidamente fino a raggiungere i 4900 m/sec a circa 50 m da p.c.

Al di sotto dei geofoni 13-24, le linee di isovelocità mostrano un comportamento diverso, in particolare, a circa 10-11 m da p.c. si assiste ad un rapido aumento delle velocità che raggiungono valori intorno ai 2800 m/sec a circa 20-21 m da p.c..

Sotto tale quota si assiste al fenomeno opposto, le curve di isovelocità tendono ad aumentare la loro interdistanza fino a raggiungere i 4300 m/sec a circa 45 m da p.c.. Anche in questo caso le linee di isovelocità seguono, come tendenza generale, la geometria del piano campagna anche se si presentano ondulate.

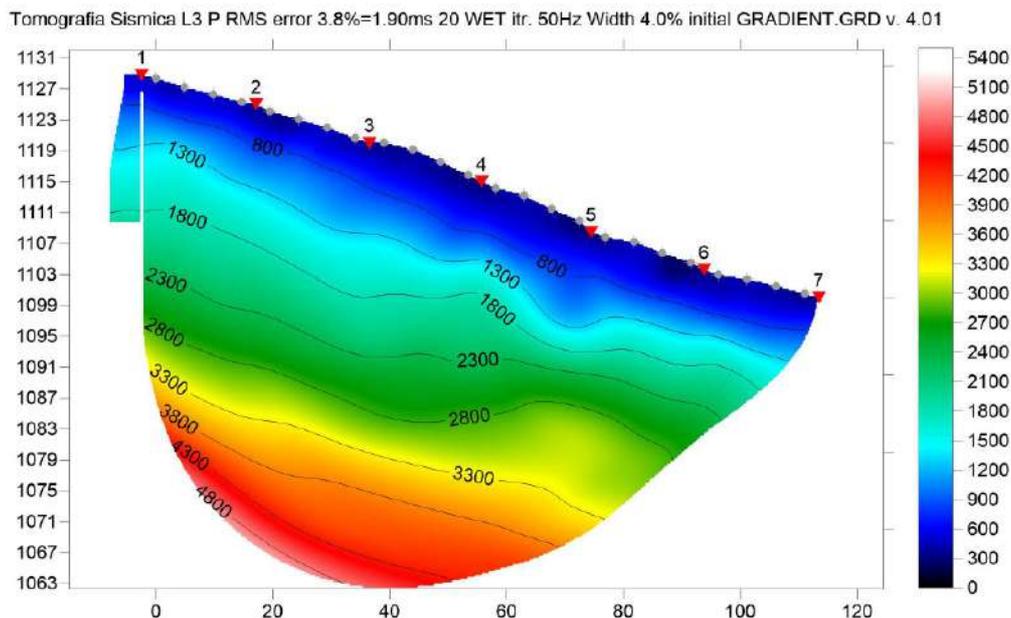


Figura 5.43 – stendimento L3 - tomografia onde P

tomografia onde S

L'esame della sezione sismica tomografica in onde S evidenzia la presenza di valori che variano tra 300 e 2500 m/sec per una profondità massima di indagine di circa 50 metri da p.c., le linee di isovelocità si presentano ondulate con immersione in direzione del pendio.

Da superficie sino a circa 4-5 m i valori di velocità variano tra 200 e 500 m/sec, con andamento leggermente ondulato ed incrementanti con la profondità identificando un primo orizzonte superficiale di terreno detensionato.

A profondità maggiori si assiste ad un graduale aumento delle velocità con un trend simile a quello osservato nella Tomografia Sismica L3 P: nella prima parte della stesa le velocità aumentano più lentamente con la profondità (fino al geofono 12 circa) mentre nella seconda porzione della stesale velocità aumentano più rapidamente.

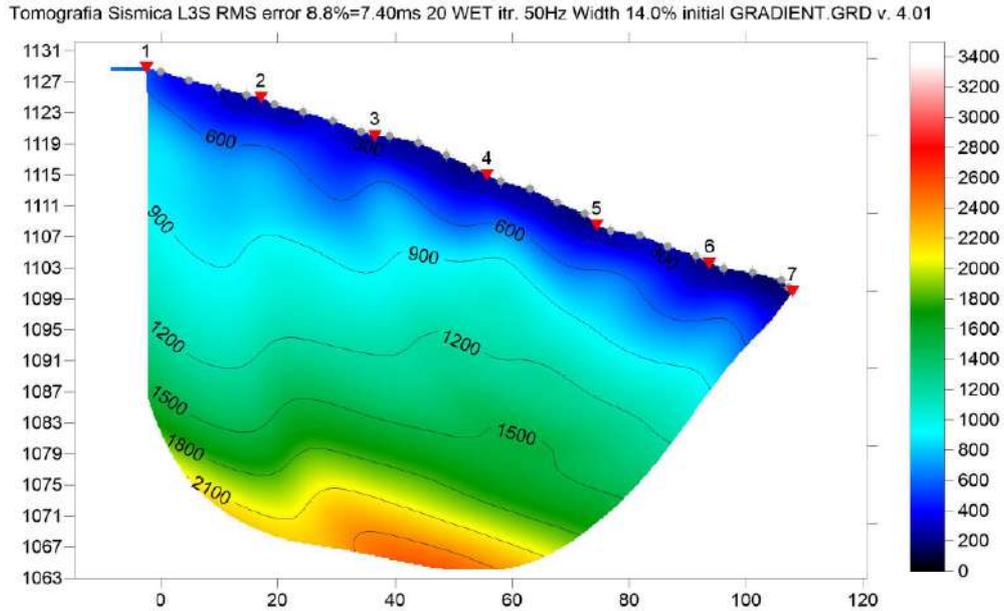


Figura 5.44 – stendimento L3 - tomografia onde S

AEROGENERATORE BT04 – tomografia sismica L4

Nel sito dell'aerogeneratore BT04 è stata eseguita una stesa denominata “Tomografia Sismica L4”, in direzione circa N-S, di lunghezza pari a 115 m con 24 geofoni avente passo intergeofonico di 5 m (Figura 5.45).



Figura 5.45 – Ubicazione in dettaglio della prima stesa, denominata “Tomografia Sismica L4”. La linea gialla mostra la geometria

della stesa avente come estremi i geofoni 1 e 24, mentre i pallini rossi evidenziano i punti di energizzazione

tomografia onde P



L'esame della sezione sismica tomografica in onde P evidenzia la presenza di valori che variano tra 300 e 4900 m/sec per una profondità massima di indagine di circa 47-48 metri da p.c., identificando settori con caratteristiche diverse.

Da superficie fino a 15-16 m da p.c. le isovelocità si presentano ondulate ma sub-parallele al pendio registrando un aumento di velocità di 600 m/sec ogni 6-7 metri circa raggiungendo 2100 m/sec alla profondità di circa -10-15 m da p.c.. L'isovelocità 2700 m/sec segue anch'essa la direzione del pendio ad una profondità di circa -18 m a discapito di una zona, posta sotto i geofoni 9-12, che si approfondisce fino ad un massimo di 25 m da p.c.. Un'altra anomalia osservata è rappresentata dall'isovelocità 3300 m/sec che risulta immergere in direzione del pendio fino al di sotto del geofono 14 ad una quota di circa -26-27 m da p.c. dove la curva risale leggermente fino a circa -22-23 m da p.c. sotto il geofono 15 per poi riabbassarsi con andamento ondulato.

Al di sotto della linea di velocità appena descritta si osserva un comportamento caratterizzato da isovelocità (>3900 m/s) che seguono il profilo del pendio fino al di sotto del geofono 12, oltre tale punto si osserva una vasta area da circa -24 m da p.c. fino ad almeno -35-36 m da p.c. caratterizzata da velocità che rimangono in un range definito tra 3300 e 3700 m/sec.

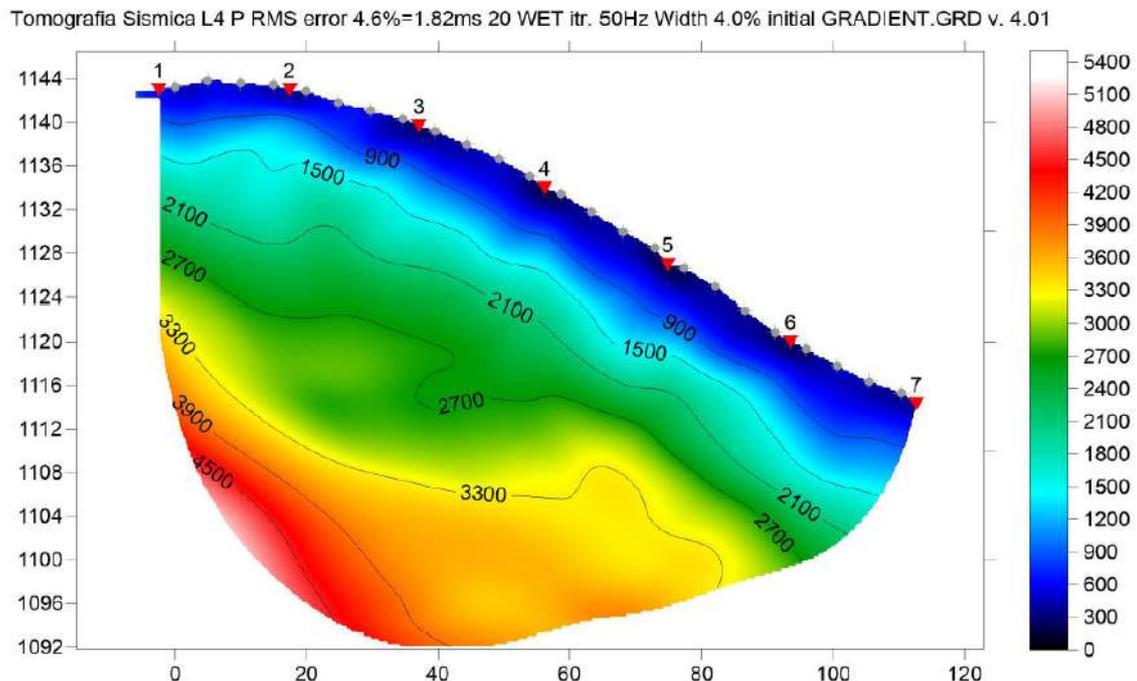


Figura 5.46 – stendimento L4 - tomografia onde P

tomografia onde S

L'esame della sezione sismica tomografica in onde S evidenzia la presenza di valori che variano tra 150 e 1250 m/sec per una profondità massima di indagine di circa 35-36 metri da p.c., le linee di isovelocità si presentano ondulate con immersione in direzione del pendio.

Da superficie sino a circa 4-5 m i valori di velocità variano tra 200 e 400 m/sec, con andamento leggermente ondulato ed incrementanti con la profondità identificando un primo orizzonte superficiale di terreno detensionato. A quote inferiori le velocità aumentano in modo progressivo con l'aumentare della profondità, fino a raggiungere valori di circa 1200-1250 m/sec a circa -35-36 m da p.c..

Si è infine notata un'anomalia di velocità tra i geofoni 1 e 6 ad una profondità compresa tra -7 m e -13 m da p.c., in quest'area si osservano valori di velocità compresi tra 900-950 m/sec che risultano superiori di quelli al contorno.



Tomografia Sismica L4 S RMS error 5.7%=4.66ms 20 WET itr. 50Hz Width 14.0% initial GRADIENT.GRD v. 4.01

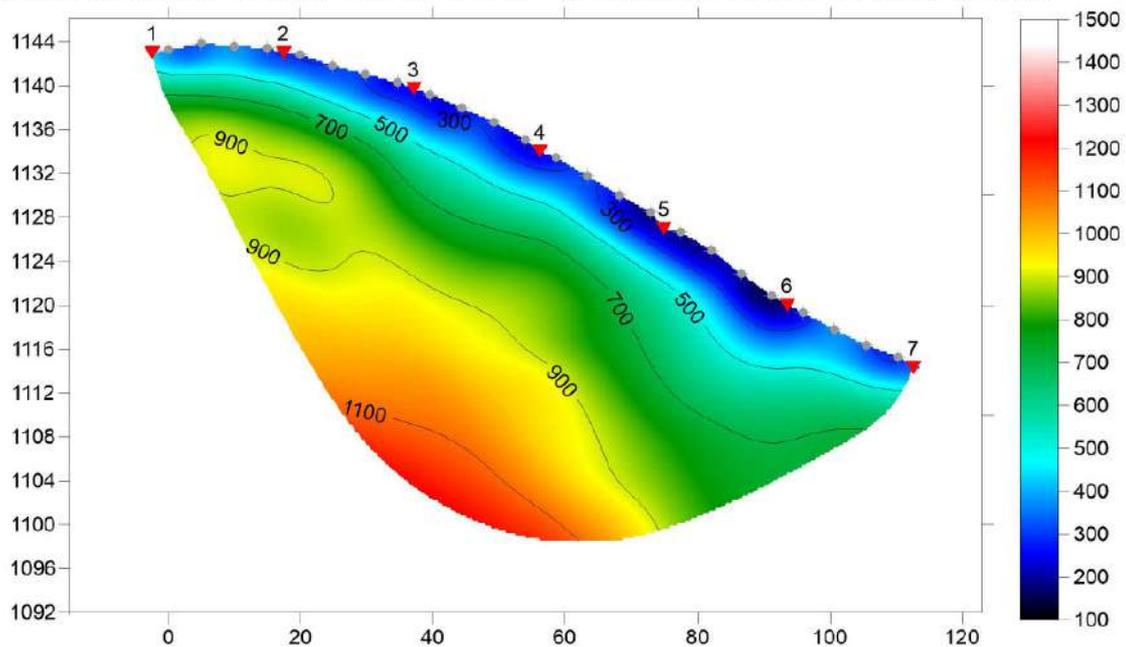


Figura 5.47 – stendimento L4 - tomografia onde S

AEROGENERATORE BT05 – tomografia sismica L5

Nel sito dell'aerogeneratore BT05 è stata eseguita una stesa denominata "Tomografia Sismica L5", in direzione circa N-S, di lunghezza pari a 115 m con 24 geofoni avente passo intergeofonico di 5 m (Figura 5.48).

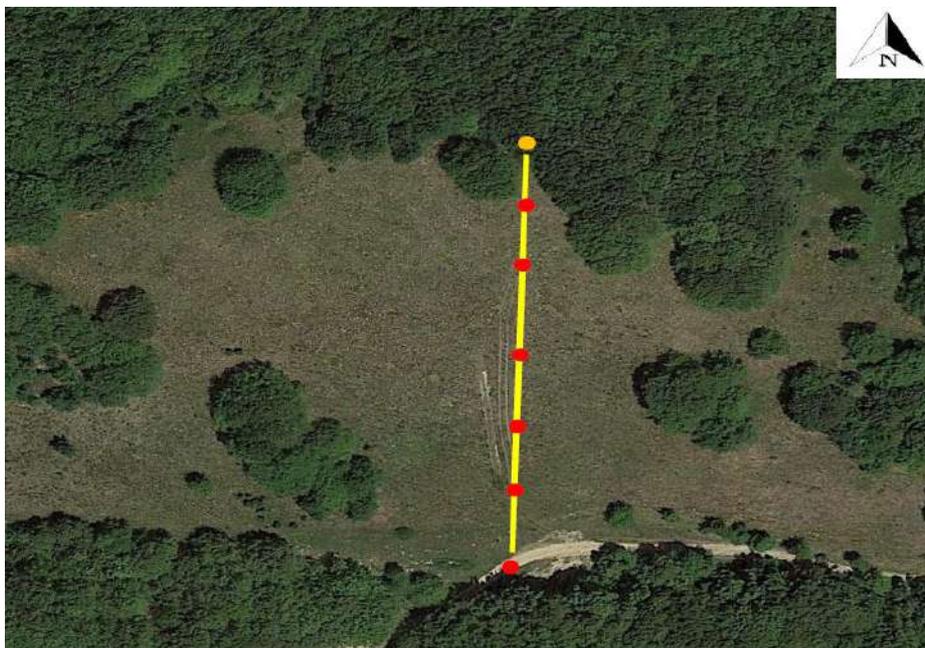


Figura 5.48 – Ubicazione in dettaglio della prima stesa, denominata "Tomografia Sismica L5". La linea gialla mostra la geometria

della stesa avente come estremi i geofoni 1 e 24, mentre i pallini rossi evidenziano i punti di energizzazione



tomografia onde P

L'esame della sezione sismica tomografica in onde P evidenzia la presenza di valori che variano tra 400 e 2500 m/sec per una profondità massima di indagine di circa 42-43 metri da p.c., identificando settori con caratteristiche diverse.

Da superficie fino a 7-8 m da p.c. le isovelocità si presentano sub-parallele al pendio registrando un aumento di velocità graduale fino a circa 900 m/sec. Tra i geofoni 9 e 21 ad una profondità compresa tra circa 10 m e 18-20 m da p.c. è stata osservata una zona con velocità tra 1400 m/sec e circa 1600 m/sec. Al di sotto di tale zona si ha un'inversione di velocità, con valori che tendono ad abbassarsi fino a circa 1200-1300 m/sec tra le profondità di circa 20 m e 26-27 m al centro della stesa per poi tornare ad aumentare; si osserva infatti una nuova isovelocità di 1400 m/sec. Successivamente è presente un graduale aumento delle velocità fino ad un massimo di 2500 m/sec alla profondità di circa -42-43 m da p.c. nella zona centrale della stesa.

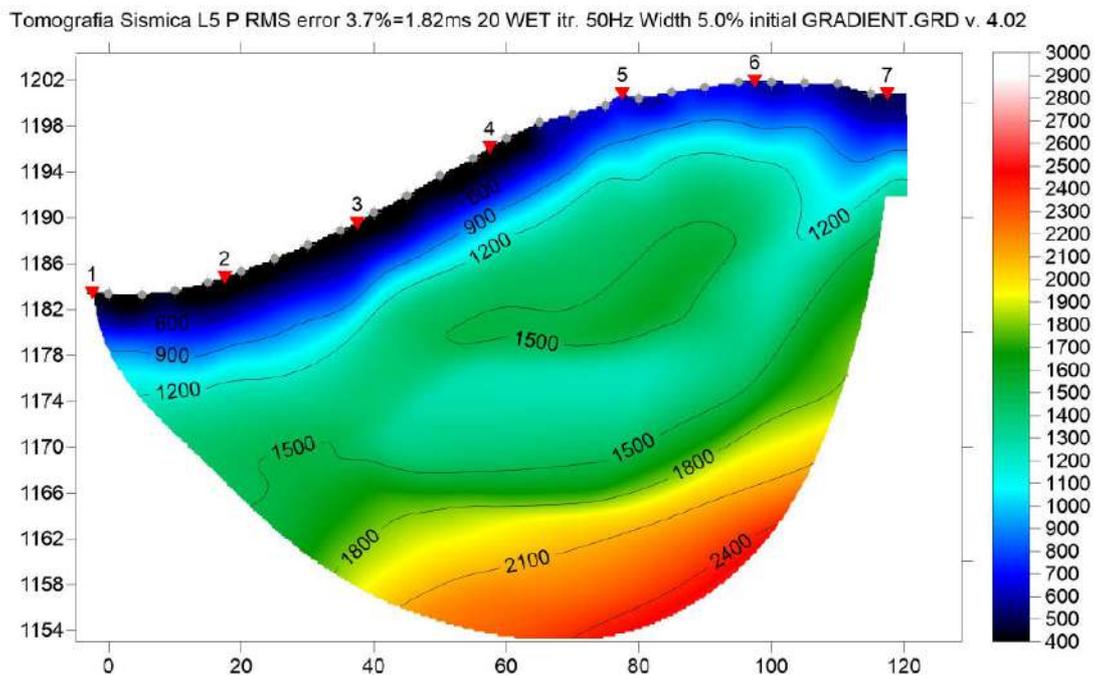


Figura 5.49 – stendimento L5- tomografia onde P

tomografia onde S

L'esame della sezione sismica tomografica in onde S evidenzia la presenza di valori che variano tra 300 e 800 m/sec per una profondità massima di indagine di circa 20 metri da p.c., le linee di isovelocità si presentano ondulate con generale immersione in direzione del pendio.

Da superficie fino a circa 10 m di profondità, tra i geofoni 1 e 6, si osserva un graduale aumento delle velocità fino a valori di 650 m/sec; oltre il geofono 6 si osserva come l'isovelocità diventi più superficiale arrivando fino a circa 2 m da p.c. nella parte finale della stesa (geofoni 16-24).

Immediatamente sotto ai geofoni 16-24 è presente un'anomalia di velocità la cui parte centrale raggiunge circa 770 m/sec. Il resto della tomografia mostra un graduale aumento di velocità con valori che raggiungono circa 750 m/sec tra i 15 e i 20 m da p.c..

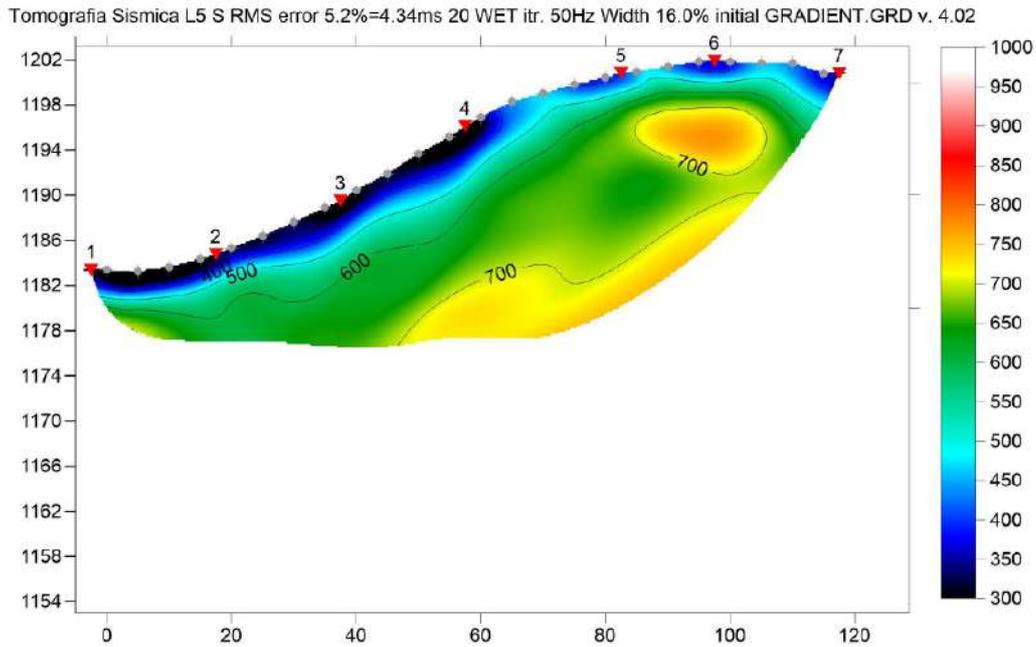


Figura 5.50 – stendimento L5 - tomografia onde S

AEROGENERATORE BT06 – tomografia sismica L6

Nel sito dell'aerogeneratore BT06 è stata eseguita una stesa denominata “Tomografia Sismica L6”, in direzione circa NNE-SSW, di lunghezza pari a 115 m con 24 geofoni avente passo intergeofonico di 5 m (Figura 5.51).

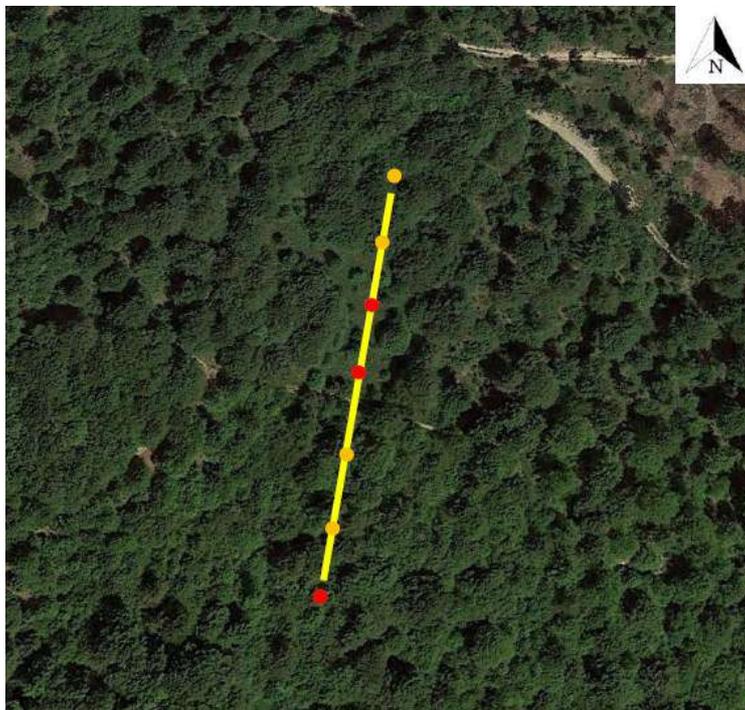


Figura 5.51 – Ubicazione in dettaglio della prima stesa, denominata “Tomografia Sismica L6”. La linea gialla mostra la geometria della stesa avente come estremi i geofoni 1 e 24, mentre i pallini rossi evidenziano i punti di energizzazione



tomografia onde P

L'esame della sezione sismica tomografica in onde P evidenzia la presenza di valori che variano tra 400 e 3000 m/sec per una profondità massima di indagine di circa 46-47 metri da p.c., identificando settori con caratteristiche diverse.

Nei primi 7-8 metri della stesa si osserva un graduale aumento delle velocità fino a 1000 m/sec. Oltre tale quota si osserva una porzione di stesa caratterizzata da andamenti, come mostrato dall'isovelocità 1400 m/sec, estremamente ondulati fino ad una profondità di circa 28-30 metri in prossimità dell'isovelocità 1800 m/sec.

Al di sotto le isovelocità tornano parallele tra loro e immergenti in direzione del pendio.

