



REGIONE EMILIA ROMAGNA  
PROVINCIA DI PARMA  
COMUNE DI BORGO 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

AE-10.6

STUDIO GEOLOGICO DI DETTAGLIO  
VARIANTE STRADA IN  
LOCALITA' GRIFOLA

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. S.T.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	Integrazione nota ARPAE SAC Parma Prot. 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**

**AE-10.6 STUDIO GEOLOGICO DI DETTAGLIO  
VARIANTE STRADA IN LOCALITA GRIFOLA**

**Revisione 00 d.d. marzo 2023**



## INDICE

1. PREMESSA .....	3
2. UBICAZIONE GEOGRAFICA DEL SITO.....	3
3. DESCRIZIONE DEL PROGETTO .....	7
4. QUADRO GEOLOGICO REGIONALE .....	9
4.1 Inquadramento geologico .....	9
4.2 Successione stratigrafica .....	11
4.2.1 Arenarie di Monte Gottero (GOT) .....	11
4.2.2 Litozona argillitica caotica (GOTa).....	11
4.2.3 Argilliti di San Siro (SSI) .....	11
4.2.4 Litozona marnosa (SSla) (Marne di Pontolo) .....	12
5. QUADRO GEOLOGICO LOCALE .....	16
5.1 Geologia .....	16
5.2 Geomorfologia .....	17
6. INDAGINI GEOFISICHE .....	22
6.1 Indagini sismiche a rifrazione.....	22
6.2 Elaborazione ed interpretazione prospezioni tomografiche con tecnica a rifrazione .....	24
7. CARATTERIZZAZIONE MECCANICA.....	26
7.1 Unità litotecniche .....	26
7.2 Sezione geologico-tecnica .....	27
7.3 Sezione geofisica.....	28
8. VERIFICA DI STABILITA' .....	30
8.1 Descrizione metodo di calcolo .....	30
8.2 Risultati delle verifiche .....	32
9. CONCLUSIONI .....	35



## 1. PREMESSA

Il presente elaborato è stato redatto al fine di recepire le integrazioni richieste con note prot. 203102/2022 trasmessa in data 12/12/2022 da parte di ARPAE Servizio Autorizzazioni e Concessioni di Parma e prot. 8492/4.2 trasmessa in data 5/12/2022 da parte dell'Unione dei Comuni Valli Taro e Ceno al seguente paragrafo:

- **AMBITO:** Direttiva regionale concernente le procedure amministrative e le norme tecniche relative alla gestione del vincolo idrogeologico, ai sensi ed in attuazione degli artt.148,149,150 e 151 della L.R.21 aprile 1999, n.3 “Riforma del sistema regionale e locale - ESITO ISTRUTTORIA

*Si chiede di produrre per l'intervento di variante stradale in località Grifola il progetto (Relazione Tecnica Illustrativa, Planimetrie, Sezioni, Stima dei m<sup>3</sup> di scavo e di riporto, Schema di smaltimento delle acque meteoriche e superficiali), delle opere a supporto del quale dovrà essere prodotto uno studio geologico di dettaglio (nelle forme previste dalle disposizioni vigenti in materia comprensivo di indagini geognostiche) che dovrà esprimere in maniera inequivocabile un giudizio di fattibilità in riferimento alle specifiche soluzioni del progetto*

Il presente studio geologico illustra gli studi, le indagini e le verifiche eseguite relativamente alla variante stradale in località Grifola prevista nel progetto di **costruzione del Parco Eolico “Monte Croce di Ferro”**, proposta dalla società **Borgotaro Wind**.

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.

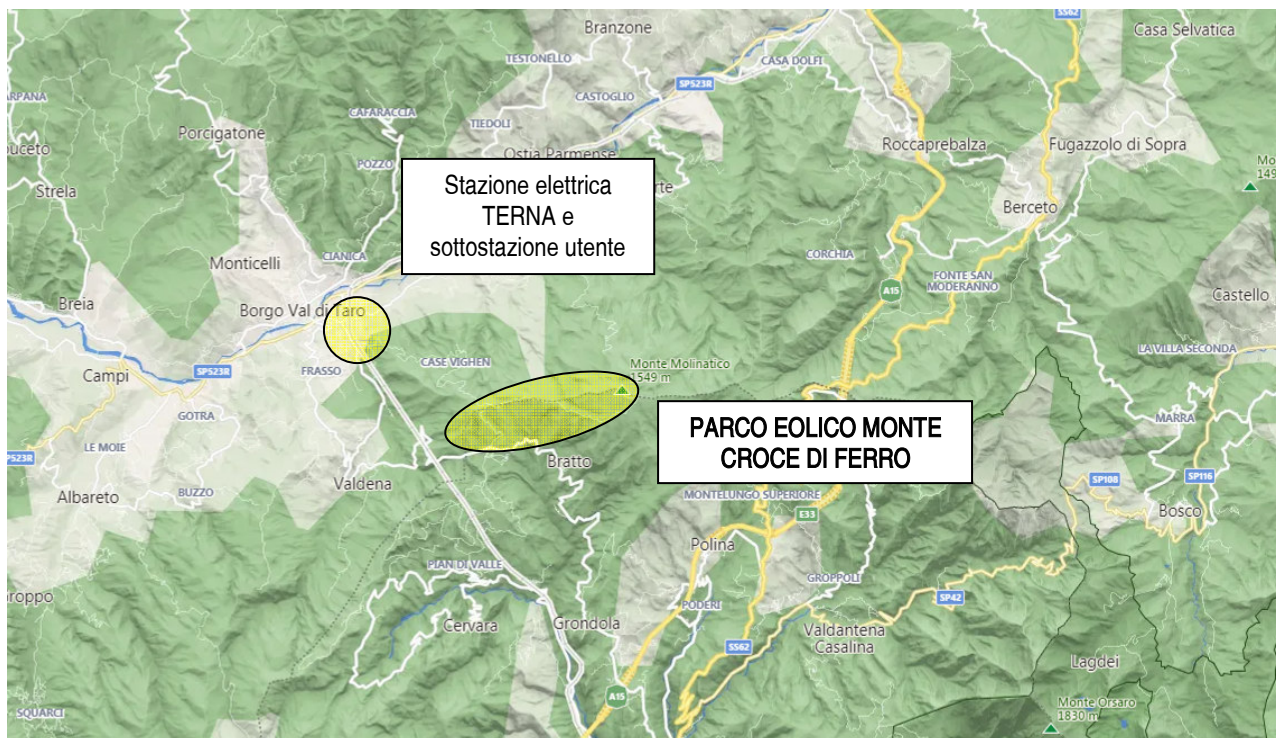
## 2. UBICAZIONE GEOGRAFICA DEL SITO

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.