Tomografia Sismica L6 P Brattello RMS error 3.6%=2.06ms 20 WET itr. 50Hz Width 5.5% initial GRADIENT.GRD v. 4.02

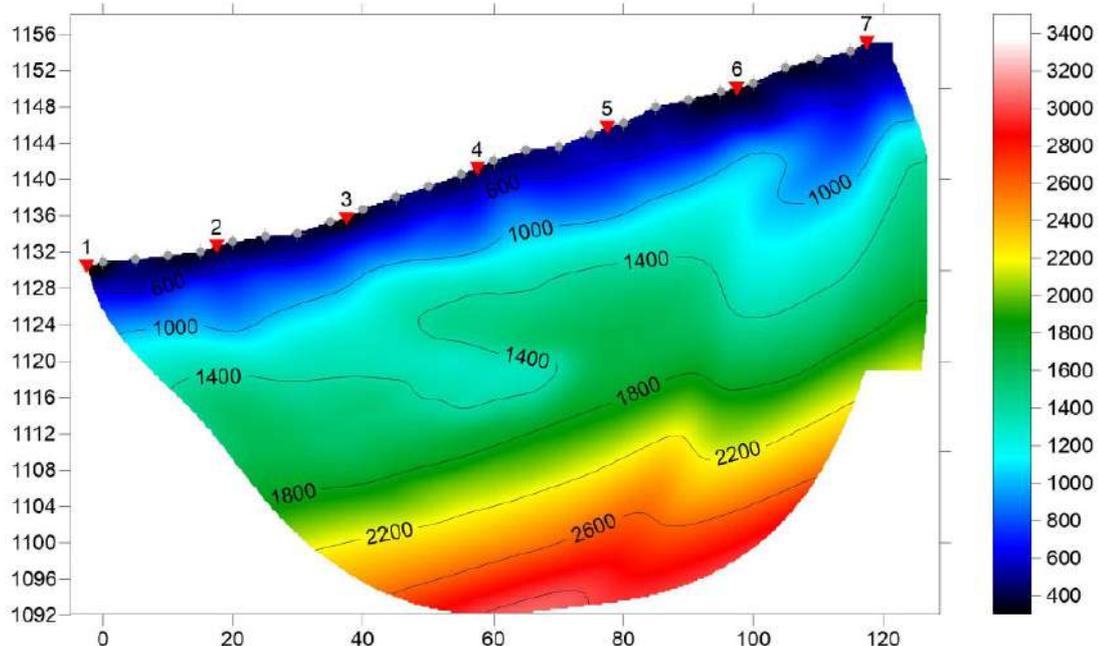


Figura 5.52 – stendimento L6- tomografia onde P

tomografia onde S

L'esame della sezione sismica tomografica in onde S evidenzia la presenza di valori che variano tra 300 e 800 m/sec per una profondità massima di indagine di circa 30 metri da p.c., identificando settori con caratteristiche diverse.

Osservando la tomografia si osserva una tendenza nell'aumento di velocità che risulta costante fino al termine della tomografia a circa 30 m da p.c., con superfici di isovelocità che si presentano ondulate per tutta l'area indagata.

Nei primi 10 m circa, tra i geofoni 9-14 è presente un'anomalia di velocità che raggiunge 500 m/sec rispetto alle zone circostanti che, alle stesse profondità mostrano valori tra 300 m/sec e 400 m/sec. Al di sotto di tale anomalia l'ondulazione delle isovelocità risulta più marcata rispetto al resto della tomografia.

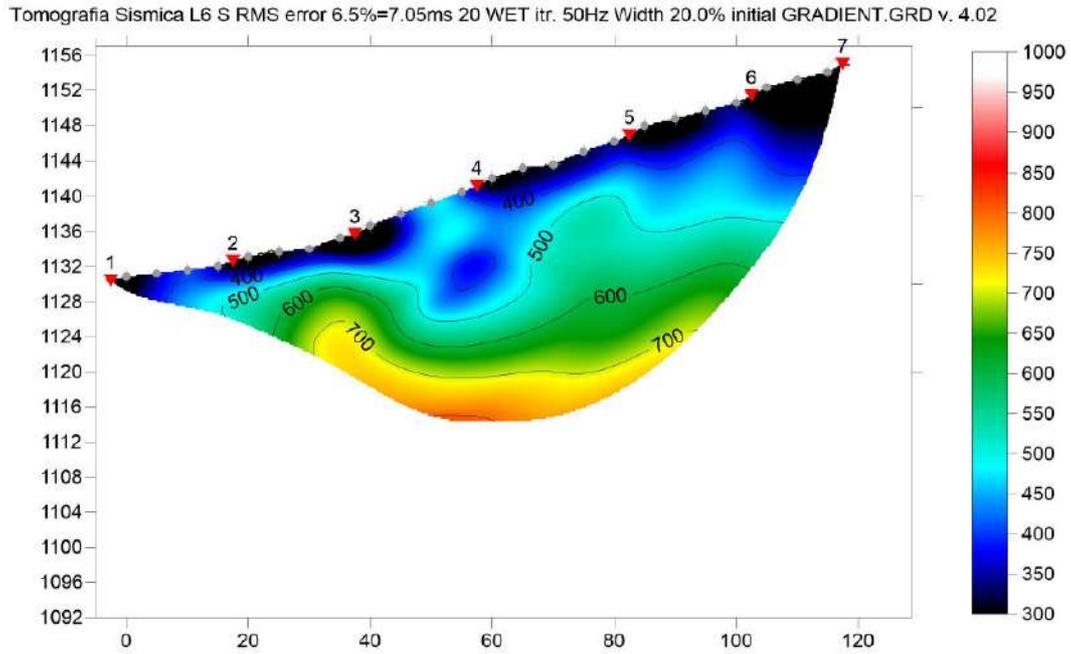


Figura 5.53 – stendimento L6 - tomografia onde S

AEROGENERATORE BT07 – tomografia sismica L7

Nel sito dell'aerogeneratore BT07 è stata eseguita una stesa denominata “Tomografia Sismica L7”, in direzione circa N-S, di lunghezza pari a 115 m con 24 geofoni avente passo intergeofonico di 5 m (Figura 5.54).

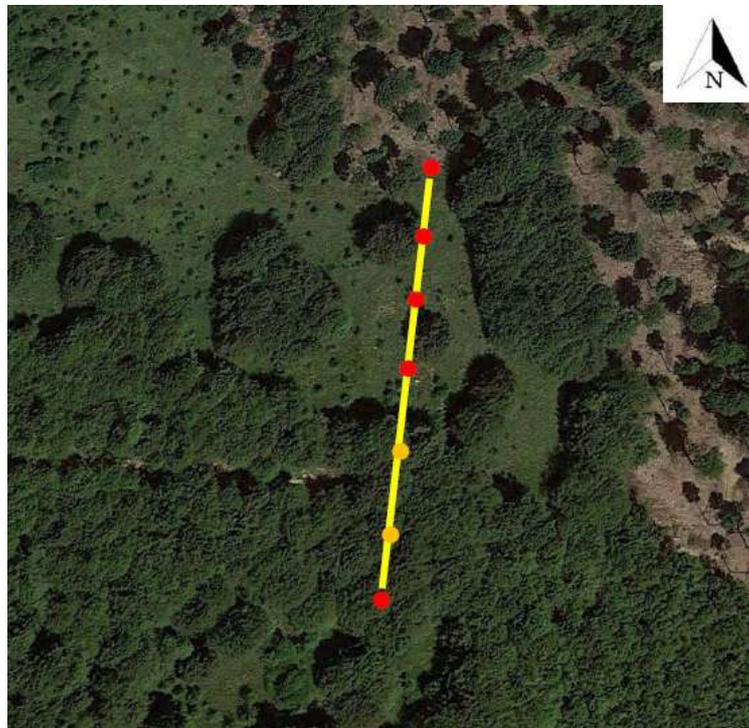


Figura 5.54 – Ubicazione in dettaglio della prima stesa, denominata “Tomografia Sismica 7”. La linea gialla mostra la geometria della stesa avente come estremi i geofoni 1 e 24, mentre i pallini rossi evidenziano i punti di energizzazione



tomografia onde P

L'esame della sezione sismica tomografica in onde P evidenzia la presenza di valori che variano tra 400 e 4700 m/sec per una profondità massima di indagine di circa 65 m da p.c., identificando settori con caratteristiche diverse.

La tomografia mostra isovelocità tendenzialmente sub-parallele al pendio con un aumento di velocità osservato di 500 m/sec ogni 10 metri circa fino ad una profondità di circa 33-34 m da p.c. in corrispondenza dell'isovelocità 2300 m/sec.

Al di sotto di tale isovelocità le velocità continuano ad aumentare più rapidamente con un passo di 500 m/sec ogni 7-8 metri circa fino ad una profondità massima di 65 metri dove sono state osservate velocità che raggiungono circa 4700 m/sec. Tra i geofoni 4 e 10, a profondità comprese tra 35 e 45 m da p.c., è stata osservata un'area dove viene interrotto il continuo aumento delle velocità precedentemente descritto, la zona si presenta con geometria ovale ed al suo interno sono state osservate velocità che scendono fino a circa 1900-2000 m/sec.

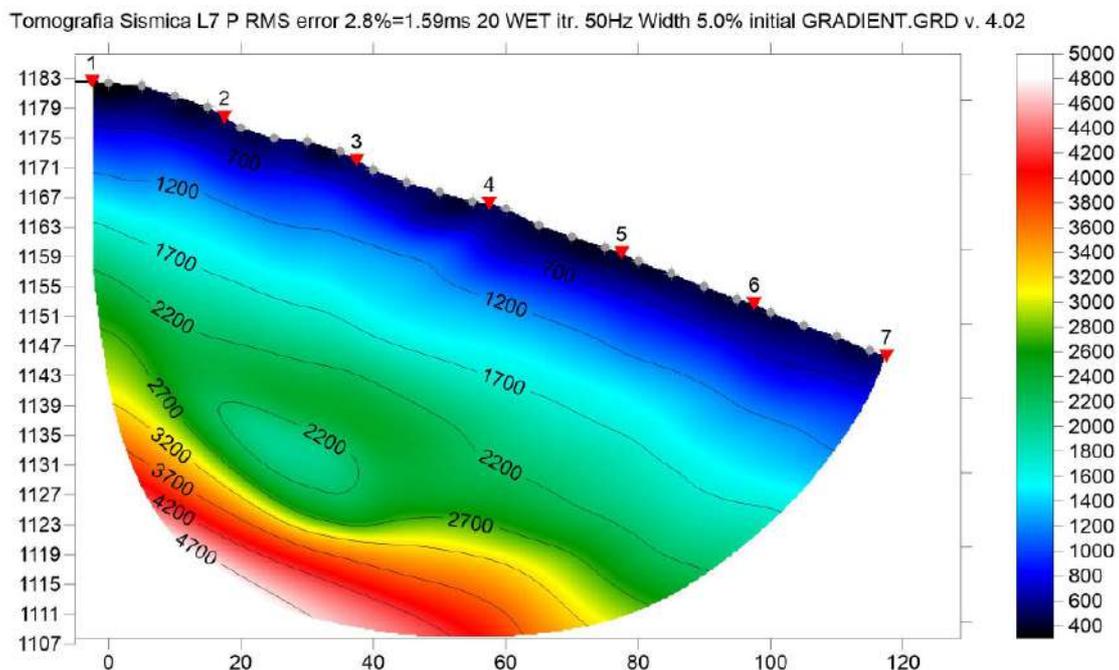


Figura 5.55 – stendimento L7- tomografia onde P

tomografia onde S

L'esame della sezione sismica tomografica in onde S evidenzia la presenza di valori che variano tra 300 e 1000 m/sec per una profondità massima di indagine di circa 37-38 m da p.c., identificando settori con caratteristiche diverse.

Le isovelocità si presentano leggermente ondulate fino a circa 8-9 m da p.c. per poi diventare più rettilinee, ma comunque seguono tutte l'immersione del pendio e le velocità tendono gradualmente ad aumentare con la profondità. In sintesi, si può suddividere la sezioni in tre sismostrati:

- Il primo mostra un aumento di velocità da 300 fino a 600 m/sec da p.c. fino ad una profondità di circa 10 metri
- il secondo mostra un aumento di velocità fino a 800 m/sec in 18-19 metri circa
- il terzo che raggiunge velocità di circa 1000 m/sec negli ultimi 10-11 metri della tomografia.

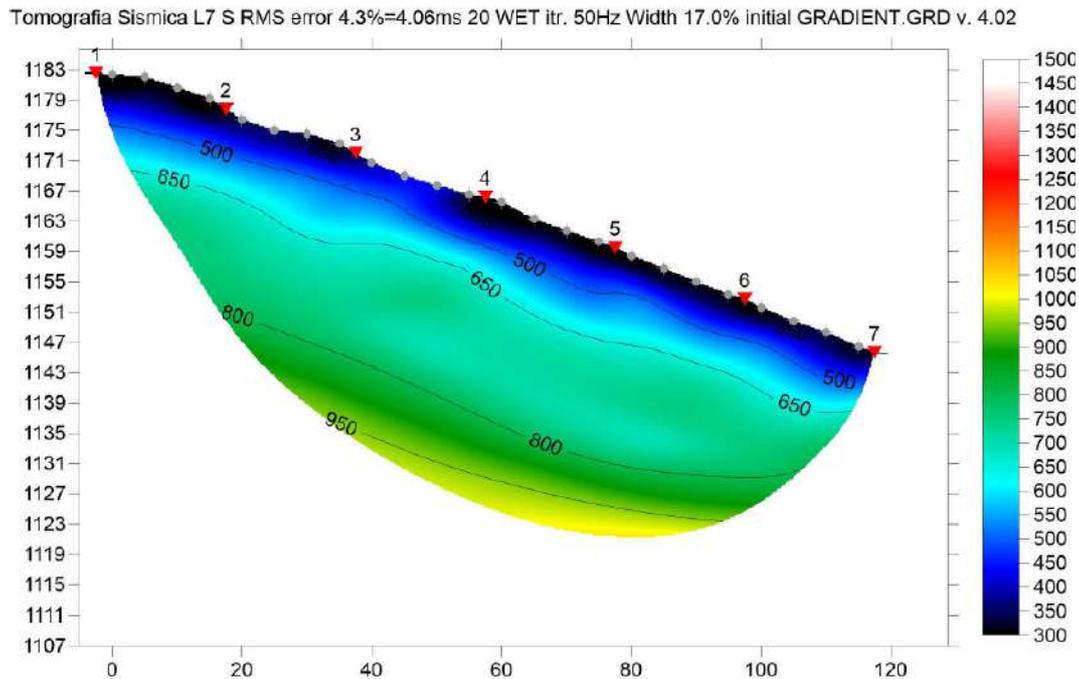


Figura 5.56 – stendimento L7 - tomografia onde S

4.3.3 Classificazione geomeccanica delle formazioni rocciose di substrato

La classificazione proposta da Beniawsky consente di formulare stime previsionali sulle caratteristiche di resistenza e di deformabilità degli ammassi lapidei interessati da opere infrastrutturali di ingegneria civile anche nel caso in cui si dispongano di poche informazioni relative alla formazione geologica.

La classificazione proposta si basa sul rilievo, in campagna e/o in laboratorio, di 6 parametri:

- A1 = resistenza a compressione uniassiale;
- A2 = Rock Quality Designation Index (Indice RQD);
- A3 = spaziatura delle discontinuità;
- A4 = condizioni delle discontinuità;
- A5 = condizioni idrauliche;
- A6 = orientamento delle discontinuità.

Da questi sei parametri si ricava l'**Rock Mass Rating (RMR, Beniawsky)** e con le dovute correzioni apportate da Romana nel 1985 lo **Slope Mass Rating (SMR)**.

L'RMR, nella pratica, viene differenziato come:

$$\text{RMR di base} = \text{RMRb} = A1 + A2 + A3 + A4 + A5$$
$$\text{RMR corretto} = \text{RMRc} = (A1 + A2 + A3 + A4 + A5) + A6$$

Parametro A1: si può ricavare sia da prove di laboratorio (Prove di compressione monoassiale e/o Point Load Test), sia da prove di campagna mediante sclerometro o da prove speditive (Standard ISRM), definendo la resistenza a compressione uniassiale S_u . Nel nostro caso, si è fatto riferimento ai valori delle prove di laboratorio (compressione monoassiale) reperiti dallo Studio Oppimitti 2002 che sarà illustrato nel seguito della presente.



Definita la resistenza a compressione S_u è possibile ricavare il valore del primo parametro A_1 .

Se si utilizzano prove Point Load o prove sclerometriche risulta più agevole, rispetto alle tabelle e ai grafici proposte da Beniaowsky, ricavare il valore di A_1 trasformando i grafici in forma di equazioni:

VALORE DI S_u (MPa)	EQUAZIONE
$\leq 44,5$	$A_1 = \frac{4}{44,5} S_u + 1$
$44,5 \div 93,75$	$A_1 = \frac{4}{49,25} S_u + 1,368$
$93,75 \div 140$	$A_1 = \frac{3}{46,25} S_u + 2,919$
$140 \div 180$	$A_1 = 0,0375 S_u + 6,75$
$180 \div 240$	$A_1 = 0,025 S_u + 9$
> 240	$A_1 = 15$

Qualora si utilizzi lo Standard ISRM si usa la tabella proposta da Beniaowsky nell'ultima versione del sistema (1989):

S_u (MPa)	> 200	100 - 200	50 - 100	25 - 50	5 - 25	1 - 5	< 1
Coefficiente A_1	15	12	7	4	2	1	0

Parametro A2: è possibile ricavare il valore di RQD, da cui si ottiene il coefficiente A_2 , dal recupero di percentuale di carotaggio riferito alla somma degli spezzoni di carota con lunghezza maggiore o uguale a 100 mm:

$$RQD = \frac{\sum L_c}{L_t} \times 100$$

dove:

L_c = somma delle lunghezze degli spezzoni di carota > 100 mm

L_t = lunghezza totale del tratto in cui si è misurata L_c .

In mancanza di carote di sondaggio, RQD si ricava dal numero di famiglie di discontinuità caratterizzanti l'ammasso roccioso e dalla misura della loro spaziatura. Dalla relazione di Palmström (1982) si ha:

$$RQD = 115 - 3,3 J_v$$

dove J_v è il numero di fratture per metro cubo di roccia.

In forma alternativa RQD si può ricavare dalla formula di Priest e Hudson (1981):

$$RQD = 100 e^{(0,1 n)} (0,1 n + 1)$$

con n numero medio di giunti per metro.

Calcolato RQD con uno di questi metodi, si ricava il coefficiente A_2 mediante le equazioni, che derivano sempre dai grafici di Beniaowsky:



VALORE DI RQD %	EQUAZIONE
$\leq 26,5$	$A2 = \frac{3}{26,6} RQD + 3$
$26,5 \div 39$	$A2 = \frac{2}{12,4} RQD + 1,71$
$39 \div 76,6$	$A2 = \frac{7}{37,6} RQD + 0,739$
$> 76,6$	$A2 = \frac{5}{23,4} RQD - 1,367$

Parametro A3: una volta calcolata la spaziatura media, cioè la distanza media tra due discontinuità adiacenti, è possibile ricavare il valore del coefficiente A3, mediante le seguenti relazioni:

SPAZIATURA (m)	EQUAZIONE
$\leq 0,2$	$A3 = 15 s + 5$
$0,2 \div 0,4$	$A3 = 10 s + 6$
$0,4 \div 0,66$	$A3 = 7,752 s + 5,9$
$0,66 \div 0,94$	$A3 = 7,067 s + 7,35$
$0,94 \div 1,6$	$A3 = 6,07 s + 8,288$
$1,6 \div 2,0$	$A3 = 5 s + 10$
$> 2,0$	$A3 = 20$

Parametro A4: determinare dalle tavole di classificazione di Beniawsky il valore numerico relativo alla condizione delle discontinuità, invece, risulta molto soggettivo. Perciò per valutare correttamente A4 conviene procedere sommando alcuni parametri numerici attribuibili alla persistenza del giunto, all'apertura del giunto, alla rugosità dello stesso, all'alterazione delle pareti, e al materiale di riempimento:

$$A4 = V1 + V2 + V3 + V4 + V5$$

I valori da assegnare sono:

V1 – Persistenza del giunto

PERSISTENZA (m)	V1
< 1	6
$1 \div 3$	4
$3 \div 10$	2
$10 \div 20$	1
> 20	0

V2 – Apertura del giunto

APERTURA (mm)	V2
Completamente chiuso	6
$< 0,1$	5
$0,1 \div 1$	4
$1 \div 5$	1
> 5	0

V3 – Rugosità del giunto

RUGOSITA'	V3
Molto Rugosa	6
Rugosa	5
Leggermente rugosa	3
Liscia	1
Levigata	0

V4 – Alterazione delle pareti

ALTERAZIONE	V4
Non alterate	6
Leggermente alterate	5
Mediamente alterate	3
Molto alterate	1
Decomposte	0

V5 – Riempimento delle discontinuità

RIEMPIMENTO (mm)	RIEMPIMENTO	V5
-	Assente	6
< 5	Compatto	4
> 5	Compatto	2
< 5	Soffice	2
> 5	Soffice	0



Parametro A5: questo valore viene derivato dalle condizioni idrauliche riferite ad un fronte di 10 m. Dalle tabelle fornite da Beniawsky si ottiene:

Venute d'acqua su 10 m di lunghezza	Nessuna	< 10 l/min	10-25 l/min	25-125 l/min	> 125 l/min
Condizione	Asciutta	Umida	Bagnata	Deboli venute	Forti venute
Coefficiente A5	15	10	7	4	0

Parametro A6: per l'orientamento delle discontinuità si applica un coefficiente di correzione A6, a seconda che si tratti di gallerie o fondazioni

APPLICAZIONE	Molto favorevole	Favorevole	Mediocre	Sfavorevole	Molto sfavorevole
Gallerie	0	-2	-5	-10	-12
Fondazioni	0	-2	-7	-15	-25

Per quanto riguarda i versanti il coefficiente A6 proposto da Beniawsky risulta troppo “conservativo” e pertanto nel calcolo di RMR si utilizza la metodologia proposta da Romana.

Attribuiti tutti i coefficienti, sulla base del valore RMR_c calcolato si identificano 5 intervalli a cui corrispondono 5 classi di ammasso roccioso e altrettante valutazioni di qualità della roccia:

RMR _c	100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	≤ 20
Classe	I	II	III	IV	V
Descrizione	Molto buono	Buono	Mediocre	Scadente	Molto scadente

Dal valore di RMR_b si derivano i parametri caratteristici dell'ammasso, che secondo Beniawsky assumono il valore:

$$\text{coesione } c \text{ (kPa)} = 5 \text{ RMR}_b$$

$$\text{angolo di attrito } f = 0,5 \text{ RMR}_b + 5$$

$$\text{modulo di deformazione } E \text{ (GPa)} = 2 \text{ RMR}_b - 100$$

La formula di E è però da considerare valida per valori di RMR superiori di 50, mentre per valori inferiori si utilizza la formula di Serafim e Pereira (1983):

$$E \text{ (GPa)} = 10^{(\text{RMR}_b - 10) / 40}$$

Classificazione ammassi rocciosi presenti nella zona di studio

Si è proceduto alla classificazione delle formazioni ivi presenti sulla base delle informazioni raccolte sia con la campagna di indagini sia con l'osservazione diretta degli affioramenti in sito. Purtroppo raramente tali affioramenti sono visibili con estensioni rappresentative, per cui si vuole segnalare che l'operazione svolta ha carattere preliminare ed è stata condotta con intenti di cautela.



		SL1 DPGV (“Arenarie di Monte Gottero)	SL2 cappellaccio delle Arenarie di Monte Gottero	SL3 Arenarie di Monte Gottero
Parametro				
A1	σ_c valore corrispondente	50-100 MPa 7	25-50 MPa 7	100-250 MPa 12
A2	RQD valore corrispondente	25-50 8	<25 8	50-75 13
A3	SPAZIATURA valore corrispondente	60-200 mm 8	<60 mm 8	200-600 mm 10
A4	GIUNTI persistenza apertura rugosità alterazione riempimento valore corrispondente	4 4 3 3 2 16	1 1 3 3 2 10	4 4 3 3 2 16
A5	CONDIZIONE IDRAULICA valore	umida (<10 l/min) 10	umida (<10 l/min) 10	umida (<10 l/min) 10
RMRbase		49	43	61
A6	ORIENTAMENTO DISCONTINUITA' valore corrispondente	sfavorevole -15	mediocre -7	mediocre -7
RMRcorretto		34	36	54

Dal valore di RMRb si calcolano i seguenti parametri caratteristici dell'ammasso:

	SL1 DPGV (“Arenarie di Monte Gottero)	SL2 cappellaccio delle Arenarie di Monte Gottero	SL3 Arenarie di Monte Gottero
coesione c (KPa)	245	215	305
angolo di attrito (ϕ)	29.5	26.5	35.5
Modulo di deformazione E (Gpa)	9.44	6.68	22

5.3.3 Elaborazione ed interpretazione dati geognostici bibliografici

I dati geognostici bibliografici reperiti sono rappresentativi dei litotipi della formazione delle “**Arenarie di Monte Gottero**” e sono riferibili alle due commesse sotto elencate:

- Oppimitti 2002: analisi geomeccaniche di campioni cubici di materiale arenaceo non alterato da sottoporre ad un possibile uso industriale lapideo
- SNAM 2008 - metanodotto Pontremoli – Cortemaggiore: prove di laboratorio su campioni estratti dai sondaggi meccanici n° 6, 7, 8 e 9 eseguiti presso località Dogana del Bratello.



Oppimitti 2002 (Studio per la progettazione di un parco eolico in località Monte Croce di Ferro)

Le prove geomeccaniche di compressione su campioni cubici di materiale arenaceo a grana fine sono state eseguite presso l'Istituto di Infrastrutture Viarie e Geotecnica dell'Università degli Studi di Bologna.

Le prove sono state eseguite su 4 campioni sottoposti a sforzo di compressione in differenti stati di saturazione e dopo cicli di gelività, sia in direzione parallela alla stratificazione sia in direzione perpendicolare.

I risultati sono illustrati nelle sottostanti tabelle.

Dall'analisi della tabella e dei risultati medi si evince come le caratteristiche di resistenza alla compressione di tali materiali siano estremamente elevate anche nelle condizioni più penalizzanti; in quest'ultimo caso i valori di resistenza subiscono un'abbattimento pari a circa l'11,35%, rimanendo comunque in ambito di ottime caratteristiche geomeccaniche.

Campione	dimensioni			Sezione resistente (cmq)	Carico di rottura (Kg/cmq)	note
	Larghezza (cm)	Lunghezza (cm)	Altezza (cm)			
1	7.20	7.22	7.36	51.98	2177.70	Secchi, parallelo
2	7.18	7.20	7.25	51.69	2042.90	Secchi, parallelo
3	7.24	7.21	7.37	52.20	1984.60	Secchi, perpendicolare
4	7.67	7.13	7.24	54.61	1884.20	Secchi, perpendicolare
					2022.30	

Campione	dimensioni			Sezione resistente (cmq)	Carico di rottura (Kg/cmq)	note
	Larghezza (cm)	Lunghezza (cm)	Altezza (cm)			
1	7.15	7.27	7.34	51.98	1846.80	Saturi, parallelo
2	7.24	7.30	7.30	51.85	1822.10	Saturi, parallelo
3	7.25	7.18	7.33	52.05	1789.90	Saturi, perpendicolare
4	7.24	7.24	7.30	52.41	1719.10	Saturi, perpendicolare
					1792.70	



Campione	dimensioni			Sezione resistente	Carico di rottura	note
	Larghezza (cm)	Lunghezza (cm)	Altezza (cm)	(cmq)	(Kg/cmq)	
1	7.00	7.12	7.12	49.84	2209.00	Gelivi, parallelo
2	7.02	7.15	7.10	49.84	2309.40	Gelivi, parallelo
3	7.20	7.30	7.30	52.56	2016.70	Gelivi, perpendicolare
4	7.24	7.33	7.33	51.55	2097.00	Gelivi, perpendicolare
					2158.00	

SNAM 2008 - metanodotto Pontremoli – Cortemaggiore

Sono stati reperiti n° 5 sondaggi meccanici a carotaggio continuo (S6, S7, S8, S9 e S10) eseguiti presso il Passo del Bratello, che avevano interessato la formazione delle “Arenarie di Monte Gottero” (Figura 5.57).

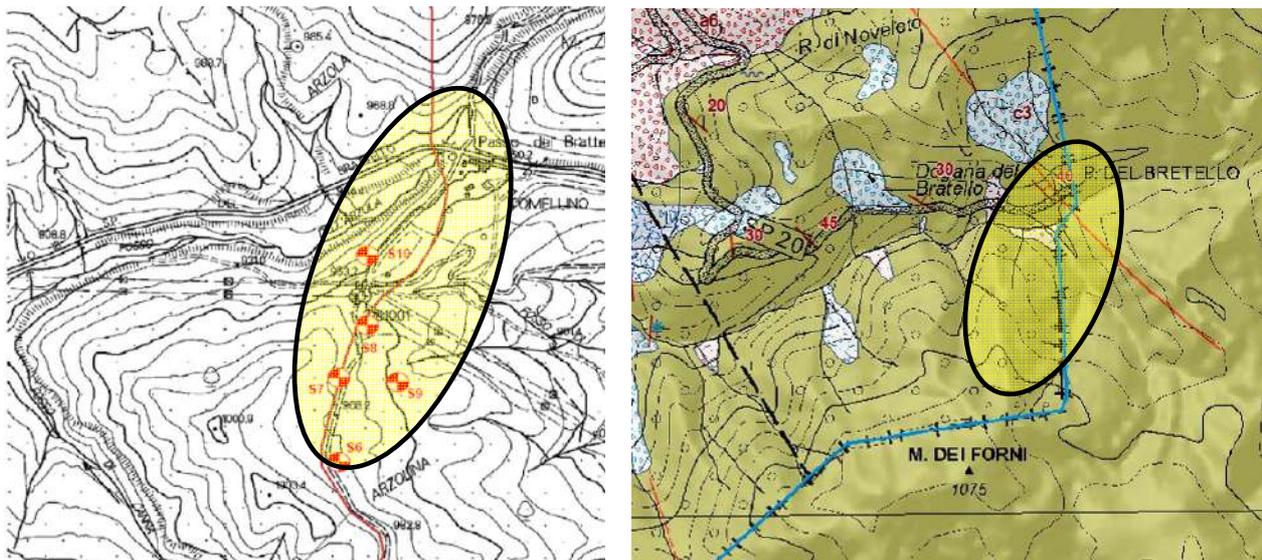


Figura 5.57 – planimetria delle indagini SNAM e carta geologica

Le stratigrafie dei sondaggi indicano una situazione litostratigrafica variabile, dipendente evidentemente dalla storia geologica del sito:

Sondaggio S6: argille limose con scaglie argillitiche frequenti, da consistenti a molto consistenti; il sondaggio è approfondito a 10 m dal p.c. e sono stati prelevati n° 2 campioni indisturbati; eseguita n° 1 prova penetrometrica in foro tipo SPT;

Sondaggio S7: argille limose con scaglie argillitiche frequenti, da consistenti a molto consistenti fino a 6,6 m dal p.c.; al di sotto, fino a 10 m (fine sondaggio) arenarie da molto fratturate a completamente frantumate, con livelli di argilliti di 10-15 cm di spessore; prelevati n° 2 campioni, 1 indisturbato nelle argille e 1 rimaneggiato nelle arenarie; eseguite n° 2 prove penetrometriche in foro tipo SPT;



Sondaggio S8: argilliti con inclusi arenacei fino a circa 4,6 m dal p.c.; da questa profondità fino a 6,3 m sono presenti siltiti da molto fratturate e completamente frantumate e, al di sotto, fino a fine sondaggio (10 m) sono presenti arenarie molto fratturate con fratture suborizzontali e livelli argillitici decimetrici; nessun prelievo di campioni; eseguite n° 3 prove penetrometriche in foro tipo SPT, tutte a rifiuto;

Sondaggio S9: limi sabbiosi argillosi associati ad arenarie, si approfondiscono fino a 12,60 m dal p.c.; al di sotto argilliti marnose a consistenza litoide e intercalazioni arenacee; prelievo di n° 3 campioni rimaneggiati, 2 nei limi sabbioso-argillosi e 1 nelle argilliti; eseguite n° 5 prove penetrometriche in foro tipo SPT;

Sondaggio S10: limi argilloso sabbiosi molto consistenti e livelli a consistenza marnosa; sono presenti nuclei e livelli metrici di arenarie a grana medio-fine ben cementate; prelievo di n° 1 campione indisturbato e di 2 campioni rimaneggiati; eseguite n° 2 prove penetrometriche in foro tipo SPT.

 INDAGINE RICERCHE DI INGEGNERIA GEOTECNICA TECNOSOIL s.n.c. di Pietromartire E. & C. Via Fontevicchia, 4 - 86010 SPALTORE (PG) tel/fax 0854157055 - email: tecnosoil@tinwind.it Decreto di concessione ministeriale n. 52504 del 11/10/2004 per prove geotecniche in situ (settore c); ai sensi dell'art.8, comma 8 del D.P.R. 246		Verbale di accettazione n° 0008 del 07/04/2008 CERTIFICATO N° 0024 foglio 1 di 1 data di emissione 22/04/2008 Rif. Int. Sc032															
STRATIGRAFIA DI SONDAGGIO																	
COMMITTENTE: SNAMPROGETTI S.p.a.		S9															
OPERA: METANODOTTO PONTREMOLI - CORTEMAGGIORE		COORDINATE GAUSS-BOAGA N E	QUOTA														
LOCALITA': PASSO DEL BRATTELLO		DATA Inizio 14/04/2008 Fine 14/04/2008															
SCALA: 1:100	TIPO SONDA: CMV 420 S	DIAMETRO FORO: Iniziale 127 mm Finale 101 mm	OPERATORI: Marinucci-Renzella														
METODO PERFORAZIONE: C.C.		CAMPIONATORE:															
		GEOLOGO: S. Cavallucci															
CAROTIERE PROFONDITA' DAL P.C. POTENZA DELLA FORAZIONE SEZIONE STRATIGRAFICA	DESCRIZIONE LITOLOGICA DELLE FORMAZIONI ATTRAVERSATE	RECUPERO CAROTAGGIO (%)		R.O.D. Rius Qualità Derivazione (%)	Pocket Penetration test (Npot)	FALDA	CAMPIONI			RILIEVO GAS			PROVE IN FORO		ATTREZZATURA IN FORO Piez. T.A.	TUBI DI RIVESTIMENTO	
		Indisturbati	Rimaneggiati				Fluidi	Ambientali	Dilatometrica	Lefranc	Prof. N Colpa	S.P.T.	Piez.	T.A.			
1,5 1,5	Terreno agrario limoso-sabbioso di colore marrone scuro																
11,1 11,1	Limi sabbioso-argillosi di colore marrone associati spesso caoticamente ad arenarie con grana medio-fine che generalmente si presentano in scaglie di spessore da millimetrico a centimetrico, raramente decimetrico.						4,15 4,30						P.C. 2,30 15 21				
12,6 12,6							8,05 8,30						P.C. 8,20 37 47				
13,4 13,4							13,4 13,6						P.C. 12,20 33 45				
15,0 15,0	Argilliti marnose di colore grigio a tessitura tendenzialmente scagliosa con livelli di consistenza litoide ed intercalazioni arenacee.												P.C. 15,00 48				13,3



 INDAGINI E RICERCHE INGEGNERIA GEOTECNICA TECNOSOIL s.n.c. di Pietromartini E. & C. Via Fontevicochia, 4 - 05010 SPOLTORRE (PE) tel/fax 0854157055 - email: tecnosoil@tin.it		Verbaie di accettazione n° 0008 del 07/04/2008 CERTIFICATO N° 0021 foglio 1 di 1 data di emissione 21/04/2008 STRATIGRAFIA DI SONDAGGIO												
COMMITTENTE: SNAMPROGETTI S.p.a.		COORDINATE GAUSS-BOAGA: S6												
OPERA: METANODOTTO PONTREMOLI - CORTEMAGGIORE		QUOTA:												
LOCALITA': PASSO DEL BRATTELLO		DATA: Inizio 09/04/2008 Fine 09/04/2008												
SCALA: 1:100	TIPO SONDA: CMV 420 S	DIAMETRO FORO: Iniziale 127 mm Finale 101 mm	OPERATORI: Marinucci-Renzella											
METODO PERFORAZIONE: C.C.		CAMPIONATORE: Shelby	GEOLOGO: P. D'Ercole											
CAROTIERE PROFONDITA' DAL P.C. POTENZA DELLA FORMAZIONE SEZIONE STRATIGRAFICA	DESCRIZIONE LITOLOGICA DELLE FORMAZIONI ATTRAVERSATE	RECUPERO CAROTAGGIO (%)	R.O.D. Rock Quality Designation (%)	Pocket Penetration (Kcal)	FALDA	CAMPIONI			PROVE IN FORO			ATTREZZATURE A IN FORO	TUBI DI RIVESTIMENTO	
						Indisturbati	Rimaneggiati	Ambientali	RILIEVO GAS	Dialettometrica	Lefranc			S.P.T. Prof. N.Cote
1,5	Piano stradale e materiale di riporto costituito da argille marroni miste a clasti.													
0,5	Argille limose di colore giallo-ocraceo con frequenti scaglie argilliche centimetriche. Graduale passaggio ad argille limose di colore marrone-avana e da consistenti a molto consistenti.					3,50								
						3,00								
						7,20								
						7,40								
10,0														8,3

 INDAGINI E RICERCHE INGEGNERIA GEOTECNICA TECNOSOIL s.n.c. di Pietromartini E. & C. Via Fontevicochia, 4 - 05010 SPOLTORRE (PE) tel/fax 0854157055 - email: tecnosoil@tin.it		Verbaie di accettazione n° 0008 del 07/04/2008 CERTIFICATO N° 0022 foglio 1 di 1 data di emissione 21/04/2008 STRATIGRAFIA DI SONDAGGIO												
COMMITTENTE: SNAMPROGETTI S.p.a.		COORDINATE GAUSS-BOAGA: S7												
OPERA: METANODOTTO PONTREMOLI - CORTEMAGGIORE		QUOTA:												
LOCALITA': PASSO DEL BRATTELLO		DATA: Inizio 09/04/2008 Fine 09/04/2008												
SCALA: 1:100	TIPO SONDA: CMV 420 S	DIAMETRO FORO: Iniziale 127 mm Finale 101 mm	OPERATORI: Marinucci-Renzella											
METODO PERFORAZIONE: C.C.		CAMPIONATORE: Shelby	GEOLOGO: P. D'Ercole											
CAROTIERE PROFONDITA' DAL P.C. POTENZA DELLA FORMAZIONE SEZIONE STRATIGRAFICA	DESCRIZIONE LITOLOGICA DELLE FORMAZIONI ATTRAVERSATE	RECUPERO CAROTAGGIO (%)	R.O.D. Rock Quality Designation (%)	Pocket Penetration (Kcal)	FALDA	CAMPIONI			PROVE IN FORO			ATTREZZATURE A IN FORO	TUBI DI RIVESTIMENTO	
						Indisturbati	Rimaneggiati	Ambientali	RILIEVO GAS	Dialettometrica	Lefranc			S.P.T. Prof. N.Cote
1,0	Piano stradale e materiale di riporto costituito da terra mista a clasti.													
5,6	Argille limose di colore avana chiaro secondariamente marrone o grigio, miste a frequenti scaglie di natura argilliche centimetriche, da consistenti a molto consistenti. Talora livelli arenacei da centimetrici a max 30 cm.					3,00								
						3,00								
						7,8								
						8,0								
10,0	Arenarie da molto fratturate a completamente frantumate, con fratture spesso iso-orietate lungo piani sub-orizzontali. Livelli 10-15 cm costituiti da argilliti di colore grigio alle quote 9,0 e 9,85 m.													8,0



 INDAGINI E RICERCHE DI INGEGNERIA GEOTECNICA TECNOSOIL S.p.A. di Pietronave E. & C. Via Fontevicocha, 4 - 45010 SPOLTORE (PE) tel/fax 0564157055 - email: tecnosoil@inwind.it Decreto di concessione ministeriale n. 52504 del 11/10/2004 per prove geotecniche in situ (settorc), ai sensi dell'art.8, comma 6 del D.P.R. 246		Verbale di accettazione n° 0008 del 07/04/2008 CERTIFICATO N° 0023 foglio 1 di 1 data di emissione 21/04/2008 STRATIGRAFIA DI SONDAGGIO			Rif. Int. Sc031	
		COMMITTENTE SNAMPROGETTI S.p.a.		S8		
OPERA: METANODOTTO PONTREMOLI - CORTEMAGGIORE		COORDINATE GAUSS-BOAGA N E		QUOTA		
LOCALITA': PASSO DEL BRATTELLO		DATA Inizio 10/04/2008 Fine 10/04/2008				
SCALA: 1:100	TIPO SONDA: CMV 420 S	DIAMETRO FORO: Iniziale 127 mm Finale 101 mm	OPERATORI: Marinucci-Renzella			
METODO PERFORAZIONE: C.C.		CAMPIONATORE: Sheiby	GEOLOGO: P. D'Ercole			
CAROTIERE PROFONDITA' DAL P.C. POTENZA DELLA FORMAZIONE SEZIONE STRATIGRAFICA	DESCRIZIONE LITOLOGICA DELLE FORMAZIONI ATTRAVERSATE	RECUPERO CAROTAGGIO (%) R.Q.D. Rock Quality Designation (%) Pocket Penetrometer (Kg-c)	FALLA	CAMPIONI Indisturbati Rimaneggiati Fluidi Ambientali	RILEVO GAS Distanometrica Leftranc S.P.T. Prof. N Colpi	PROVE IN FORO ATTREZZATURA IN FORO TUBI DI RIVESTIMENTO
(m) (m) 0,5 0,5 4,1 4,8 1,7 6,3 3,7 10,0	Materiale di riporto. Argilliti di colore avana con inclusi arenacei di spessore max 10 cm. Siltiti da molto fratturate a completamente frantumate con fratture allineate lungo piani iso-orientati sub-orizzontali. Arenarie molto fratturate con fratture orizzontali e livelli argilliti decimetrici.					

 INDAGINI E RICERCHE DI INGEGNERIA GEOTECNICA TECNOSOIL S.p.A. di Pietronave E. & C. Via Fontevicocha, 4 - 05010 SPOLTORE (PE) tel/fax 0564157055 - email: tecnosoil@inwind.it Decreto di concessione ministeriale n. 52504 del 11/10/2004 per prove geotecniche in situ (settorc), ai sensi dell'art.8, comma 6 del D.P.R. 246		Verbale di accettazione n° 0008 del 07/04/2008 CERTIFICATO N° 0025 foglio 1 di 1 data di emissione 22/04/2008 STRATIGRAFIA DI SONDAGGIO			Rif. Int. Sc033	
		COMMITTENTE SNAMPROGETTI S.p.a.		S10		
OPERA: METANODOTTO PONTREMOLI - CORTEMAGGIORE		COORDINATE GAUSS-BOAGA N E		QUOTA		
LOCALITA': PASSO DEL BRATTELLO		DATA Inizio 14/04/2008 Fine 14/04/2008				
SCALA: 1:100	TIPO SONDA: CMV 420 S	DIAMETRO FORO: Iniziale 127 mm Finale 101 mm	OPERATORI: Marinucci-Renzella			
METODO PERFORAZIONE: C.C.		CAMPIONATORE:	GEOLOGO: S. Cavallucci			
CAROTIERE PROFONDITA' DAL P.C. POTENZA DELLA FORMAZIONE SEZIONE STRATIGRAFICA	DESCRIZIONE LITOLOGICA DELLE FORMAZIONI ATTRAVERSATE	RECUPERO CAROTAGGIO (%) R.Q.D. Rock Quality Designation (%) Pocket Penetrometer (Kg-c)	FALLA	CAMPIONI Indisturbati Rimaneggiati Fluidi Ambientali	RILEVO GAS Distanometrica Leftranc S.P.T. Prof. N Colpi	PROVE IN FORO ATTREZZATURA IN FORO TUBI DI RIVESTIMENTO
(m) (m) 1,2 8,8 10,0	Limi argilloso-sabbiosi di colore marrone Limi argilloso-sabbiosi colore marrone ed avana molto consistenti con livelli a consistenza mamosa e che generalmente presentano in scaglie e frammenti eterometrici. Si rilevano inoltre nuclei e livelli anche metrici (in particolare da quota 4,3 m a quota 5,0 m) di arenarie con grana medio-fine ben cementata e che spesso tendono a frantumarsi in superfici piano parallele.					



I campioni indisturbati e rimaneggiati sono stati sottoposti a prove di laboratorio per la determinazione delle caratteristiche fisiche e di resistenza, mediante determinazione del contenuto in acqua, perso specifico, limiti di consistenza, parametri di resistenza di picco e residui con prove di taglio diretto e parametri di resistenza residui con prove di taglio anulare.

Come visualizzato i campioni hanno interessato principalmente materiali limoso-argillosi dei terreni di copertura e/o materiali della facies argillitica della formazione di substrato: i risultati delle prove, in generale piuttosto omogenei e poco dispersi, sono illustrati nella sottostante tabella.

Sondaggio	campione	litologia	LIMITI DI CONSISTENZA					TAGLIO DIRETTO				TAGLIO ANULARE	
			W	γ	WP	WL	IP	c _p	σ _p	c _r	σ _r	c _r	σ _r
			(%)	(t/mc)	(%)	(%)		Kpa	(°)	Kpa	(°)	Kpa	(°)
6	1	limo argilloso	25.6	1.98	28	42	14	11.9	28.8	0	21.9		
6	2	limo argilloso compatto	18	2.08	24	36	12						
7	1	limo argilloso molto compatto, poco plastico	21.1	1.99	27	38	11	15.2	28.4	0.7	23.3		
9	CR1	limo argilloso compatto, plastico										0	15.2
10	1	limo argilloso poco plastico	11.1	2.03	19	32	13			0.5	22.1		
10	CR1	limo argilloso poco plastico			22	32	10						
10	CR2	limo argilloso poco plastico			16	25	9						

5.4 Unità litotecniche e sezioni geologiche

Partendo da quanto illustrato ai paragrafi precedenti, si è cercato di differenziare le unità litostratigrafiche secondo uno schema semplificato così articolato:

1) UNITA' DEI TERRENI DI COPERTURA

- **Suolo:** è presente in tutti i siti degli aerogeneratori e dell'area di cantiere ma non ha rilevanza ai fini geotecnici in quanto presente con spessori ridottissimi e pertanto oggetto di splateamento e sbancamento;
- **TC1: Detrito di falda (unità a6):** è presente principalmente nel sito dell'aerogeneratore BT01 con spessori di circa 3,5 – 4 m e a monte dell'area di sedime dell'aerogeneratore BT04; si tratta di depositi costituiti da elementi litoidi spigolosi generalmente con matrice fine piuttosto scarsa.
- **TC2: Depositi glaciali e periglaciali (unità c3):** sono presenti estesamente nell'area di cantiere e sono costituiti da detrito sciolto a struttura caotica con clasti eterometrici inglobati in matrice limoso-sabbiosa o limo-argillosa e con stratificazione mal visibile (facies b); nella



parte superiore è invece presente una facies più fine rappresentata da terreni limoso argillosi (a);

2) UNITA' DEL SUBSTRATO LAPIDEO O PSEUDO-LAPIDEO

- **Unità SL1: DPGV (“Arenarie di Monte Gottero):** è presente estesamente nella zona dell’aerogeneratore BT06 ed è rappresentata da masse di dimensioni più o meno rilevanti di roccia che, pur scivolata lungo una o più superfici di scorrimento, traslativa e/o rotazionale, conservano al loro interno la coerenza stratigrafica della roccia di provenienza.
- **Unità SL2 (coltre di alterazione e degradazione delle Arenarie di Monte Gottero):** è costituita dal cosiddetto cappellaccio di alterazione, cioè dalla fascia alterata e degradata del substrato roccioso delle Arenarie di Monte Gottero; si tratta di arenarie molto fratturate e degradate alternate a livelli decimetrici di argilliti.
- **Unità SL3 (Arenarie di Monte Gottero):** è costituita dal substrato roccioso delle Arenarie di Monte Gottero costituite da arenarie medio grosolane alternate a livelli pelitici nerastri.

Per la caratterizzazione dei parametri fisico-meccanici dei terreni di cui alle **UNITA' DEI TERRENI DI COPERTURA** si è fatto riferimento a:

- **TC1 Detrito di falda:** prova penetrometrica dinamica DPSH04 eseguita nel sito dell’aerogeneratore BT01;
- **TC2 Depositi glaciali e periglaciali:** prove penetrometriche dinamiche nella zona della sottostazione utente (che saranno illustrate nel seguito della presente, nel Capitolo dedicato).

Il quadro generale dei parametri nominali geotecnici attribuiti ai **terreni di copertura**, desunto dalle indagini geognostiche, dai dati bibliografici e alle classificazione geomeccaniche ricorrenti è così riassumibile:

VALORI MEDI												
	γ		γ _{sat}		c _u		Dr	φ'	E _d		E	
	t/m ³	kN/m ³	t/m ³	kN/m ³	kg/cm ²	kPa	%	°	kg/cm ²	kPa	kg/cm ²	kPa
TC1	1.91	18.69	1.96	19.20	0.71	69.46	82.14	24.64	97.38	9549.72	156.15	15313.09
TC2a	1.98	19.38	2.13	20.92	0.43	42.34	34.52	25.44	116.90	11463.92	108.58	10648.30
TC2b	2.24	21.94	2.40	23.53	1.16	113.88	63.93	31.35	324.60	31832.40	311.76	30573.47

Per la caratterizzazione dei parametri fisico-meccanici dei terreni di cui alle **UNITA' DEL SUBSTRATO LAPIDEO O PSEUDO-LAPIDEO** si è fatto riferimento ai dati delle prove di laboratorio reperite e alla classificazione geomeccanica degli ammassi rocciosi proposta da Bieniawsky.

Il quadro generale dei parametri nominali geotecnici attribuiti alle unità del **substrato lapideo**, desunto dalle indagini geognostiche, dai dati bibliografici e alle classificazione geomeccaniche ricorrenti è così riassumibile:

VALORI MEDI SUBSTRATO LAPIDEO						
	γ	c		φ'	E _d	
	kN/m ³	kg/cm ²	kPa	°	kg/cm ²	kPa
SL1	21 - 24	2.50	245.00	29.50	96261.21	9440000.00
SL2	21 - 23	2.19	215.00	26.50	68117.04	6680000.00
SL3	21 - 25	3.11	305.00	35.50	224337.57	22000000.00



Sulla base della classificazione delle unità litotecniche eseguita ed utilizzando i risultati delle indagini geognostiche e geofisiche si è proceduto alla costruzione delle sezioni geologiche in asse piazzola di ciascun aerogeneratore.

Le sezioni, in scala 1:500 (*Figura 5.58 - Figura 5.65*), sono state ricostruite secondo la direttrice di massima pendenza del versante e riportano i seguenti dati:

- ubicazione dell'aerogeneratore e della fondazione;
- legenda delle unità litotecniche (unità delle terre di copertura e del substrato lapideo), sismostratigrafiche e litologiche;
- successione stratigrafica ricostruita con le sezioni tomografiche a rifrazione;

La stratigrafia è stata ricostruita sulla base delle sezioni sismostratigrafiche utilizzando come taratura le informazioni derivanti dalle prove penetrometriche DPSH e cercando di estendere a tutta la sezione le informazioni disponibili.

A tal proposito si evidenzia che gli orizzonti sismostratigrafici n°1 e n°2 sono stati entrambi attribuiti ai terreni di copertura, anche se il secondo livello potrebbe essere rappresentativo, alla luce delle velocità delle onde P che lo contraddistinguono, del tetto delle formazioni di substrato; si è ritenuto opportuno, in via cautelativa, eseguire questo tipo di correlazione che potrebbe risultare più corretta dal punto di vista geotecnico rispetto a quello geologico.

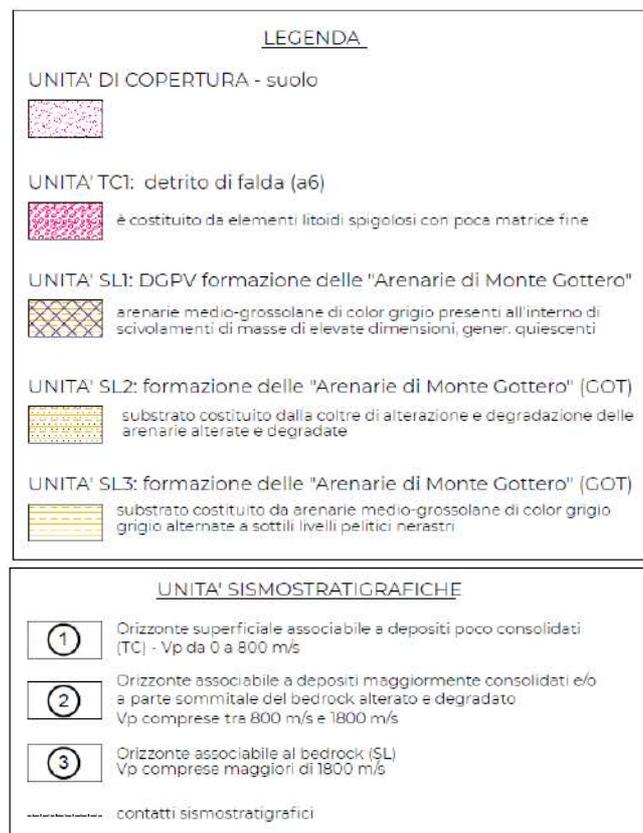


Figura 5.58 – legenda sezioni geologiche

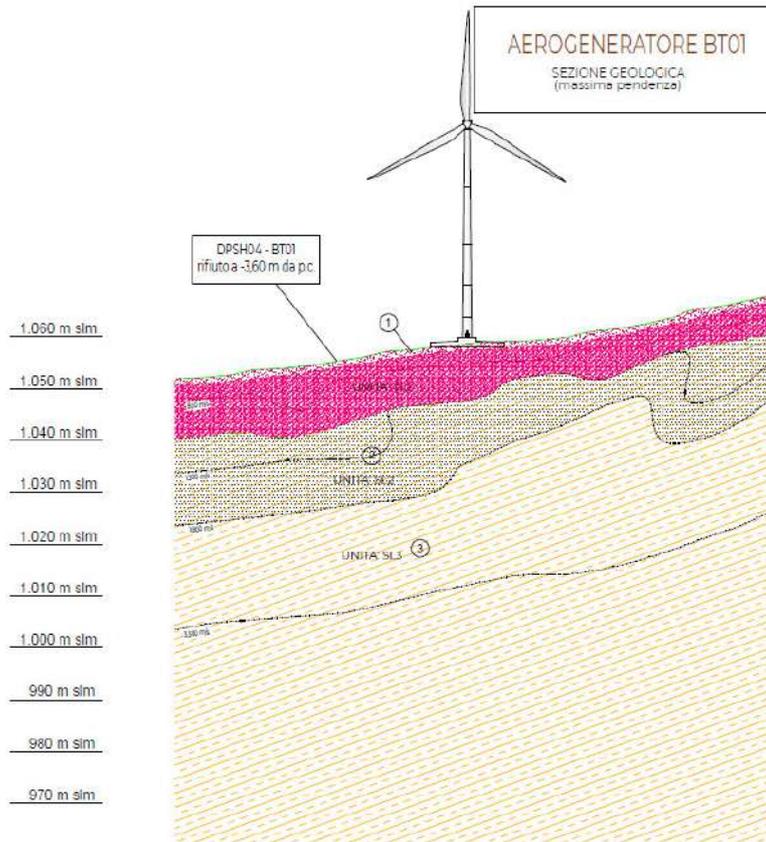


Figura 5.59 – sezione aerogeneratore BT01

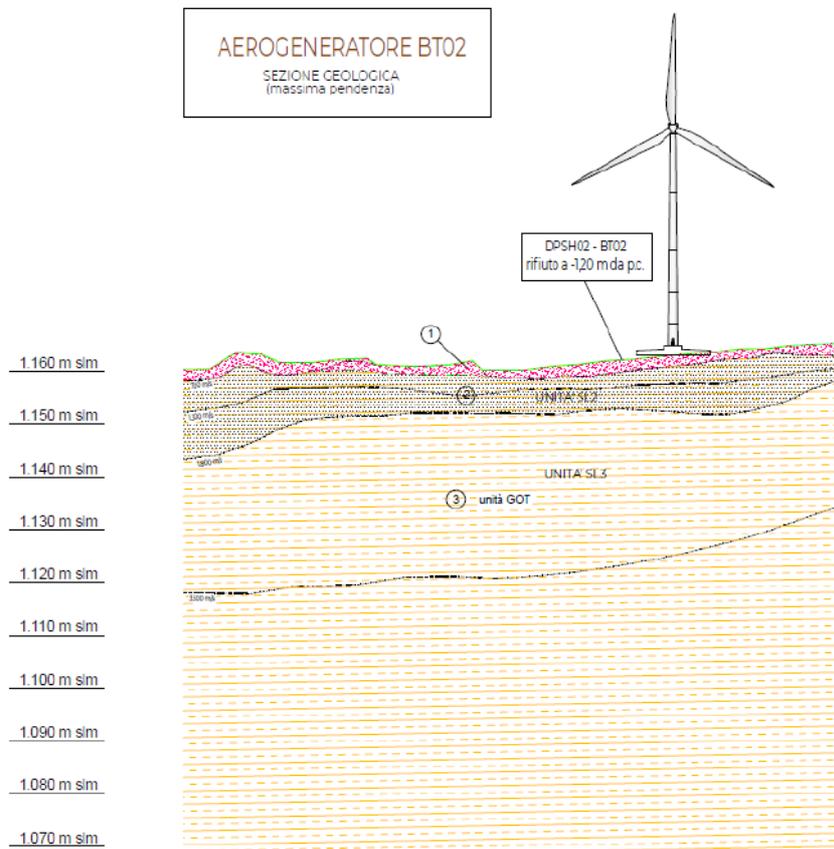


Figura 5.60 – sezione aerogeneratore BT02

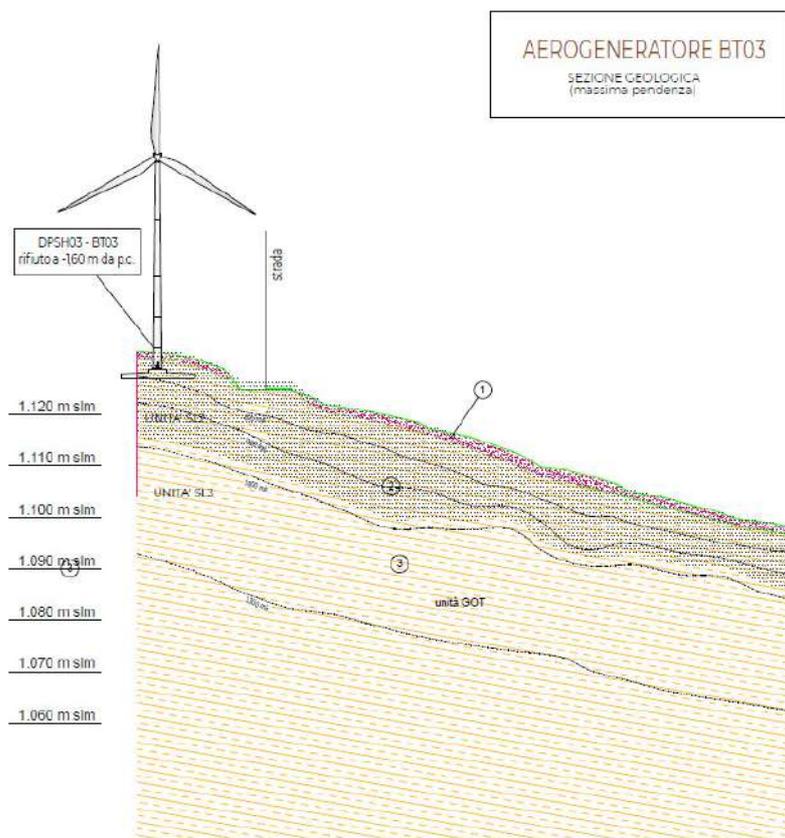


Figura 5.61 – sezione aerogeneratore BT03

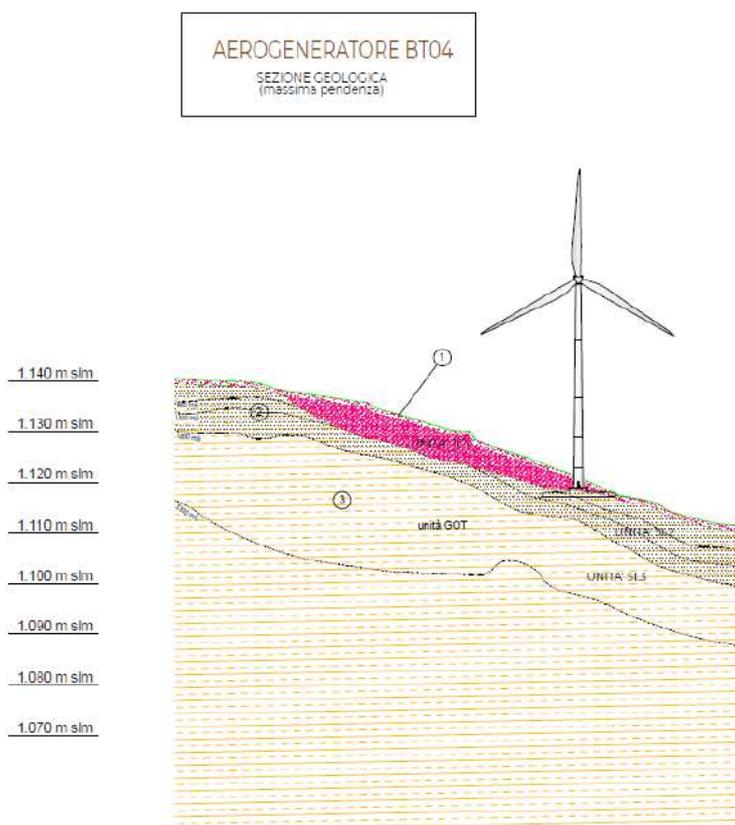


Figura 5.62 – sezione aerogeneratore BT04

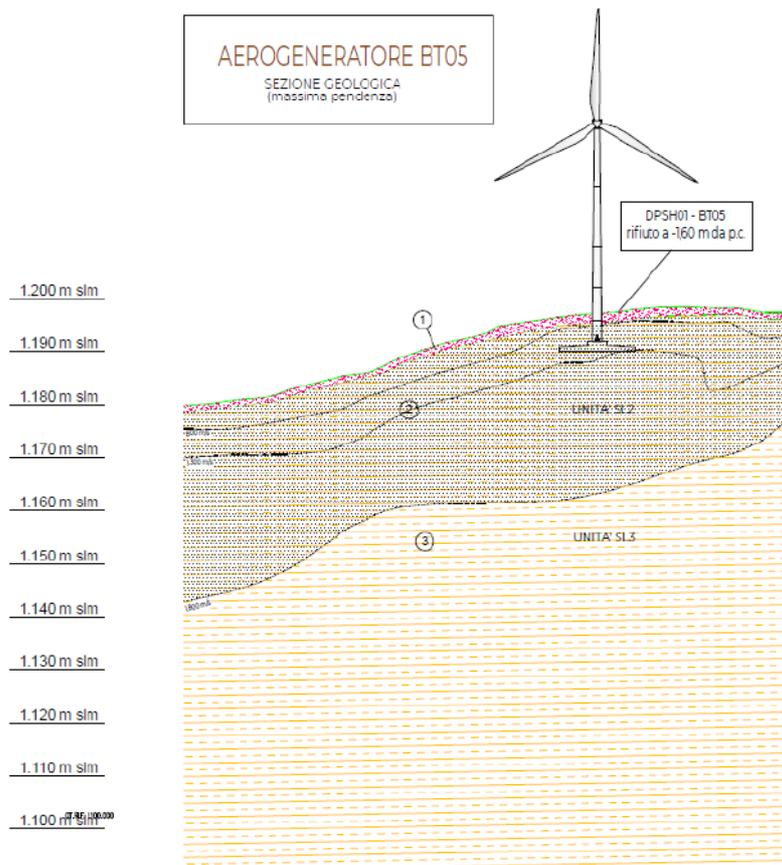


Figura 5.63 – sezione aerogeneratore BT05

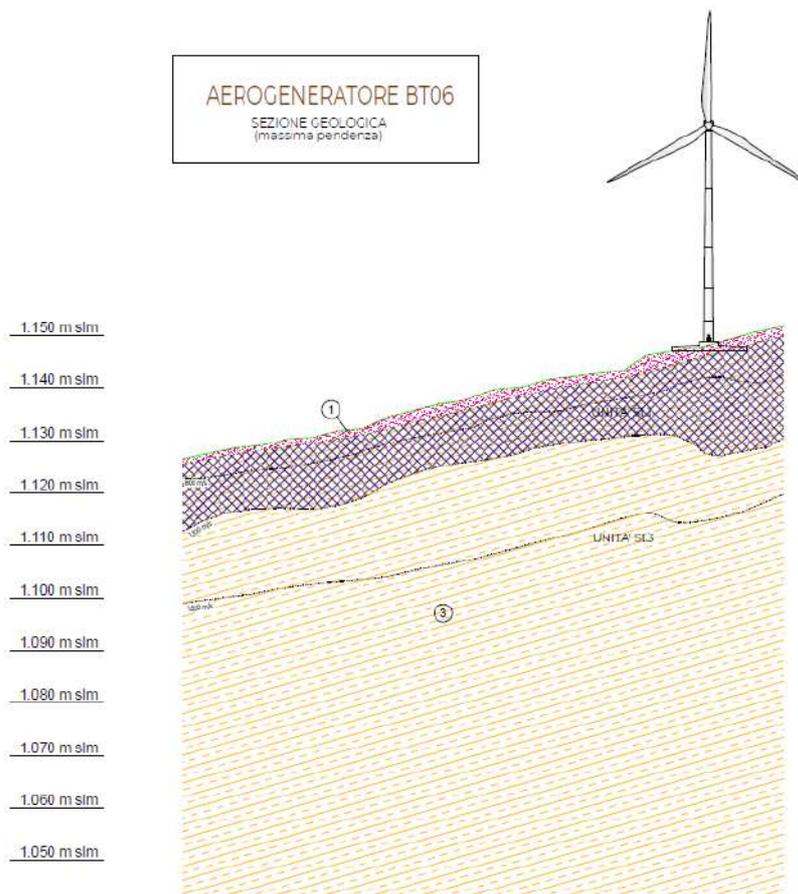


Figura 5.64 – sezione aerogeneratore BT06

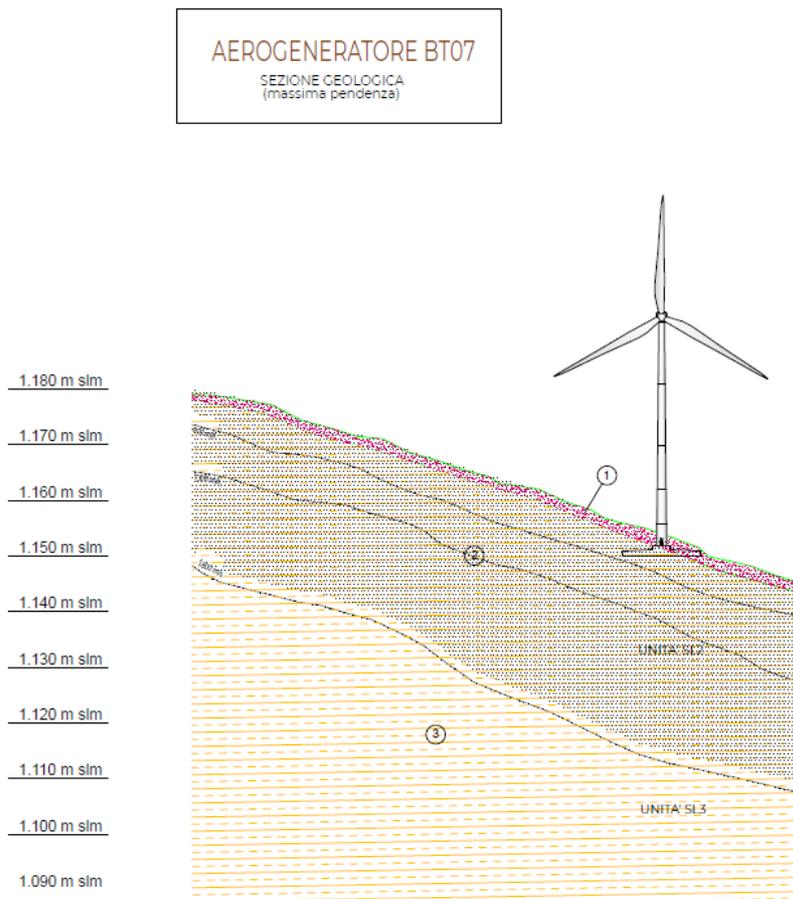


Figura 5.65 – sezione aerogeneratore BT07

5.5 Geomorfologia e stabilità dei versanti

Il paesaggio di questo settore di Appennino appare quanto mai variegato, riassumendo in sé molti aspetti tipici dell'Appennino Settentrionale, che possono essere considerati come vere e proprie unità di paesaggio alle quali fanno da fondamento la natura geologica e l'evoluzione geomorfologica di questo territorio.

Dal punto di vista idrografico l'area in oggetto si colloca nella parte elevata del bacino idrografico del Fiume Taro e del suo affluente destro Tarodine, in corrispondenza dello spartiacque fra la regione Emilia-Romagna e la Toscana; tale spartiacque si contraddistingue per la variabilità dell'elevazione massima, con quote sommitali che oscillano dai 1952 m s.l.m. del Monte Marmagna (situato più ad Est) ai 1238 del Monte Scassella (più ad Ovest). Tali differenze sono state determinate dall'alternanza delle unità rocciose arenacee, maggiormente resistenti ai processi di degradazione meteorica e all'erosione degli agenti morfogenetici con altre unità in cui le peliti, più sensibili ai fenomeni erosivi, sono dominanti.

Il profilo vallivo trasversale del Fiume Taro, lungo la direttrice M.Molinatico – M. La Tagliata, evidenzia la natura lito-strutturale del substrato (Figura 5.66):

- In sinistra si riscontra l'appoggio della sinclinale epiligure, dominata dalle Arenarie di Ranzano, sul substrato liguride di natura argillosa;
- In destra si evidenzia l'andamento monoclinare delle Arenarie di Monte Gottero appartenenti alla Placca del Molinatico, sovrapposte anch'esse alle unità argillose liguri, da cui si staccano selettivamente.



Figura 5.66 – profilo schematico della Val Taro (da note geologiche foglio Borgo Val di Taro)

Nel versante Nord del Monte Molinatico sono presenti delle contropendenze elevate alcuni metri che furono associate a cordoni morenici; in realtà si ritiene possano rappresentare trincee originate da deformazioni gravitative profonde di versante connesse alle faglie neotettoniche ad orientazione prevalente NW-SE, che segmentano il rilievo montuoso.

L'attuale assetto geomorfologico dell'ambito territoriale del Comune di Borgo Val di Taro rappresenta pertanto il risultato dell'effetto combinato di alterne vicende climatiche di varia intensità, lente deformazioni tettoniche ed interventi antropici, che si sono imposti negli ultimi millenni ed hanno direttamente interagito sull'andamento morfologico del territorio; in particolare la conformazione del paesaggio è legata essenzialmente all'azione tettonico - sedimentaria, che condiziona l'assetto dei corpi rocciosi affioranti, e alla selettività degli stessi in rapporto all'azione di erosione, trasporto e sedimentazione operata dagli agenti esogeni (corsi d'acqua, precipitazioni meteoriche, fenomeni crioclastici ecc.).

La sommatoria dei fattori evolutivi ha dato origine nel tempo a tutte quelle tipiche forme e depositi che compongono l'attuale morfologia; la prevalenza di litotipi arenacei (Arenarie Gottero) altamente resistenti all'erosione ha conferito al paesaggio dell'area in esame forme molto aspre con profonde valli, versanti acclivi e ripide scarpate. Solamente in zone meno estese arealmente, dove affiorano litotipi più teneri si registra la presenza di forme più addolcite in netto contrasto alle precedenti.

Dal punto di vista morfologico l'area del parco eolico si sviluppa nel versante settentrionale del crinale Tosco-emiliano, nel tratto di crinale compreso tra il Monte Molinatico e il Monte Gottero, in un intervallo altimetrico variabile all'incirca da 1050 m slm a 1.190 m slm.

L'area presenta caratteri morfologici piuttosto variabili, determinati dall'azione dei processi morfogenetici che hanno interessato la formazione geologica delle Arenarie di Monte Gottero:

- i versanti poco acclivi sono in genere caratterizzati da una relativamente spessa copertura detritica formata da ghiaia eterometrica angolare, immersa in una matrice sabbioso limosa;
- nei versanti acclivi invece, la copertura presenta spessori ridotti o è addirittura assente. Alla base di essi sono di sovente presenti estese falde detritiche derivate dall'azione del gelo e del disgelo; processo comune nell'alto Appennino parmense ed estremamente efficace sulle rocce stratificate e giuntate

L'assetto morfologico è stato fortemente condizionato dalle forme strutturali e risulta estremamente variabile, con valli asimmetriche e sequenze di versanti ripidi e versanti poco acclivi determinati dalle zone di affioramento delle rocce dure e delle rocce tenere e dalla loro giacitura.

In particolare, si può osservare in modo piuttosto marcato come l'orientazione delle stratificazioni abbia condizionato fortemente l'evoluzione delle forme dei versanti:

- sulla parte sommitale del versante toscano, esposto a Sud, dove affiorano terreni a consistenza lapidea con stratificazioni disposte a reggipoggio – trasverso-poggio, si configurano pareti acclivi con pendenze di oltre il 40%;



- sul versante emiliano, esposto a Nord, sono presenti pendii con pendenze più blande (25 – 40%) e forme variamente ondulate, con diffuse irregolarità e dissesti più o meno accentuati in funzione della degradabilità delle litologie affioranti.

I siti degli aerogeneratori sono tutti ubicati nel territorio dell’Emilia Romagna, a nord del crinale appenninico che segna il confine di regione; in particolare, tre aerogeneratori (BT02, BT03, BT04 e BT05) risultano ubicati in aree prossime al crinale, mentre i restanti (BT01, BT06, BT07) sono posizionati in corrispondenza del versante vallivo che degrada verso nord con pendenze variabili.

Come si può osservare nella Carta idro-morfologica (Tav. G-R.1 Tav4) di cui alla *Figura 5.67* l’area è contraddistinta da poche testimonianze di instabilità gravitativa (frane attive sporadiche e di estensione areale non elevata e frane quiescenti, di maggiori dimensioni), mentre più diffuse sono le coperture di detrito di versante. E’ presente inoltre un’area molto estesa che viene censita come versante interessato da deformazioni gravitative profonde.

LEGENDA

	Frane attive (aree a pericolosità geomorfologica molto elevata - art. 21 N.T.A. del P.T.C.P. di Parma)
	Frane quiescenti (aree a pericolosità geomorfologica elevata - art. 22 N.T.A. del P.T.C.P. di Parma)
	Parti di versante inglobati in corpi di frana quiescente (aree a pericolosità geomorfologica elevata - art. 22 N.T.A. del P.T.C.P. di Parma)
	Versanti interessati da scivolamenti planario rotazionali in massa (aree a pericolosità geomorfologica moderata - art. 22bis N.T.A. del P.T.C.P. di Parma)
	Frane relitte e detrito di versante (aree a pericolosità geomorfologica moderata - art. 22bis N.T.A. del P.T.C.P. di Parma)
	Depositi di conoide alluvionale (aree a pericolosità geomorfologica moderata - art. 22bis N.T.A. del P.T.C.P. di Parma)
	Depositi alluvionali (aree a pericolosità geomorfologica moderata - art. 22bis N.T.A. del P.T.C.P. di Parma)

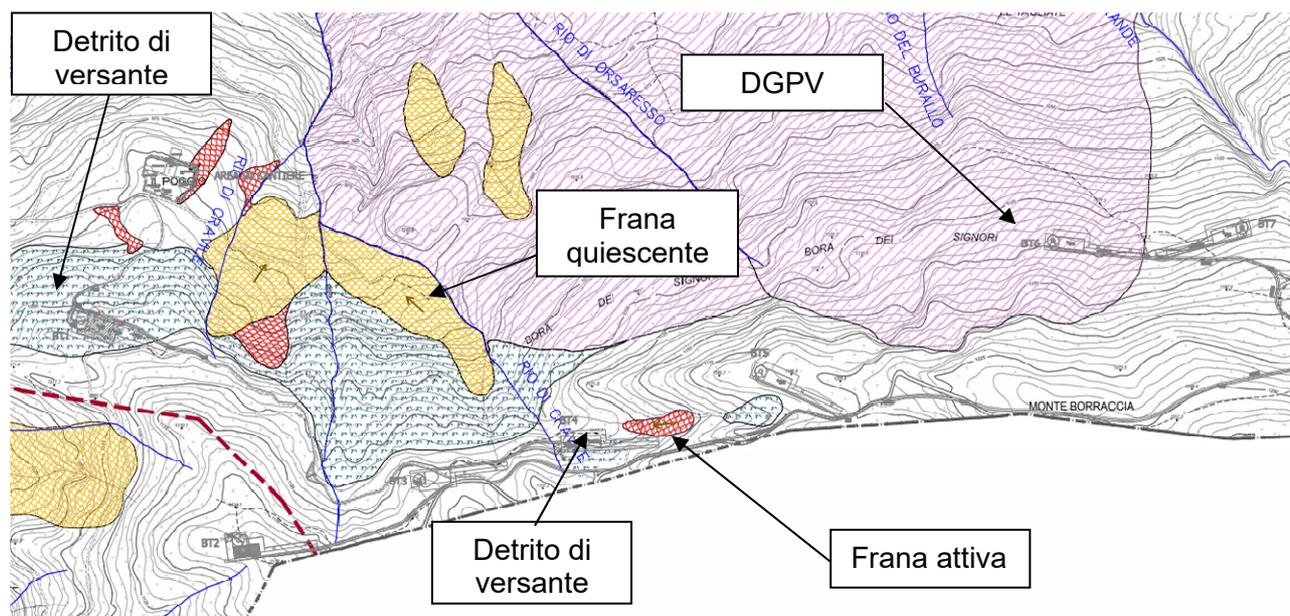


Figura 5.67 – Carta idro-geomorfologica



Uno dei principali criteri utilizzati per l’ottimizzazione della scelta dei siti, al di là delle considerazioni di carattere anemometrico relative alla ventosità del territorio locale, che avevano permesso l’identificazione preliminare degli stessi, è stato quello di delimitare ed escludere i siti ricadenti all’interno delle aree cartografate in dissesto idrogeologico nella “Carta del Dissesto sez. 216100” e “sez. 216110” del P.T.C.P. della Provincia di Parma.

L’analisi della suddetta cartografia e i sopralluoghi in sito hanno permesso di individuare i seguenti elementi di rilievo:

- aree cartografate come **frane attive** e regolate dall’art. 21 del PTCP quali aree a pericolosità geomorfologica molto elevata: si tratta di 5 aree presenti in prossimità delle aree di progetto, ma nessuna interferente con i siti degli aerogeneratori né con l’area di cantiere e le opere di viabilità; la sola area di cantiere è ubicata in prossimità di un’area di frana attiva, ma non direttamente interferente se non con opere di drenaggio e regimazione idraulica che apporteranno un miglioramento delle condizioni idrogeologiche della stessa;
- aree cartografate come **frane quiescenti**: non interferiscono né con i siti degli aerogeneratori né con l’area di cantiere e le opere di viabilità;
- aree cartografate come **detrito di versante** e regolate dall’Art. 22 bis del PTCP quali aree a pericolosità geomorfologica moderata: si tratta di un’estesa area posta nel settore Nord-Ovest del parco e interessa direttamente il sito dell’aerogeneratore BT01;
- aree cartografate come **deformazione gravitativa profonda di versante** e regolate dall’Art. 22 bis del PTCP quali aree a pericolosità geomorfologica moderata: si tratta di un’estesissima area posta nel settore nord-orientale del parco e interessa direttamente il sito dell’aerogeneratore BT06.

Si può pertanto asserire che tutti i siti degli aerogeneratori non interferiscono direttamente con le aree a vincolo assoluto e solo due sono ubicati in corrispondenza di aree a vincolo derogabile per la presenza di detrito di versante e deformazione gravitativa profonda di versante.

Anche le opere viabilistiche e le opere temporanee per la cantieristica non interferiscono con aree pericolosità geomorfologica molto elevata (frane attive) ed elevata (frane quiescenti).

5.6 Analisi degli aspetti idrogeologici

L’assetto idrogeologico del territorio interessato dal progetto del parco eolico risulta strettamente connesso alle litologie presenti ed ai mutui rapporti stratigrafici fra le varie formazioni geologiche, presentando condizioni di variabilità estremamente elevate in relazione alle complicazioni geologiche e strutturali delle formazioni precedentemente descritte.

In tale contesto orografico è possibile distinguere due areali con caratteristiche idrogeologiche differenti, costituiti dal fondovalle fluviale/torrentizio e dalla zona collinare-montana.

Il fondovalle fluviale, dove si delinea il F. Taro e nelle vallecole dove scorrono i rii affluenti, risulta caratterizzato da materiali grossolani e da valori di permeabilità da elevati a molto elevati in relazione alla natura ghiaiosa e sabbiosa dei depositi alluvionali. Le fasce terrazzate laterali ai rii sono assenti in quanto i canali scorrono incassati all’interno di materiali rocciosi o a causa di crolli di detriti dalle sponde. Tuttavia possiamo supporre che i materiali di fondovalle siano interessati da una falda freatica di modesta entità, con caratteristiche di stagionalità ed in fase con le oscillazioni idrometriche di deflusso del corso d’acqua; complessivamente, si può comunque ritenere che, per la maggior parte dell’anno, la superficie libera del torrente espliciti una azione drenante.

Nella fascia collinare-montana, relativamente alle litologie rilevate, è possibile individuare le seguenti corrispondenze Formazioni Geologiche/Formazioni Idrogeologiche:



- le coperture detritiche sciolte superficiali e gli accumuli di frana costituiscono formazioni idrogeologiche semipermeabili caratterizzate da permeabilità da media a scarsa per porosità e in superficie per fessurazione.
- le unità argillose e argillitiche hanno per contro una permeabilità da bassa a nulla per porosità e a tratti più elevata per fatturazione lungo i rari livelletti arenitici che le caratterizzano.
- le formazioni arenacee, che a tratti risultano per diversi metri diffusamente fratturate per stress tettonici o fenomeni gravitativi del tipo descritto, hanno permeabilità discontinua e disomogenea, ma generalmente medio - alta, per fratturazione (che tende a ridursi in profondità) e medio - bassa per porosità a causa dei livelli pelitici presenti.

Da quanto esposto, si evince come il grado di permeabilità sia estremamente disomogeneo, ma nel versante in esame in generale sono presenti condizioni sfavorevoli all'instaurarsi di una rete di deflusso idrico sotterraneo propriamente detta; tuttavia, la forte discontinuità idrogeologica costituita dal passaggio fra detrito superficiale e/o roccia fratturata e alterata, favorisce lungo tale piano il formarsi di falde irregolari, temporanee e stagionali, che danno luogo alle emergenze presenti.

Inoltre la presenza di zone a permeabilità relativa localmente più elevata, in corrispondenza di zone della coltre detritica superficiale caratterizzati da materiali lapidei più grossolani, può determinare localmente condizioni di circolazione idrica sotterranea e superficiale, a carattere stagionale, discontinua, soggetta a sensibili oscillazioni stagionali in fase con il quantitativo idrico derivante dall'infiltrazione efficace delle acque meteoriche.

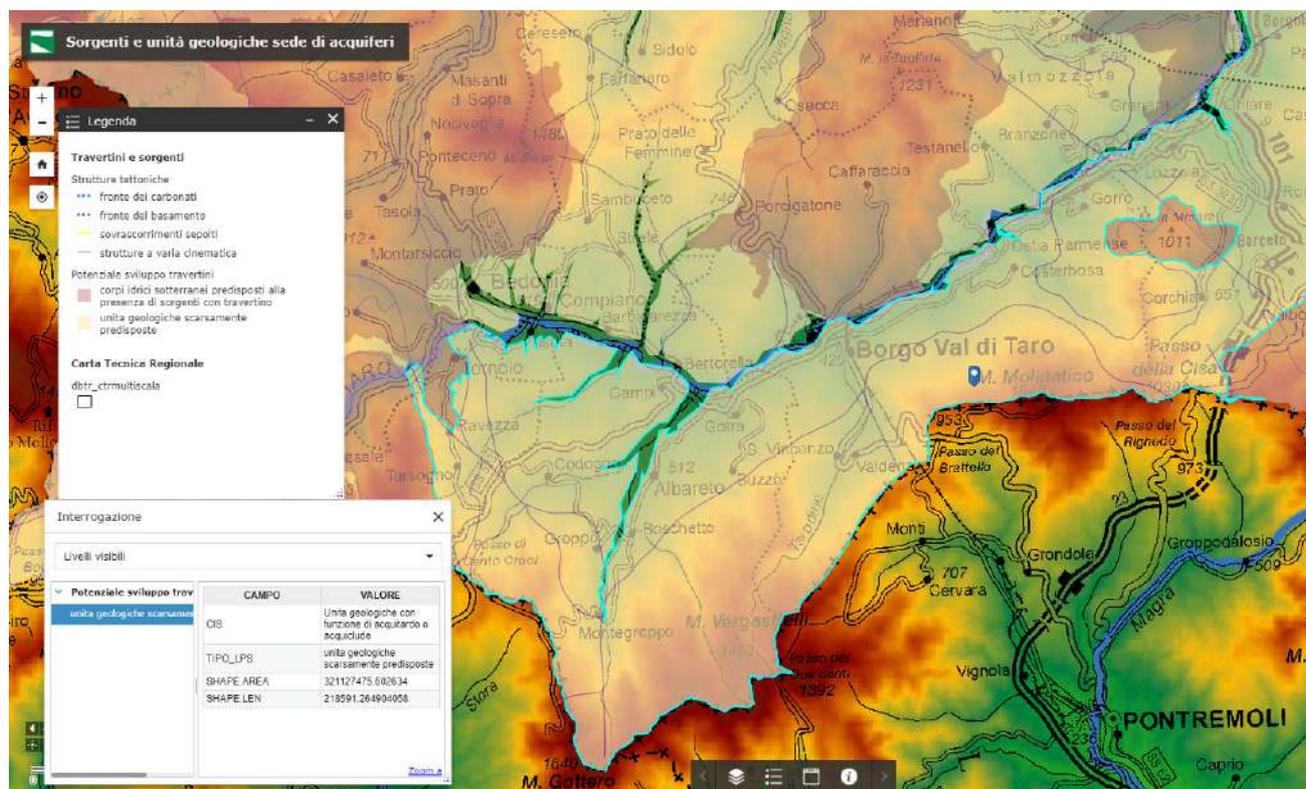


Figura 5.68 – Carta delle sorgenti e delle unità geologiche sede di acquiferi (da Geoportale RER https://servizimoka.regione.emilia-romagna.it/mokaApp/apps/rocce_magazzino/index.html)

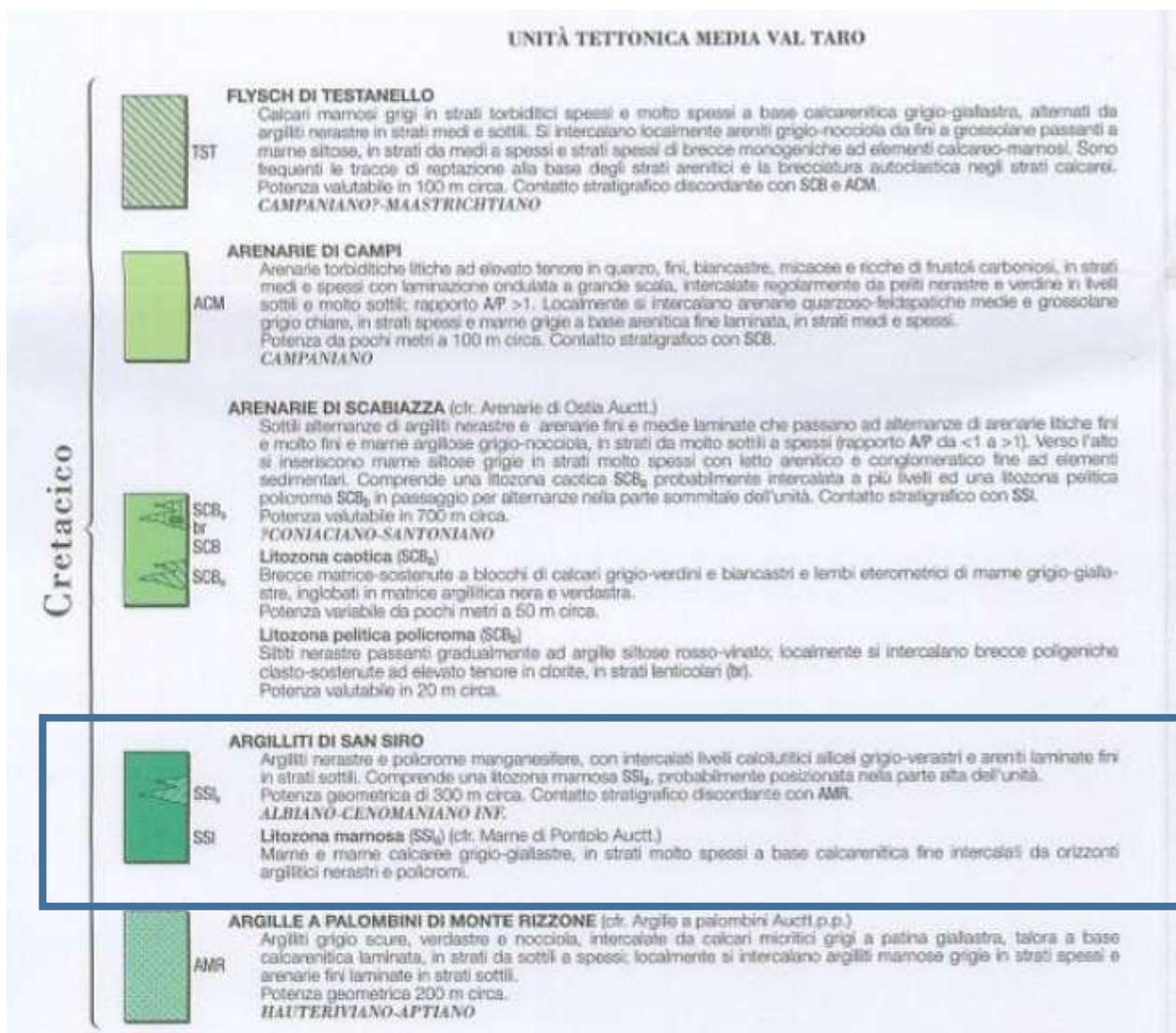


6. QUADRO GEOLOGICO LOCALE – SOTTOSTAZIONE UTENTE

6.1 Caratteri geologici locali

La sottostazione utente è ubicata in Comune di Borgo Val di Taro PR, nel settore sud-orientale dell'abitato capoluogo, in via Piave senza numero civico; in particolare, l'area oggetto di studio si colloca in destra idraulica dei torrenti Taro e Tarodine, in corrispondenza del rilevato della ferrovia che collega Borgo Val di Taro a Pontremoli, nell'area situata ad Est della stazione ferroviaria ed in particolare ad Est del Centro Edile ivi presente.

Dalla **CARTA GEOLOGICA D'ITALIA (ISPRA scala 1:50.000)** si osserva che sito oggetto di studio rientra nell'ambito della formazione delle “**Argilliti di San Siro**”, appartenente all'**Unità tettonica della Media Val Taro**, ampiamente estesa nella parte bassa del versante vallivo sia in sinistra sia in destra idrografica del torrente Tarodine. Tale formazione è costituita da **argilliti nerastre con intercalazioni di livelli calcilutitici silicei grigio verdastri ed areniti laminate fini in strati sottili**. Nella parte sommitale dell'unità è presente una **litozona marnosa costituita da marne e marne calcaree grigio-giallastre in strati spessi a base calcarenitica fine intercalati da orizzonti argillitici nerastri e policromi** (Marne di Pontolo).



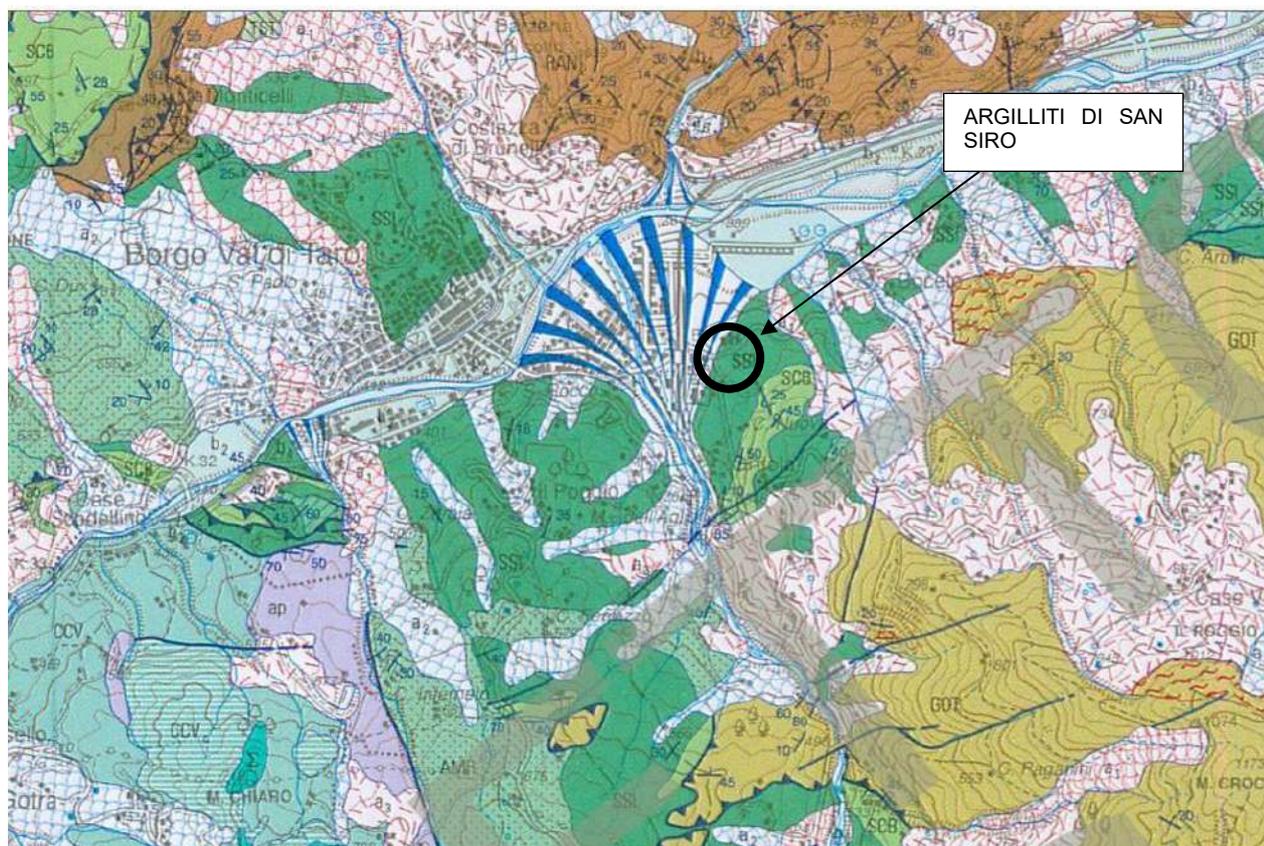
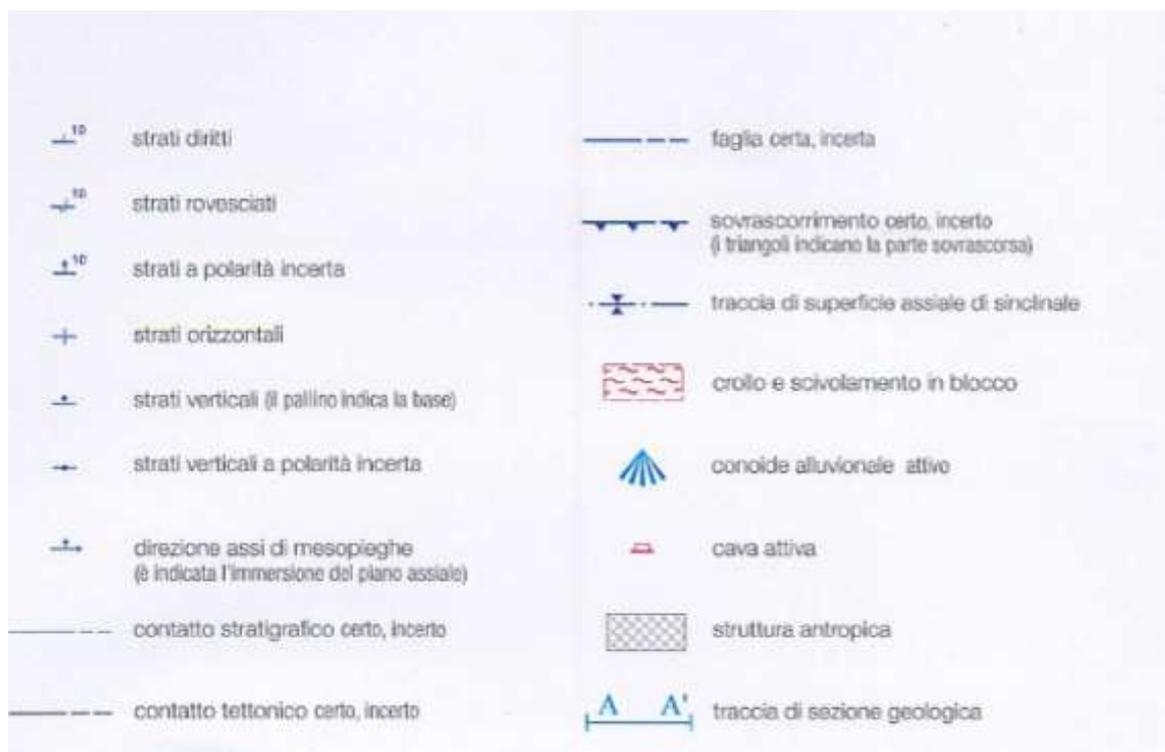


Figura 6.1 - Stralcio da Carta Geologica d'Italia 1: 50.000 – progetto CARG – sito ISPRA

La **CARTOGRAFIA GEOLOGICA DELLA REGIONE EMILIA-ROMAGNA**, di maggior dettaglio rispetto a quella di ISPRA, conferma che i terreni affioranti nell'area di studio sono litologicamente riferibili ad un “**DEPOSITO GLACIALE PERIGLACIALE (c3)**” costituito da un accumulo detritico deposto per azione prevalentemente glaciale, caratterizzato da **detrito sciolto a struttura caotica**



con clasti eterometrici inglobati in matrice limoso-sabbiosa o limo-argillosa e con stratificazione mal visibile. Localmente sono presenti massi erratici. Questi depositi sono generalmente presenti nelle parti più alte dei rilievi appenninici e la distinzione fra frane vere e proprie è talora difficoltosa poiché i depositi originati da azione glaciale e periglaciale possono essere stati rimobilizzati in epoche successive per azione gravitativa. (Figura 6.2).

Nell’area oggetto di intervento i depositi glaciali e periglaciali ricoprono la formazione delle **“ARGILLITI DI SAN SIRO”** appartenenti al Dominio Ligure e costituite da **argille intensamente tettonizzate e da argilliti**; si tratta di unità costituite in prevalenza da argille che, a causa della loro storia tettonica, risultano intensamente piegate e fratturate dalla scala dell’affioramento alla scala del campione (argille scagliose).

Comune di BORGIO VAL DI TARO (PR), sezione CTR: 216100

Coperture quaternarie (10K) c3 - Deposito glaciale e periglaciale	zoom	Poligono non aggiornato rispetto al rilievo originale
	data di ultima modifica	
Unità geologiche (10K) SSI - Argilliti di San Siro	identificativo IFFI	
	livello IFFI	
	sigla	c3
	legenda	c3 - Deposito glaciale e periglaciale
	nome	Deposito glaciale e periglaciale
	descrizione tipologica	Accumulo detritico deposto per azione prevalente glaciale, caratterizzato da detrito sciolto a struttura caotica con clasti eterometrici inglobati in matrice limoso-sabbiosa o limo-argillosa e con stratificazione mal visibile. Localmente frequenti i massi erratici. Questo tipo di deposito è localizzato nelle aree più alte dell'Appennino. La distinzione da frane vere e proprie è a volte problematica, in quanto i depositi originati da azione glaciale e periglaciale possono essere stati rimobilizzati successivamente per azione della gravità.

Comune di BORGIO VAL DI TARO (PR), sezione CTR: 216100

Unità geologiche (10K) SSI - Argilliti di San Siro	zoom	
	sigla	SSI
	etÀ inf.	
	etÀ sup.	
	nome	Argilliti di San Siro
	legenda	SSI - Argilliti di San Siro
	dominio	Dominio Ligure
	gruppo	F09 - Argille varicolori s.l.
	sigla litotecnica	Dsc - Argille scagliose
	litotecnica	Argille intensamente tettonizzate, argilliti - unità costituite in prevalenza da argille che a causa della loro storia tettonica risultano intensamente piegate e fratturate dalla scala dell'affioramento fino alla scala del campione ("argille scagliose")

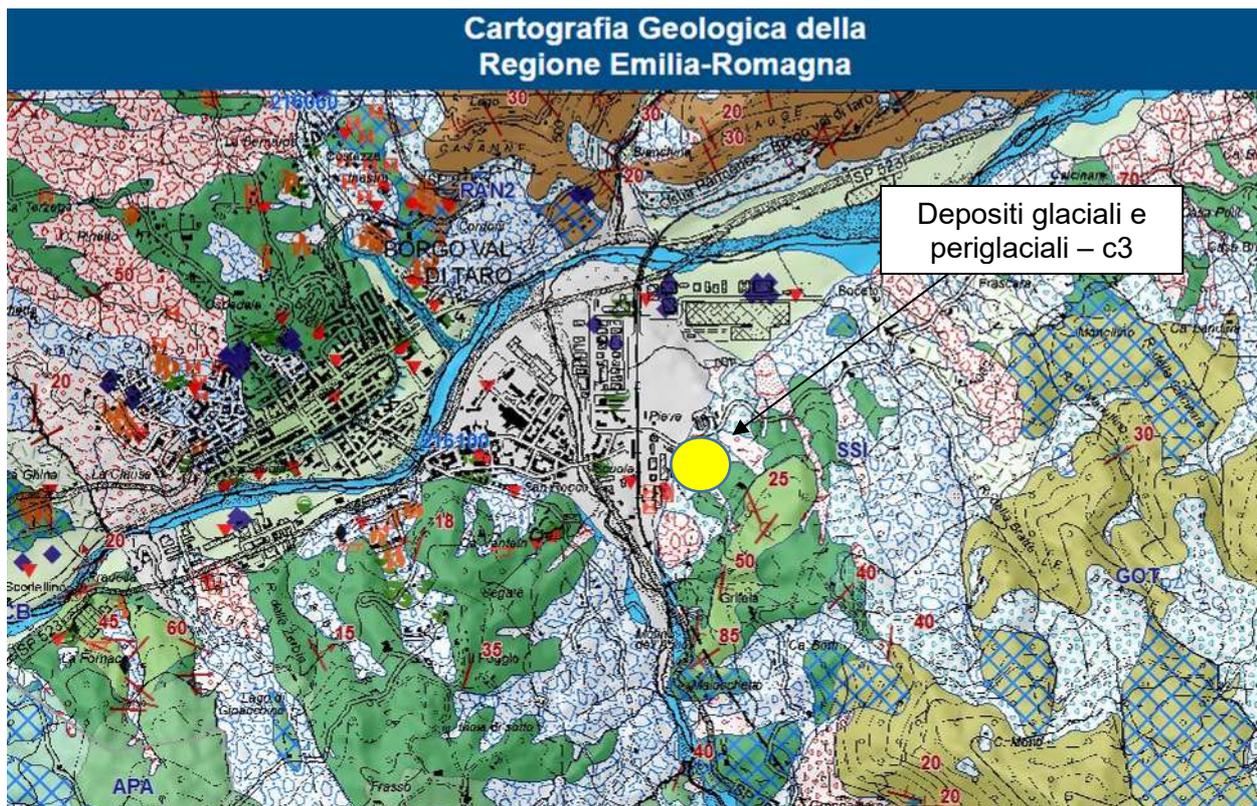


Figura 6.2 - Stralcio da Cartografia Geologica della Regione Emilia-Romagna - generale

6.2 Indagini geognostiche

Per la caratterizzazione dei depositi presenti localmente si è fatto riferimento alle indagini geognostiche e alle stratigrafie dei pozzi presenti nel data base regionale consultabile al link https://geo.regione.emilia-romagna.it/cartografia_sgss/user/viewer.jsp?service=geologia (Figura 6.3).

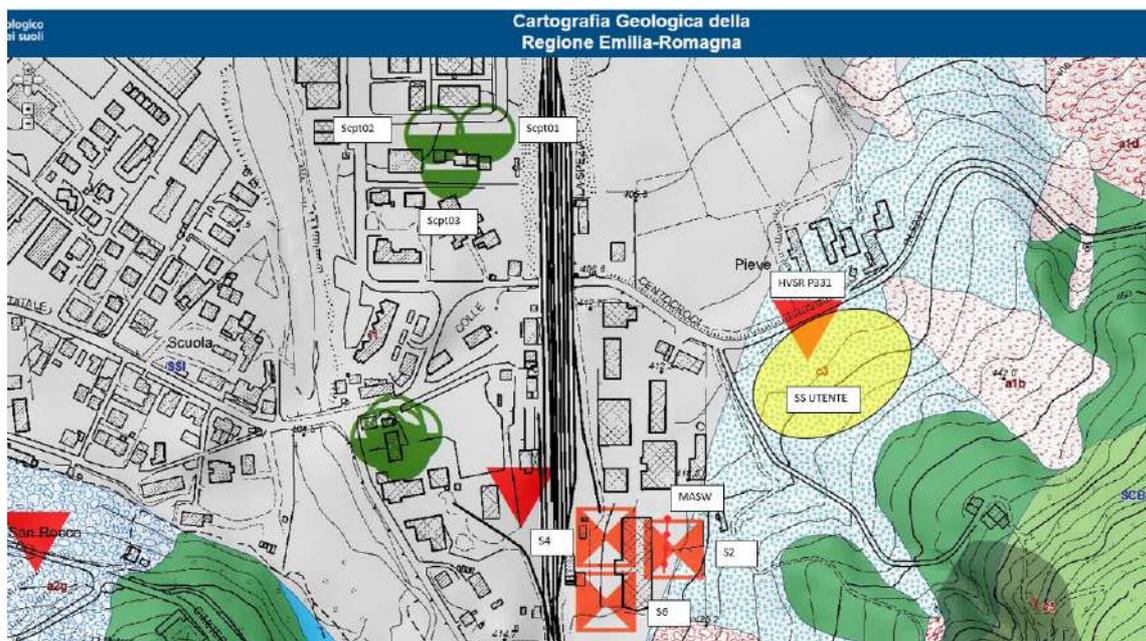


Figura 6.3 - Stralcio da Carta Geologica della Regione Emilia Romagna – dettaglio indagini



La ricerca eseguita ha permesso di reperire numerose informazioni che vengono nel seguito brevemente illustrate:

- nell'area posta ad ovest del sito oggetto di studio, oltre il rilevato ferroviario, sono state reperite n° 3 prove penetrometriche dinamiche tipo DPSH, eseguite per la progettazione di un edificio residenziale in linea; le prove in questione, denominate SCPT01, SCPT02 e SCPT03 (*Figura 6.4, Figura 6.5, Figura 6.6*) hanno raggiunto la profondità dal p.c. rispettivamente di 3,00 m, 2,40 m e 2,40 m;
- nell'area posta a Sud del sito oggetto di studio, poco a monte, sono state reperite n° 3 **terebrazioni** costituite da **sondaggi meccanici a carotaggi continuo**, che hanno permesso di identificare i litotipi presenti nel sottosuolo dell'area; i 3 sondaggi, denominati S2, S4 e S6, hanno raggiunto la profondità dal p.c. rispettivamente di 10 m, 3,65 m e 3,65 m;
- nella medesima area in cui sono stati eseguiti i sondaggi, è stato eseguito uno stendimento sismico superficiale MASW (Multichannel Analysis S Wave);
- **Un'ulteriore indagine HVSR è presente appena ad Est del sito oggetto di studio ed è denominata HVS P331; tale indagine, per la vicinanza al sito, è considerata la più rappresentativa.**

Prove penetrometriche dinamiche tipo DPSH

Le prove penetrometriche dinamiche consistono nell'infiggere nel terreno una punta conica (per tratti consecutivi) misurando il numero di colpi N necessari.

Le prove sono state eseguite con un penetrometro statico tipo Pagani auto ancorante con le seguenti caratteristiche tecnico-strumentali:

<i>Rif. norma</i>	<i>DIN 4094</i>
<i>Peso massa battente</i>	<i>63,5 Kg</i>
<i>Altezza di caduta libera</i>	<i>0,75 m</i>
<i>Peso sistema di battuta</i>	<i>8 Kg</i>
<i>Diametro punta conica</i>	<i>50,46 mm</i>
<i>Area di base punta</i>	<i>20 cm</i>
<i>Lunghezza delle aste</i>	<i>1 m</i>
<i>Peso aste a metro</i>	<i>6,2 Kg/m</i>
<i>Profondità giunzione prima asta</i>	<i>0,80 m</i>
<i>Avanzamento punta</i>	<i>0,20 m</i>
<i>Numero di colpi per punta</i>	<i>20</i>
<i>Coeff. correlazione</i>	<i>1,504</i>
<i>Rivestimento / fanghi</i>	<i>NO</i>
<i>Angolo di apertura punta</i>	<i>90°</i>

L'analisi è stata condotta seguendo una scansione corrispondente alla stratimetria, con lo scopo di ottenere, per ciascun parametro geotecnico, il valore medio (Vm) per ciascun orizzonte litologico individuato, prendendo in considerazione tutti i dati ad esso relativi.

In Figura 6.4, Figura 6.5, Figura 6.6 si riporta lo schema grafico delle prove, il numero dei colpi per ciascun avanzamento e le probabili correlazioni stratigrafiche; nell'**Allegato 01 "Tabulati prove penetrometriche e correlazioni geotecniche"** sono riportati i dati geotecnici calcolati secondo il passo strumentale dello strumento (20 cm); gli stessi parametri, accorpati per unità litotecniche ed opportunamente elaborati, saranno utilizzati per il calcolo dei valori caratteristici come illustrato nel capitolo geotecnico.



Sondaggi meccanici a carotaggio continuo

I sondaggi reperiti sono stati eseguiti nell'anno 2012 dalla ditta “Società Geologica per conto di Terni Energia S.p.A. Si tratta di n° 3 sondaggi meccanici a carotaggio continuo eseguiti con trivella TesCar 2.5° con le seguenti caratteristiche:

- Sondaggio S2, approfondito a 10 m dal p.c., con esecuzione di n° 2 prove penetrometriche dinamiche tipo SPT alle profondità di 2,60 m e 6,50 m dal p.c. (Figura 6.7)
- Sondaggio S4, approfondito a 3,60 m dal p.c., con esecuzione di n° 2 prove penetrometriche dinamiche tipo SPT alle profondità di 2,45 m e 3,60 m dal p.c. (Figura 6.8)
- Sondaggio S6, approfondito a 3,65 m dal p.c., con esecuzione di n° 2 prove penetrometriche dinamiche tipo SPT alle profondità di 1,15 m e 3,65 m dal p.c. (Figura 6.9).



PROVA PENETROMETRICA DINAMICA SCPT01
Strumento utilizzato... DPSH TG 63-200 PAGANI

Committente: Borgotaro Wind srl
Cantiere: POR 55 UTENTE
Località: Borgo Val di Taro

Data: 18/10/2021

Scala 1:

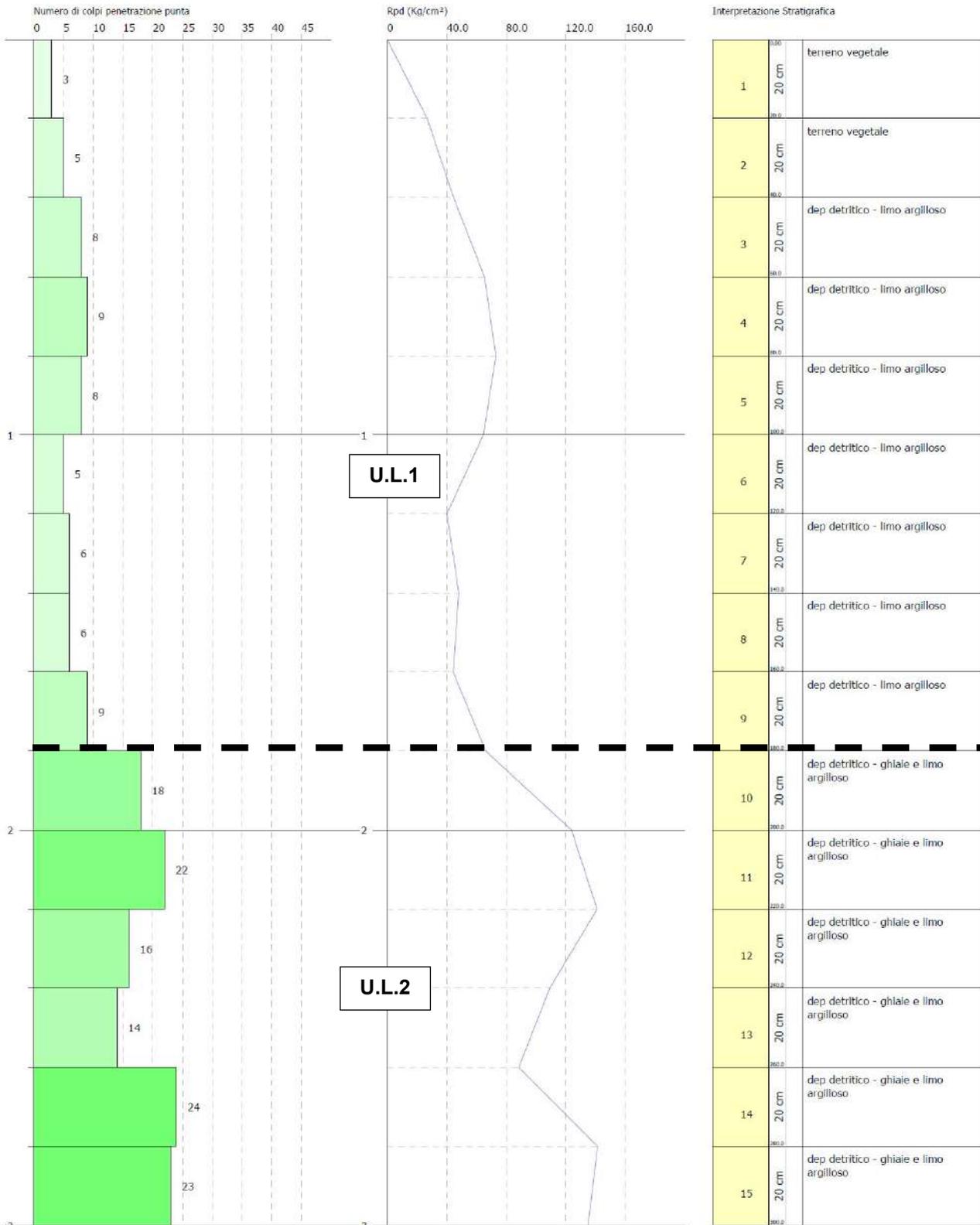


Figura 6.4 – prova penetrometrica dinamica SCPT01



PROVA PENETROMETRICA DINAMICA SCPT02
Strumento utilizzato... DPH TG 63-200 PAGANI

Committente: Borgotaro Wind srl
Cantiere: FOR SS UTENTE
Località: Borgo Val di Taro

Data: 18/10/2021

Scala

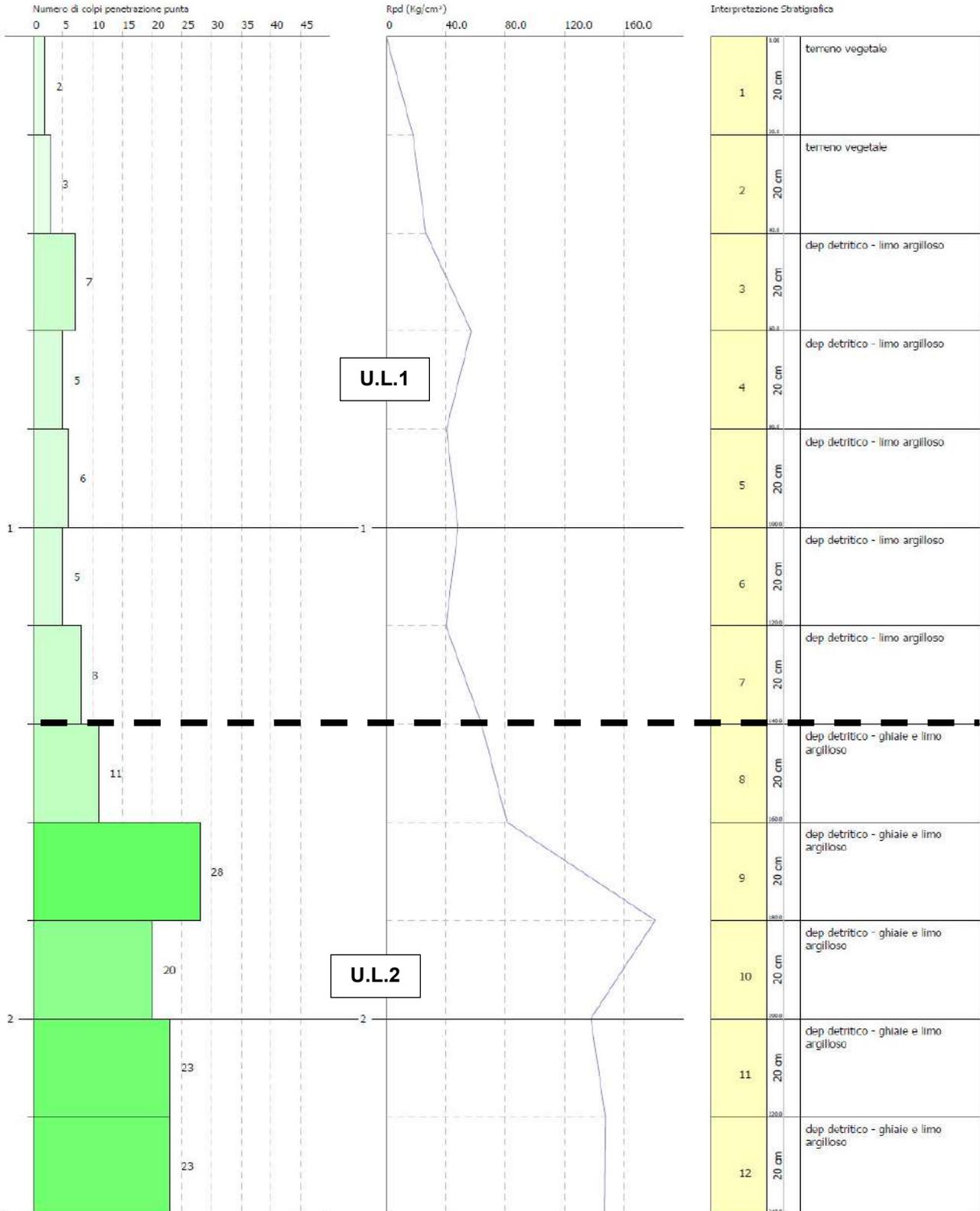


Figura 6.5 - prova penetrometrica dinamica SCPT02



PROVA PENETROMETRICA DINAMICA SCPT03
Strumento utilizzato... DPSH TG 63-200 PAGANI

Committente: Borgotaro Wind srl
Cantiere: POR SS UTENTE
Località: Borgo Val di Taro

Data: 18/10/2021

Scala 1:1

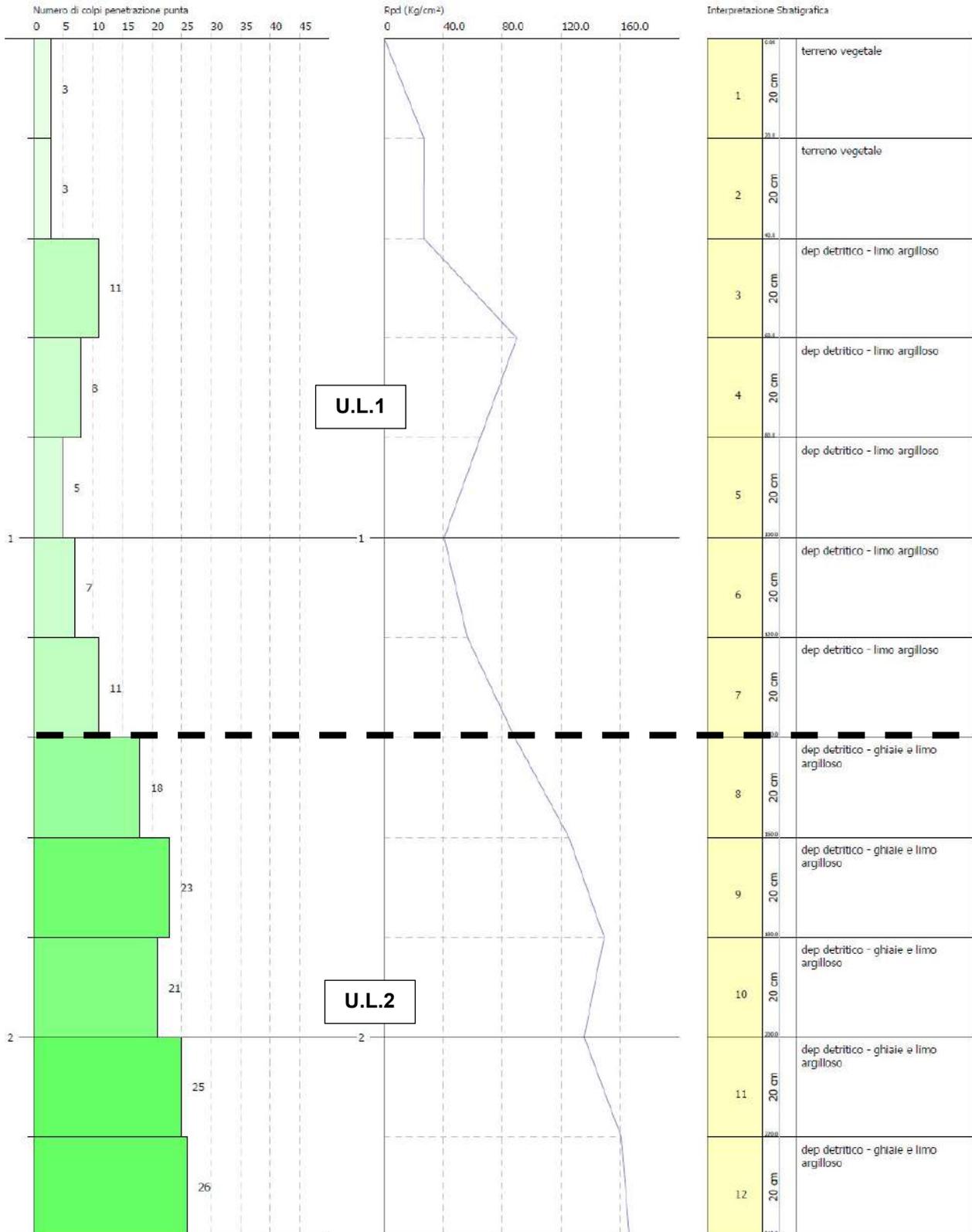


Figura 6.6 - prova penetrometrica dinamica SCPT03

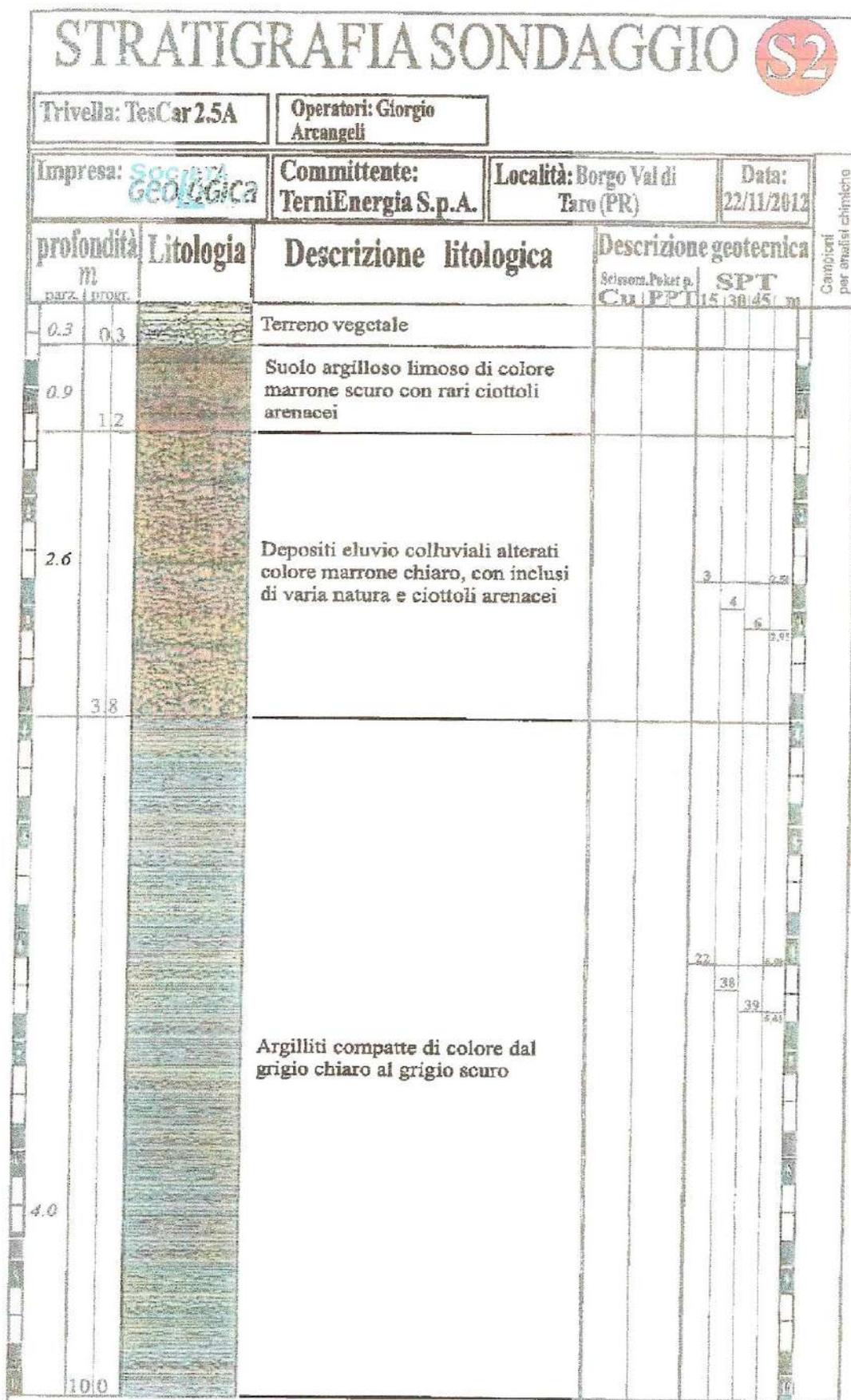


Figura 6.7 – sondaggio S2

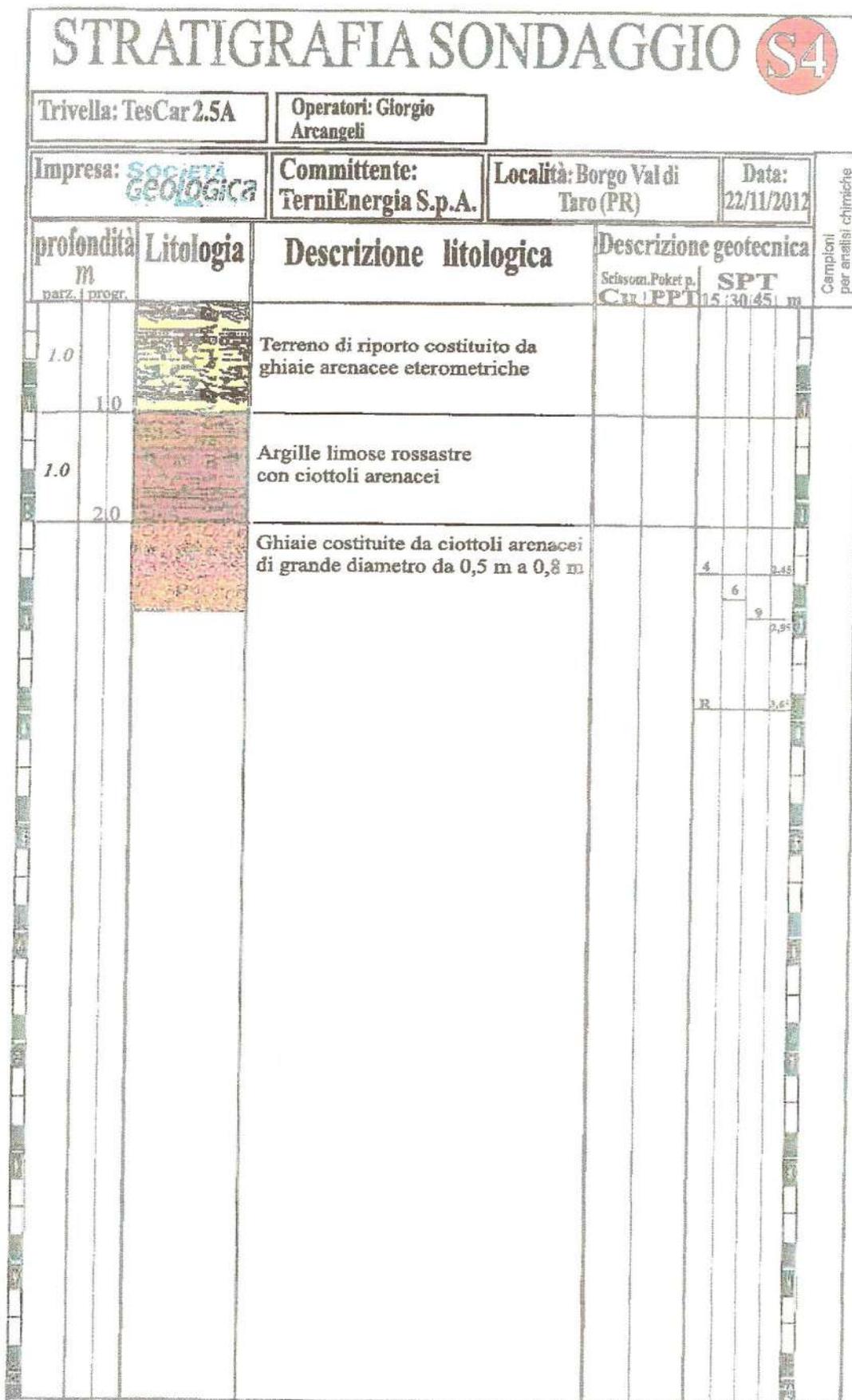


Figura 6.8 – sondaggio S4

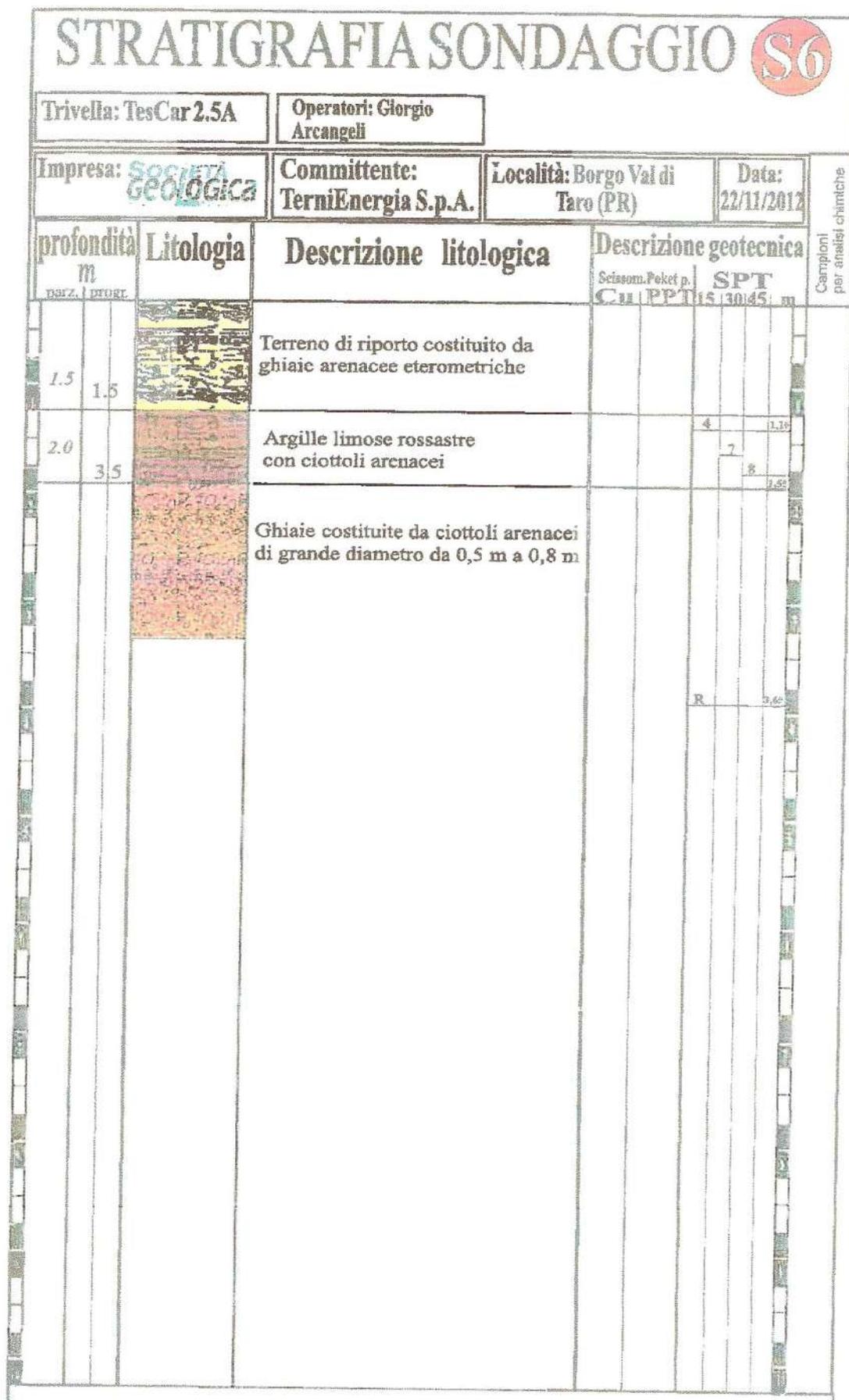


Figura 6.9 – sondaggio S6



6.3 Modello geologico

L'analisi litostratigrafica e geotecnica eseguita sulla base delle informazioni geognostiche disponibili ha permesso di predisporre un modello geologico del sito che sostanzialmente è così descritto:

CARATTERIZZAZIONE LITOSTRATIGRAFICA

L'analisi delle stratigrafie dei sondaggi S2, S4 e S6 e delle indagini geognostiche reperite nelle adiacenze ha evidenziato la presenza di due principali unità geologiche (*Figura 6.10*):

- **Depositi di copertura (UL1):** sono presenti su tutto il versante nella parte più superficiale e sono rappresentati da materiali fini, essenzialmente da **limi argillosi**, di spessore piuttosto esiguo (1-2 m)
- **Depositi di versante costituiti da depositi glaciali e periglaciali (UL2):** sono presente nella parte bassa del versante e sono rappresentati da materiali più grossolani, essenzialmente **ghiaie e limi argillosi**; si approfondiscono fino a circa 18-20 m nella parte basale, per rastremarsi a zero al contatto con le Argilliti di San Siro affioranti nelle porzioni medio-elevate;
- **Formazione delle “Argilliti di San Siro” (UL3):** sono rappresentate localmente da **argilliti compatte di colore variabile da grigio chiaro a grigio scuro** e presenti da profondità dal p.c. di 1-2 m (zone medio-elevate del versante) fino almeno a 20 m nelle porzioni più basse.

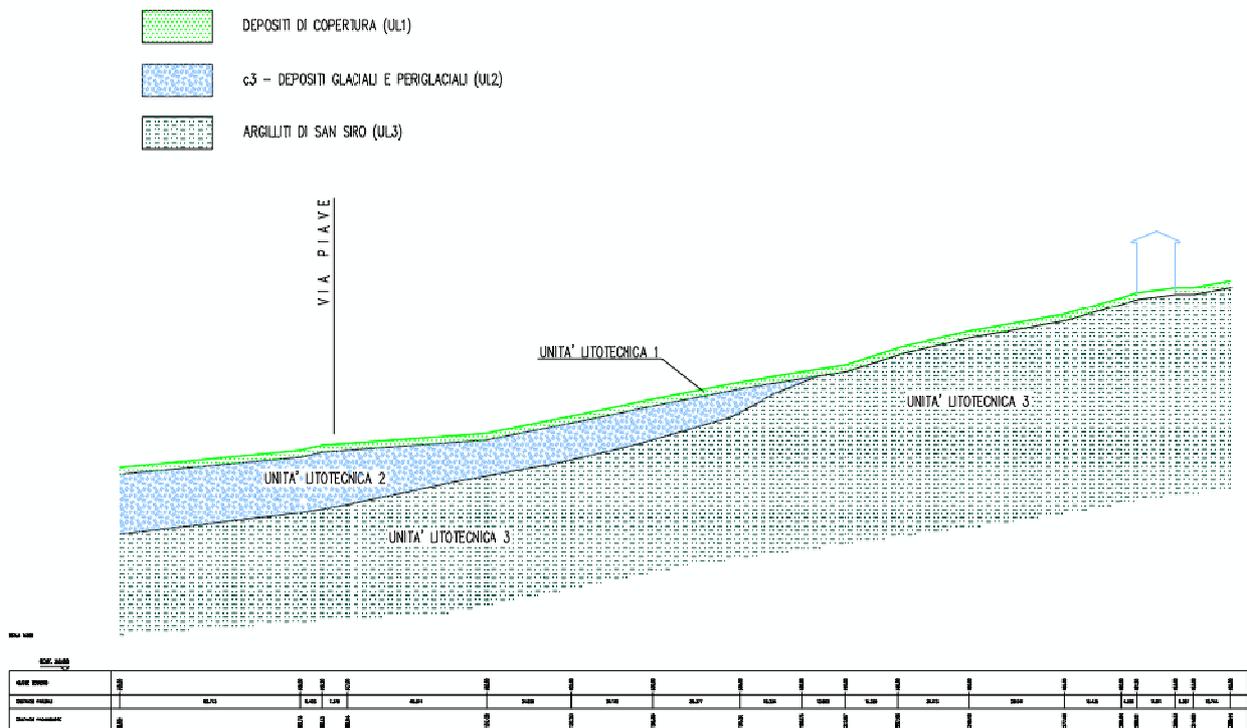


Figura 6.10 – sezione geologico-tecnica area stazione elettrica



CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

Relativamente alla caratterizzazione geotecnica, si è fatto riferimento alle 3 unità litotecniche individuate, che sono descritte e parametrizzate come segue:

- UNITA' LITOTECNICA N° 1: è rappresentata da terreni fini di natura limoso-argillosa ed è presente negli intervalli di profondità compresi dal piano di campagna fino a 1-2 metri m; la resistenza di tale unità è sia di tipo coesivo sia di tipo attritivo;
- UNITA' LITOTECNICA N° 2: è rappresentata da terreni ghiaiosi in matrice limoso-argillosa, presenti nell'intervallo di profondità compreso fra 1-2 m fino a 18-20 m dal p.c.; la resistenza di questo orizzonte è di tipo prettamente attritivo.
- UNITA' LITOTECNICA N° 3: è rappresentata dalle argilliti compatte limoso-argillosa, presenti nell'intervallo di profondità compreso fra 3-4 m e 10 m dal p.c.; la resistenza di questo orizzonte è sia di tipo coesivo sia di tipo attritivo.

L'analisi statistica eseguita per ciascuna UNITA' LITOTECNICA mediante l'elaborazione delle prove penetrometriche dinamiche ha fornito i seguenti risultati (Figura 6.11, Figura 6.12):

UL1: deposito detritico - limo argilloso												
UL1	v		v _{sat}		c _u U,S,D,M,S,M		Dr Skempton 1986	φ' Meyerhof 1956	E _d Buisman		Young (Apollonia)	
	t/m ³	kN/m ³	t/m ³	kN/m ³	kg/cm ²	kPa	%	°	kg/cm ²	kPa	kg/cm ²	kPa
SCPT01	2.02	19.81	2.22	21.77	0.47	46.09	37.05	23.40	119.10	11679.73	119.10	11679.73
	2.04	20.01	2.24	21.97	0.53	51.98	40.02	23.83	134.00	13140.92	134.00	13140.92
	2.02	19.81	2.22	21.77	0.47	46.09	37.05	23.40	119.10	11679.73	119.10	11679.73
	1.88	18.44	1.90	18.63	0.30	29.42	27.05	22.13	93.00	9120.19	74.40	7296.15
	1.93	18.93	2.12	20.79	0.36	35.30	30.58	22.55	111.63	10947.17	89.30	8757.34
	1.93	18.93	2.12	20.79	0.36	35.30	30.58	22.55	111.63	10947.17	89.30	8757.34
	2.04	20.01	2.24	21.97	0.53	51.98	40.02	23.83	134.00	13140.92	134.00	13140.92
SCPT02	1.98	19.42	2.18	21.38	0.42	41.19	33.91	30.92	104.20	10218.53	104.20	10218.53
	1.88	18.44	1.90	18.63	0.30	29.42	27.05	30.08	93.00	9120.19	74.40	7296.15
	1.93	18.93	2.12	20.79	0.36	35.30	30.58	30.50	111.63	10947.17	89.30	8757.34
	1.88	18.44	1.90	18.63	0.30	29.42	27.05	30.08	93.00	9120.19	74.40	7296.15
	2.02	19.81	2.22	21.77	0.47	46.09	37.05	31.33	119.10	11679.73	119.10	11679.73
SCPT03	2.08	20.40	2.29	22.46	0.64	62.76	45.45	24.68	163.80	16063.30	163.80	16063.30
	2.02	19.81	2.22	21.77	0.47	46.09	37.05	23.40	119.10	11679.73	119.10	11679.73
	1.88	18.44	1.90	18.63	0.30	29.42	27.05	22.13	93.00	9120.19	74.40	7296.15
	1.98	19.42	2.18	21.38	0.42	41.19	33.91	22.98	104.20	10218.53	104.20	10218.53
	2.08	20.40	2.29	22.46	0.64	62.76	45.45	24.68	163.80	16063.30	163.80	16063.30
VALORI MEDI	1.98	19.38	2.13	20.92	0.43	42.34	34.52	25.44	116.90	11463.92	108.58	10648.30
VALORI MIN,	1.88	18.44	1.90	18.63	0.24	29.42	17.29	12.74	93.00	9120.19	74.40	7296.15

Figura 6.11 – unità litotecnica n° 1



UL2: deposito detritico - ghiaie e limo argilloso												
UL2	γ		γ _{sat}		c _u U.S.D.M.S.M		Dr Skempton 1986	φ' Meyerhof 1956	E _d Buisman Sanglerat		Young (Apollonia)	
	t/m ³	kN/m ³	t/m ³	kN/m ³	kg/cm ²	kPa	%	°	kg/cm ²	kPa	kg/cm ²	kPa
SCPT01	2.13	20.89	2.28	22.36	1.02	100.03	60.07	27.66	268.00	26281.84	268.00	26281.84
	2.22	21.77	2.46	24.12	1.22	119.64	66.18	29.36	327.60	32126.60	327.60	32126.60
	2.11	20.69	2.19	21.48	0.91	89.24	56.49	26.81	238.20	23359.45	238.20	23359.45
	2.10	20.59	2.11	20.69	0.81	79.43	52.47	25.96	208.50	20446.88	208.50	20446.88
	2.31	22.65	2.50	24.52	1.32	129.45	68.85	30.21	357.40	35048.98	357.40	35048.98
	2.26	22.16	2.50	24.52	1.27	124.54	67.54	29.79	342.50	33587.79	342.50	33587.79
SCPT02	2.08	20.40	2.29	22.46	0.64	62.76	45.45	32.59	163.80	16063.30	163.80	16063.30
	2.50	24.52	2.50	24.52	1.50	147.10	73.71	39.67	416.90	40883.94	416.90	40883.94
	2.16	21.18	2.37	23.24	1.12	109.83	63.28	36.34	297.80	29204.22	297.80	29204.22
	2.26	22.16	2.50	24.52	1.27	124.54	67.54	37.59	342.50	33587.79	342.50	33587.79
	2.26	22.16	2.50	24.52	1.27	124.54	67.54	37.59	342.50	33587.79	342.50	33587.79
SCPT03	2.13	20.89	2.28	22.36	1.02	100.03	60.07	27.66	268.00	26281.84	268.00	26281.84
	2.26	22.16	2.50	24.52	1.27	124.54	67.54	29.79	342.50	33587.79	342.50	33587.79
	2.18	21.38	2.41	23.63	1.17	114.74	64.77	28.93	312.70	30665.41	312.70	30665.41
	2.38	23.34	2.50	24.52	1.36	133.37	70.10	30.63	372.20	36500.37	372.20	36500.37
	2.45	24.03	2.50	24.52	1.41	138.27	71.33	31.06	387.10	37961.56	387.10	37961.56
VALORI MEDI	2.24	21.94	2.40	23.53	1.16	113.88	63.93	31.35	324.60	31832.40	311.76	30573.47
VALORI MIN.	2.10	20.54	2.17	21.28	0.77	75.27	50.72	26.60	210.69	20661.64	197.33	19350.98

Figura 6.12 – unità litotecnica n° 2

I risultati delle prove S.P.T. in foro sono stati elaborati con il software SPTcorr.v.4.1.0.9 della GeoLogismiki; ciascuna prova S.P.T. è stata attribuita alle unità litotecniche sopra identificate e sono stati ricavati i principali parametri geotecnici (Figura 6.13).

	SONDAGGIO S2		SONDAGGIO S4		SONDAGGIO S6	
	SPT1	SPT2	SPT1	SPT2	SPT1	SPT2
Profondità (m)	2.95	6.45	2.95	4.65	1.65	3.65
Nspt	10	77	15	50	15	50
Unità Litotecnica	UL2	UL3	UL2	UL2	UL1	UL2
DR (%)	40.8 Yosida & Ikemi (1988)	74.68 Peck & Bazaraa (1969)	48.76 Yosida & Ikemi (1988)	80.57 Yosida & Ikemi (1988)	56.96 Peck & Bazaraa (1969)	80.57 Yosida & Ikemi (1988)
φ (°)	30.95 Dunham (1954)	44.49 Dunham (1954)	33.42 Dunham (1954)	44.49 Dunham (1954)	28.42 Dunham (1954)	44.49 Dunham (1954)
Es (KPa)	9600 Tan et al (1991)	20800 Tan et al (1991)	12600 Tan et al (1991)	35600 Tan et al (1991)	9600 Tan et al (1991)	35600 Tan et al (1991)
Cu (Kpa)	73.55 (Sowers)	319.64 Terzaghi & Peck (1967)	110.33 (Sowers)	367.75 (Sowers)	95 Terzaghi & Peck (1967)	367.75 (Sowers)

Figura 6.13 – elaborazione prove S.P.T.



In *Tabella 6.1* si riportano i **valori medi dei parametri geotecnici** per le unità litotecniche individuate.

VALORI MEDI												
	γ		γ_{sat}		c_u		D_r	ϕ'	E_d		E	
	t/m ³	kN/m ³	t/m ³	kN/m ³	kg/cm ²	kPa	%	°	kg/cm ²	kPa	kg/cm ²	kPa
UL1*	1.98	19.38	2.13	20.92	0.43	42.34	34.52	25.44	116.90	11463.92	108.58	10648.30
UL2*	2.24	21.94	2.40	23.53			63.93	31.35	324.60	31832.40	311.76	30573.47
UL3*		22.00		21.00		319.64	74.68	44.49				20800.00
*	da prove DPSH											
**	da prove SPT e biblio											

Tabella 6.1 Parametri geotecnici medi

6.4 Geomorfologia e stabilità dei versanti

Il versante vallivo in cui è prevista la costruzione della sottostazione utente del parco eolico è ubicato in via Piave, nella zona ad Est della stazione ferroviaria e del Centro Edile ivi presente, in particolare, il sito si sviluppa nel versante posto a monte della strada, nell'intervallo altimetrico compreso all'incirca tra le isoipse 420 e 435 m slm; l'esposizione è rivolta verso Nord – Nord/Ovest.

Si tratta di un pendio piuttosto regolare, senza particolari anomalie morfologiche, che degrada con pendenze progressivamente meno elevate da monte verso valle, sviluppato nei **depositi glaciali e periglaciali** che localmente dovrebbero presentare spessori superiori ai 10 m. Nelle parti più elevate del versante, esternamente all'area di intervento, è presente il contatto fra i depositi glaciali/periglaciali e la formazione delle **Argilliti di San Siro**, che affiora estesamente verso monte.

Nel presente studio, per la definizione dei movimenti gravitativi che interessano l'area in esame, oltre ai sopralluoghi e alle riprese fotografiche aeree (Figura 6.14, Figura 6.15), si è fatto riferimento a due principali cartografie:

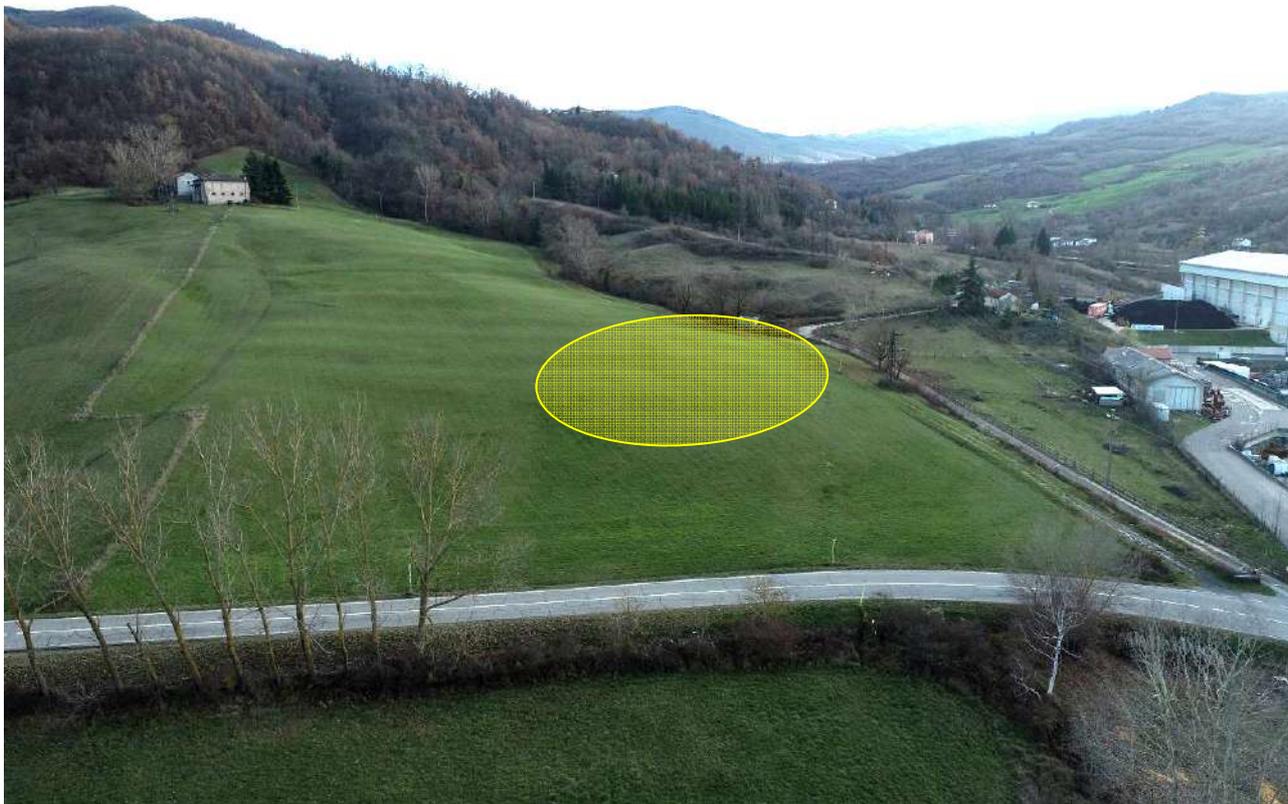


Figura 6.14 – vista frontale (ripresa da Nord) del versante della futura sottostazione utente



Figura 6.15 – vista laterale (ripresa da Est) del versante della futura sottostazione utente



1 - PTCP Parma – Tavola C2 Carta del dissesto sezione n° 216100 – variante specifica di aggiornamento 2013-2014 in scala 1:10.000;

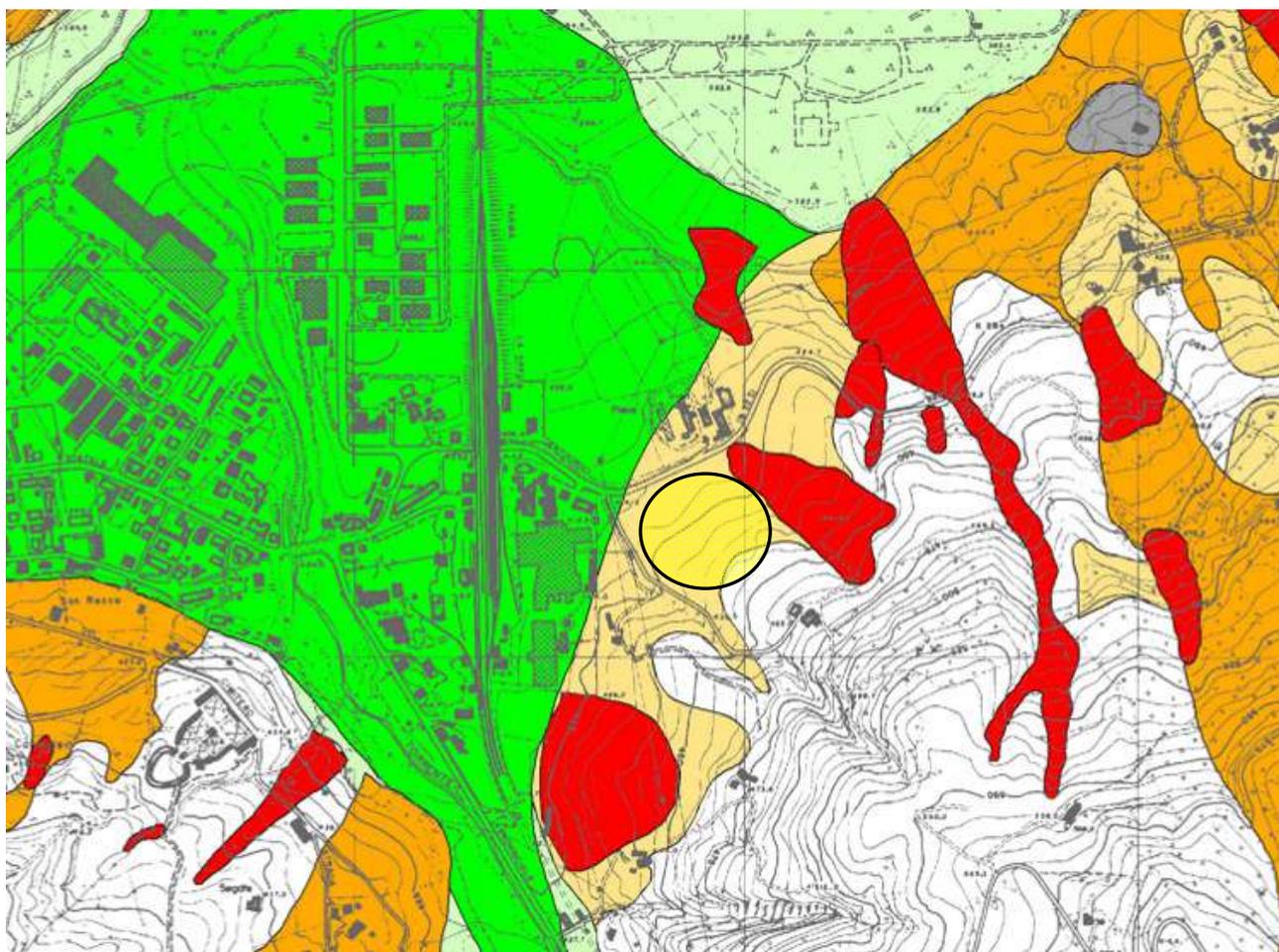
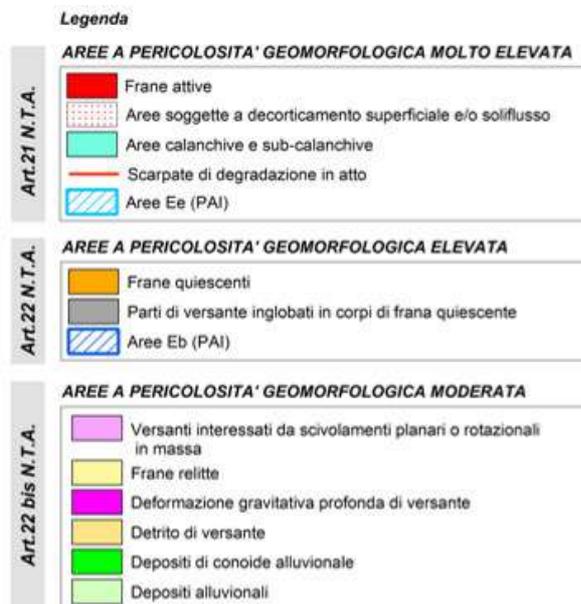


Figura 6.16 – Carta del dissesto – sez. 216100 (PTCP Parma)

Come si può osservare dalla cartografia riportata l'area oggetto di intervento ricade in un settore del pendio cartografato come **DETRITO DI VERSANTE**, classificato dal P.T.C.P. di Parma come



AREE A PERICOLOSITA' GEOMORFOLOGICA MODERATA, normata dall'art. 22bis delle N.T.A. (Figura 6.16). In particolare, tale norma ai commi 2, 3 e 4 cita testualmente:

“2 - In relazione alla loro moderata pericolosità geomorfologica, **in tali aree sono ammessi**, oltre agli interventi di cui al comma 2 del precedente articolo 22, **interventi di completamento e di espansione, nonché nuove edificazioni ed opere pubbliche**, purché riguardanti zone già interessate da insediamenti urbani stabili e da infrastrutture extraurbane e ne sia dettagliatamente e specificatamente motivata la necessità.”

“3 - **Gli interventi ammissibili devono in ogni caso essere soggetti ad una verifica di compatibilità idrogeologica in relazione alle condizioni di dissesto esistenti o potenziali**; tale verifica tecnica è da svolgersi nell'ambito di formazione del PSC. La verifica di compatibilità di cui sopra dovrà comunque contenere e sviluppare, in rapporto alle problematiche presenti:

- la raccolta e analisi di dati storici, inerenti eventuali fenomeni di dissesto progressi;
- la verifica geomorfologica della tendenza evolutiva dei corsi d'acqua presenti;
- la valutazione idrogeologica dell'andamento della circolazione idrica superficiale e sotterranea.”

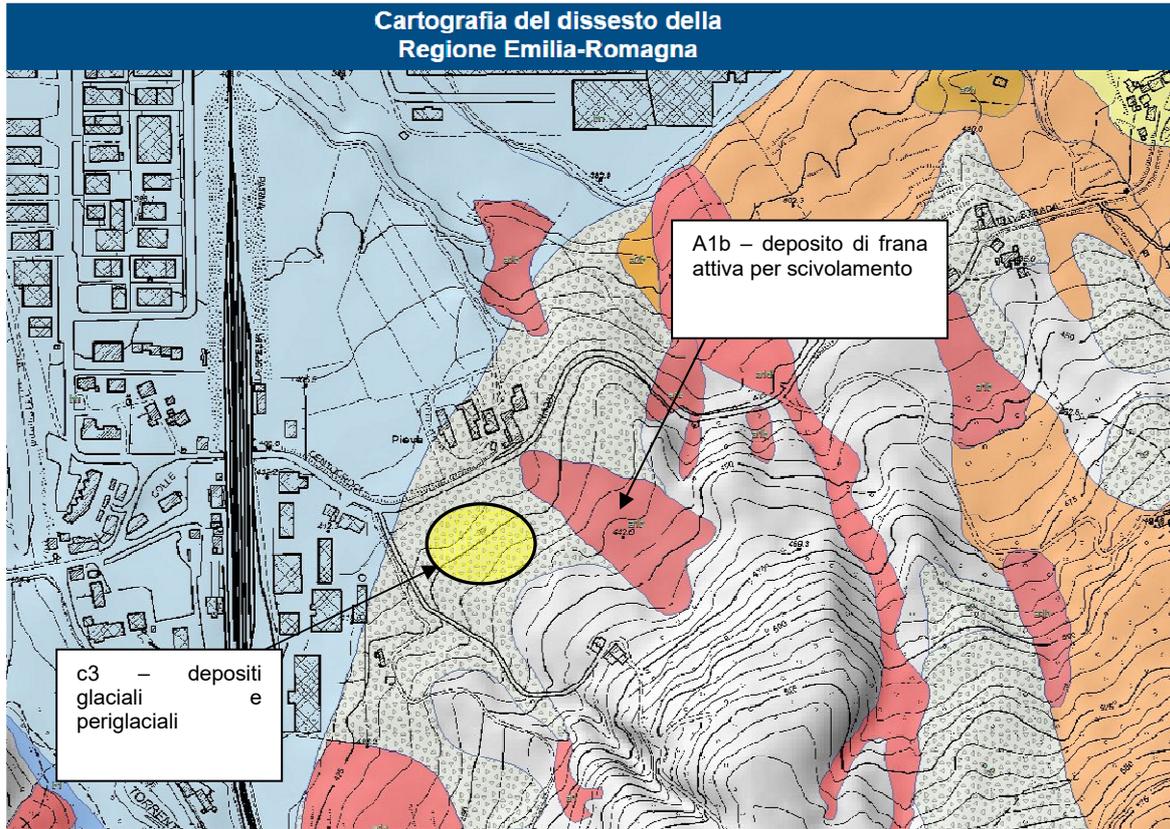
4 - Le medesime disposizioni di cui ai commi 2 e 3 si applicano ai **Detriti di versante**, ai Depositi alluvionali e ai Conoidi di deiezione individuati nella tavola C2 - Carta del dissesto in scala 1:10.000, purché tali zonizzazioni non interessino aree e/o zone diversamente delimitate e disciplinate dal presente Piano: in tal caso, valgono comunque le prescrizioni maggiormente limitative delle trasformazioni e delle utilizzazioni”

Come si può osservare, le norme del P.T.C.P. consentono l'edificazione per gli scopi previsti, salvo verifica della compatibilità del sito in relazione alle condizioni idrogeologiche e di stabilità del versante.

2 - Geoportale Regione Emilia Romagna – Cartografia del dissesto –
https://geo.regione.emilia-romagna.it/cartografia_sgss/user/viewer.jsp?service=dissesto

Anche la cartografia regionale conferma tale situazione, specificando che il detrito è rappresentato da **DEPOSITI GLACIALI E PERIGLACIALI**, costituiti da materiali sciolti a struttura caotica, con clasti eterometrici inglobati in matrice limoso sabbiosa o limosa argillosa (Figura 6.17).

Ad Est – Nord-Est del sito oggetto di intervento è presente un'area caratterizzata da frana attiva che, secondo la cartografia della Regione Emilia Romagna è classificabile come **frana da scivolamento** con movimento della massa di terreno verso valle lungo una superficie di taglio ben definita. Tale dissesto è classificato tra le **AREE A PERICOLOSITA' GEOMORFOLOGICA MOLTO ELEVATA** regolate dall'art. 21 delle N.T.A. del P.T.C.P. di Parma, entro le quali è vietata la realizzazione di nuovi interventi. A tal proposito, la progettazione della sottostazione elettrica dovrà prendere in considerazione tale situazione e studiare opportuni interventi che garantiscano la sicurezza degli operatori del cantiere e, possibilmente, che possano apportare miglioramenti alle condizioni statiche del versante in tale zona.



Altri depositi di versante	DATA_AGGIORNAMENTO	Poligono non aggiornato rispetto al rilievo originale
c3 - Deposito glaciale e periglaciale	ID_IFFI	
	LIVELLO_IFFI	
	SIGLA	c3
	LEGENDA	c3 - Deposito glaciale e periglaciale
descrizione tipologica		Accumulo detritico deposto per azione prevalente glaciale, caratterizzato da detrito sciolto a struttura caotica con clasti eterometrici inglobati in matrice limoso-sabbiosa o limo-argillosa e con stratificazione mal visibile. Localmente frequenti i massi erratici. Questo tipo di deposito è localizzato nelle aree più alte dell'Appennino. La distinzione da frane vere e proprie è a volte problematica, in quanto i depositi originati da azione glaciale e periglaciale possono essere stati rimobilizzati successivamente per azione della gravità.



Frane attive	DATA_AGGIORNAMENTO	Poligono non aggiornato rispetto al rilievo originale
a1b - Deposito di frana attiva per scivolamento	ID_IFFI	342962800
	LIVELLO_IFFI	1
	SIGLA	a1b
	LEGENDA	a1b - Deposito di frana attiva per scivolamento
	descrizione tipologica	Deposito originato dal movimento verso la base del versante di una massa di terra o roccia, che avviene in gran parte lungo una superficie di rottura ben definita o entro una fascia, relativamente sottile, di intensa deformazione di taglio. Non vengono distinti tra loro gli scivolamenti traslativi o rotazionali.
	descrizione stato di attivita	Deposito che ha manifestato evidenze di movimenti in atto nell'ultimo ciclo stagionale, indipendentemente dalla entità e dalla velocità degli stessi. Vengono incluse in questa categoria anche frane che, pur non presentando sicure evidenze di movimento nell'ultimo ciclo stagionale, denotano comunque una recente attività segnalata da indizi evidenti (lesioni a manufatti, assente o scarsa vegetazione, terreno smosso) all'occhio del tecnico rilevatore. Sono altresì incluse anche frane con movimento rilevabile solo attraverso monitoraggi (inclinometri, estensimetri, dati interferometrici), qualora esistenti.

LEGENDA

Depositi di frana

	a1 - Deposito di frana attiva di tipo indeterminato
	a1b - Deposito di frana attiva per scivolamento
	a1d - Deposito di frana attiva per colamento di fango
	a1g - Deposito di frana attiva complessa
	Aree di possibile evoluzione delle frane attive (tipo di operazione 5.1.01-PSR)
	a2 - Deposito di frana quiescente di tipo indeterminato
	a2b - Deposito di frana quiescente per scivolamento
	a2d - Deposito di frana quiescente per colamento di fango
	a2g - Deposito di frana quiescente complessa
	a2h - Deposito di frana quiescente per scivolamento in blocco o DGPV



Tipologia di frana

I depositi sono stati distinti in: **crolli e/o ribaltamenti**, **scivolamenti**, **colamenti**, **scivolamenti in blocco** o **DGPV** ed **espansioni laterali**. Dove non specificato, il movimento è di tipo indeterminato. La maggior parte dei depositi di frana del territorio appenninico è comunque di tipo **complesso** ed è il risultato di più tipi di movimento sovrapposti nello spazio e nel tempo.

Per deposito di frana per **crollo e/o ribaltamento (a1a)** si intende un deposito originato da distacco di rocce litoidi da un pendio acclive e messo in posto con processi di caduta libera, rimbalzo e rotolamento di ciottoli e massi. L'accumulo detritico è costituito da materiale eterogeneo con frammenti litoidi di dimensioni variabili tra qualche cm³ e decine di m³. È caratteristica la riattivazione improvvisa e la estrema velocità del movimento. Tali depositi sono da considerarsi attivi in quanto potenzialmente e improvvisamente soggetti all'arrivo di nuovi accumuli distaccati dai pendii sovrastanti.

Per deposito di frana per **scivolamento (a1b, a2b)** si intende un deposito messo in posto dal movimento lungo il versante di una massa di terra o roccia, caratterizzato alla base del deposito da una superficie di rottura ben definita o da una fascia di intensa deformazione di taglio relativamente sottile. Non vengono distinti tra loro gli scivolamenti traslativi o rotazionali.

Per deposito di frana per **colamento** si intende un deposito messo in posto dal movimento più o meno rapido di materiale che avanza lungo il versante come un fluido viscoso a causa dell'abbondante contenuto in acqua. I materiali coinvolti possono essere in prevalenza coesivi (**colamento di fango, a1d, a2d**) o granulari (**colamento detritico, a1e, a2e**).

Gli **Scivolamenti in blocco** sono depositi costituiti da masse di dimensioni più o meno rilevanti di roccia che, scivolano lungo una o più superfici di scorrimento, conservano al loro interno la coerenza stratigrafica della roccia di provenienza. Sono in grande prevalenza in stato di attività quiescente o soggette a movimenti estremamente lenti. Le **Deformazioni gravitative profonde di versante** (o **DGPV**) sono deformazioni che coinvolgono interi versanti senza che sia presente in profondità una superficie di rottura pienamente definita. Anch'esse presentano caratteristiche di movimento estremamente lento. Le due tipologie, essendo spesso di difficile distinzione, sono state perlopiù rappresentate insieme con la sigla **a2h**.

Per **Deposito di frana complessa (a1g, a2g)** si intende infine un deposito messo in posto in seguito alla combinazione nello spazio e nel tempo di due o più tipi di movimento illustrati in precedenza.

Ai fini del bando regionale 2018 del Programma di sviluppo rurale (PSR 2014 – 2020) tipo di operazione 5.1.01 "Investimenti in azioni di prevenzione volte a ridurre le conseguenze delle calamità naturali, avversità climatiche – Prevenzione fenomeni franosi" nella carta sono state delimitate anche le "aree di possibile evoluzione delle frane attive", che consistono in fasce di larghezza di 30 metri attorno alle frane attive.

Figura 6.17 – Estratto da “Cartografia del dissesto della Regione Emilia-Romagna” – https://geo.regione.emilia-romagna.it/cartografia_sgss/user/viewer.jsp?service=dissesto

6.5 Aspetti idrogeologici locali

L'assetto idrogeologico del versante in esame risulta strettamente connesso alle litologie presenti ed ai mutui rapporti stratigrafici e si presenta quanto mai variabile da luogo a luogo, in relazione alle complicazioni geologiche e strutturali delle formazioni precedentemente descritte.

Il quadro conoscitivo ed il modello per l'identificazione delle acque sotterranee si basano sostanzialmente su due elementi:

- *Indagini puntuali ed approfondite per la determinazione del livello piezometrico di falda e delle pressioni interstiziali;*
- *Analisi di dati geologici ed idrogeologici;*

In particolare per quest'ultimo punto si fa riferimento all'identificazione delle cosiddette “rocce magazzino”. Esse raggruppano i complessi idrogeologici maggiormente permeabili costituiti prevalentemente da formazioni litoidi e/o accumuli detritici eventualmente interconnessi e che risultano perciò caratterizzati da movimenti idrici più significativi. A livello regionale questi depositi costituiscono una frazione importante delle “Zone di Protezione”, prescritte dal Piano di Tutela delle Acque. Secondo il paragrafo 1.3.4.3 del P.T.A. le “Zone di Protezione” sono quei territori in cui la risorsa si origina o in cui è presente in superficie o nel sottosuolo in buona quantità e qualità.

Per l'ambito collinare-montano, secondo la definizione contenuta nel comma 9, art. 21 del D.lgs. 152/999 le “Zone di Protezione” si identificano come:

- Aree di ricarica della falda, caratterizzate da significativi movimenti idrici verticali, localizzate a partire dall'identificazione dei complessi idrologici e deposizionali permeabili;
- “Zone di riserva”, ricomprese nelle aree di ricarica e costituite da sorgenti sfruttabili per il consumo umano;
- “Emergenze naturali e artificiali della falda”.

Per le zone di protezione atte allo sfruttamento della risorsa per fini antropici, si impone il mantenimento della qualità della risorsa stessa e della capacità di ricostituzione tramite azioni di tutela e salvaguardia, in modo da evitare l'instaurarsi di condizioni idrauliche, idrologiche o chimiche di tipo irreversibile.



L'area di intervento ricade esternamente alle aree interessate da rocce magazzino (Figura 6.18, Figura 6.19) ed in particolare alle cosiddette “Zone di protezione”.

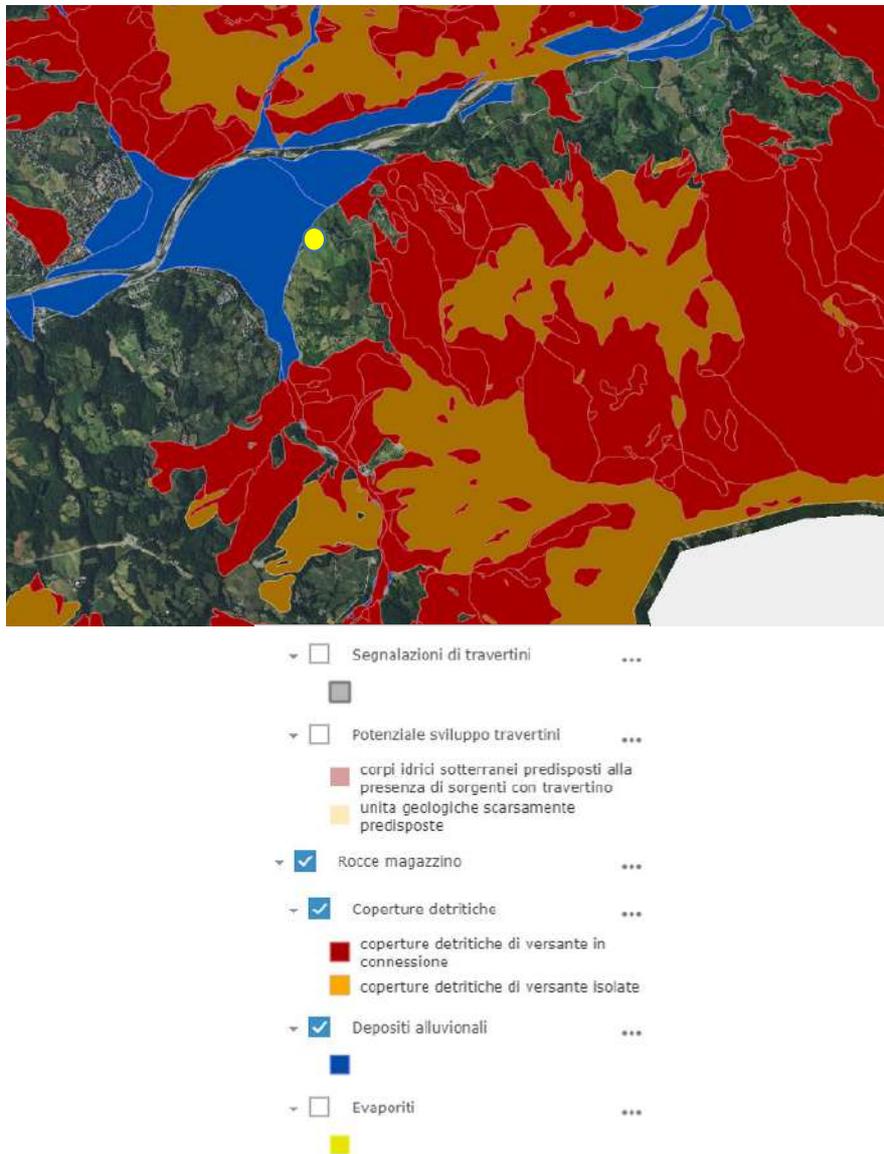


Figura 6.18 – Carta delle sorgenti e delle unità geologiche sede di acquiferi (da Geoportale RER https://servizimoka.regione.emilia-romagna.it/mokaApp/apps/rocce_magazzino/index.html)



Figura 6.19 – Rocce magazzino in vicinanza al sito di realizzazione della sottostazione

Come descritto precedentemente l'area di intervento è costituita da una copertura detritica sovrastante la formazione delle “Argilliti di San Siro”. Tale copertura è caratterizzata da permeabilità estremamente disomogenea, per il quale non si determinano generalmente condizioni favorevoli all'instaurarsi di una rete di deflusso idrico sotterraneo ed alla formazione di una falda acquifera quanto detta, ma bensì alla formazione temporanea di falde stagionali in funzione della piovosità locale.

Il sito di riferimento ricade inoltre esternamente ad i corpi idrici sotterranei predisposti alla presenza di sorgenti di travertino, caratterizzati dalla deposizione chimica di carbonato di calcio (Limestone Precipitating Springs, LPS). Queste sorgenti rientrano tra gli habitat prioritari di cui all'Allegato 1 della direttiva 92/43/CE e definiti come “Tipi di Habitat naturali di interesse comunitario la cui conservazione richiede la designazione di aree speciali di conservazione”.



7. INDICATORE AMBIENTALE VOLUMI DI SCAVO

In relazione alla richiesta di ARPAE (punto F20 della nota prot. 203102/2022 trasmessa in data 12/12/2022) di elaborare un indicatore per la stima degli impatti al suolo a seguito delle lavorazioni della fase di cantiere, sono stati analizzati i dati relativi al Parco Eolico in località Passo Cento Croci, Macchia Peraglia, Monte Scassella (Comune di Albareto e Tornolo), progettato, costruito e gestito dalla società FRI-EL ALBARETO srl appartenente, così come la proponente del presente progetto, al medesimo gruppo industriale.

Il Parco eolico realizzato nei Comuni di Albareto e Tornolo consta di n. 6 aerogeneratori Vestas V117 da 3,3 MW cadauno, per una potenza complessiva pari a 19,8 MW.

Sono stati analizzati i dati relativi alle contabilità di cantiere (as built), da cui sono stati estrapolati i seguenti valori:

- Volume di scavo di materiale vegetale (scotico): 7.142 m³
- Volume di scavo di materiali dei depositi di copertura e di substrato: 59.291 m³

Per un **volume complessivo di scavo pari a 67.273 m³**.

Il parco eolico in corso di autorizzazione consta di n° 7 aerogeneratori della potenza massima di 6,1 MW ove i singoli aerogeneratori saranno limitati a 4,2, 4,3 o 4,5 MW al fine di rispettare il vincolo della potenza massima di impianto di 30 MW.

Facendo riferimento all'elaborato PA-R.13 (Piano di utilizzo Terre e Rocce da scavo – DPR 120/2017), che riporta le tabelle previsionali degli scavi previsti per la realizzazione del parco eolico (fase di progettazione definitiva, con stima necessariamente cautelativa), è stato estrapolato il **dato complessivo di volume scavato, pari a circa 125.870 m³** (Figura 7.1, prima colonna).

RIEPILOGO GENERALE FASI DI CANTIERE ED ESERCIZIO						
	VOLUME SCAVATO [mc]	VOLUME RIUTILIZZ. [mc]	INERTE DA CAVA ESTERNA [mc]	INERTE DA RIUTILIZZO [mc]	RESIDUO DA RIUTILIZZO QUALE SOTTOPRODOTTO [mc]	RESIDUO A RIFIUTO [mc]
PIAZZOLE-VIABILITA' PARCO E AREA LOGISTICA DI CANTIERE	102.207	77.017	8.625	22.000	2.804	386
AREA DI TRASBORDO	0	3017	3017	3017	-	-
CAVIDOTTO MT E AT	9.090	7.438	1.652	-	1.402	250
STAZIONE UTENTE	8.306	647	908	-	8.567	-
INTERVENTI DI ADEGUAMENTO VIABILITA'	6.245	73	2.340	-	5.308	864
TOTALE	125.870	88.192	16.542	25.017	18.081	1.500

Figura 7.1 – tabella bilancio complessivo dei movimenti terra (da elaborato PA-R.13)

Sulla base dei dati numerici sopra illustrati è stato impostato il calcolo richiesto da ARPAE con riferimento al MW.

Nella tabella di Figura 7.2 si riporta il parallelo fra i dati dei due impianti e il calcolo dell'indicatore richiesto in termini di volumi di scavo, espressi in metri cubi, riferiti al singolo MW di potenza.



Come si può osservare il dato dell'indicatore riferito all'impianto di FRI-EL ALBARETO è pari a 3.398 m³/MW, mentre lo stesso parametro riferito all'impianto di BORGOTARO WIND è pari a 4.196 m³/MW.

Impianto	volumi di scavo terre e rocce (mc)	Potenza complessiva dell'impianto (MW)	Incidenza volumi di scavo terre e rocce (mc/MW)
FRI-EL ALBARETO Passo Cento Croci, Macchia Peraglia Monte Scassella	67273	19.8	3398
BORGOTARO WIND Monte Croce di Ferro	125870	30	4196

Figura 7.2 – tabella di confronto

Se ne deduce che l'indicatore ricavato per l'impianto in progetto (BORGOTARO WIND) è superiore di circa il 24% rispetto a quello ottenuto per l'impianto di FRI-EL ALBARETO.

Si riportano nel seguito alcune considerazioni sulla natura dei dati portati a confronto per una miglior lettura ed interpretazione del risultato ottenuto:

- i volumi di scavo relativi all'impianto di FRI-EL ALBARETO sono relativi alla fase costruttiva dove le operazioni di scavo sono state ottimizzate anche a seguito di variazioni autorizzate in corso d'opera;
- i volumi di scavo relativi all'impianto di BORGOTARO WIND sono relativi ad una fase progettuale iniziale (progettazione definitiva) e risentono sia della mancanza di rilievi di dettaglio sia delle stime di carattere cautelativo che tale fase progettuale impone;
- i due impianti presentano caratteristiche differenti:
 - l'impianto di FRI-EL ALBARETO è stato realizzato con n.6 aerogeneratori di potenza massima 3,3 MW cadauno;
 - l'impianto di BORGOTARO WIND sarà realizzato con n.7 aerogeneratori che, pur limitati nella potenza per non superare la potenza complessiva di impianto di 30 MW, escono dalla fabbrica dimensionati per poter raggiungere potenze superiori;
- le caratteristiche illustrate al punto precedente si riflettono sulla necessità di predisporre, per l'impianto di BORGOTARO WIND, opere ed interventi di cantiere di maggiori dimensioni, che comportano pertanto maggiori escavazioni (piazzole di cantiere, opere di fondazione, ecc).



8. CONCLUSIONI

A seguito di incarico conferito **BORGOTARO WIND srl con sede in Bolzano, Piazza del Grano 3**, per la redazione dello studio geologico inerente la progettazione definitiva di un parco eolico in località “Monte Croce di Ferro” nel Comune di Borgo Val di Taro (PR), si è proceduto all’analisi degli aspetti geologico-strutturali, geomorfologici, idrogeologici e sismici della zona secondo quanto previsto dalla Vigente Normativa in materia, allo scopo di addivenire allo sviluppo di un modello geologico sufficientemente dettagliato, per la valutazione delle problematiche ivi presenti e la loro influenza sulla fattibilità dell’intervento.

Gli studi e le indagini eseguite hanno permesso di formulare un quadro conoscitivo dell’area di studio piuttosto dettagliato nonostante la estensione; le problematiche ivi presenti sono quelle che comunemente caratterizzano gran parte dell’Appennino Settentrionale e quello Parmense in particolare:

- *contesto tettonico-strutturale articolato e caratterizzato da unità spesso interessate da grosse deformazioni e piegamenti che hanno fortemente modificato gli assetti originari;*
- *unità litologiche contraddistinte da terreni di copertura quali detriti di versante e coperture di origine glaciale e periglaciale e da formazioni di substrato quasi mai visibili in affioramento superficiale;*
- *assetto giaciturale potenzialmente sfavorevoli alla stabilità dei versanti anche se la diffusione dei dissesti gravitativi non è molto estesa, ad eccezione di quelli che sono connessi alle vicende tettoniche e che hanno interessato grandi porzioni di versante ma che, ad oggi, risultano per lo più stabilizzati tant’è che sono censiti tra i vincoli derogabili.*

Gli studi eseguiti hanno permesso di raggiungere un buon livello di caratterizzazione per l’attuale fase di progettazione; si è ritenuto corretto analizzare il contesto geologico con un approfondimento medio-elevato poichè si è ritenuto che la conoscenza dello stesso fosse elemento imprescindibile, già in questa fase, per meglio comprendere le problematiche connesse all’intervento e di conseguenza la sua fattibilità.

Sono state reperite numerose informazioni bibliografiche delle formazioni ivi presenti, comprese indagini in campo e di laboratorio; inoltre è stata pianificata una campagna di indagini per la caratterizzazione dei siti dei 7 aerogeneratori mediante l’esecuzione di prove penetrometriche dinamiche pesanti e stendimenti sismici con restituzione tomografica dell’andamento delle onde P e S.

L’aspetto più importante scaturito dallo studio è quello ha condizionato la scelta finale dei siti degli aerogeneratori: l’approfondimento delle conoscenze relative al dissesto idrogeologico e della normativa ad esso connessa (PAI e PTCP), eseguito mediante ripetuti sopralluoghi alle aree, ha consentito di **ubicare tutti i siti degli aerogeneratori al di fuori delle aree instabili a vincolo assoluto (frane attive e frane quiescenti)**; solo i siti degli aerogeneratori BT01 e BT06 ricadono nelle aree contraddistinte dalla presenza di detrito di versante e di DGVP, zone comunque a vincolo derogabile. L’area di cantiere lambisce, senza interessarla direttamente, una piccola frana attiva che sarà comunque interessata di interventi di regimazione idrogeologica connessi all’area di cantiere stessa.

Per quanto riguarda le problematiche connesse alle opere di fondazione, le evidenze geologiche e geomeccaniche impongono l’adozione di una soluzione tipologica profonda con pali, che garantisca l’ancoraggio in porzioni di terreno con migliori caratteristiche di resistenza rispetto a quelli superficiali; tali opere andranno adeguatamente dimensionate nella fase esecutiva a seguito del completamento della campagna di indagini geognostiche previste.

Per quanto concerne le fasce di rispetto dei corsi idrici superficiali le interferenze fra le opere di progetto e le aree vincolate riguardano il Rio delle Bratte relativamente ad una modifica della



viabilità (allargamento di tornante); si tratta comunque di interferenza che non incide sulla salvaguardia e tutela delle acque pubbliche.

Si è proceduto alla elaborazione di un indicatore per la stima degli impatti al suolo a seguito delle lavorazioni della fase di cantiere; è stato preso a riferimento un parco eolico simile (i.e. Parco Eolico di Passo Cento Croci, Macchia Peraglia, Monte Scassella, progettato, costruito e gestito dalla società FRI-EL ALBARETO srl appartenente, così come la proponente del presente progetto, al medesimo gruppo industriale.

Sono stati conteggiati i volumi di scavo contabilizzati nel parco costruito e i volumi di scavo previsti nel presente progetto e raffrontati alla potenza globale dei due impianti; ne è scaturito un indicatore espresso in m^3/MW che è così rappresentato:

- Parco eolico Passo Cento Croci, Macchia Peraglia, Monte Scassella: $3.398 m^3/MW$
- Parco eolico Monte Croce di Ferro: $4.196 m^3/MW$

La differenza percentuale tra gli indicatori ricavati per i due siti è valutabile all'incirca nel 24%, valore determinato da fattori progettuali ed anche ambientali (dati provenienti da fasi progettuali differenti, aerogeneratori in numero e di dimensioni differenti che impongono opere ed interventi differenti, contesto orografico).

A conclusione dello studio si ritiene che le criticità di carattere geologico presenti nell'area di progetto non incidano negativamente sulla fattibilità dell'intervento, fatta salva l'ottimizzazione del progetto mediante l'identificazione e realizzazione di una serie di interventi relativi a opere di fondazione, sistemazioni delle aree delle piazzole di esercizio e relativa viabilità; tali interventi, finalizzati al raggiungimento delle necessarie condizioni di sicurezza dei versanti e delle opere, dovranno essere adeguatamente studiati nella fase esecutiva, sia sulla base del confronto tecnico con tutti gli Enti partecipanti alla Conferenza dei Servizi sia di nuove e più approfondite indagini geognostiche.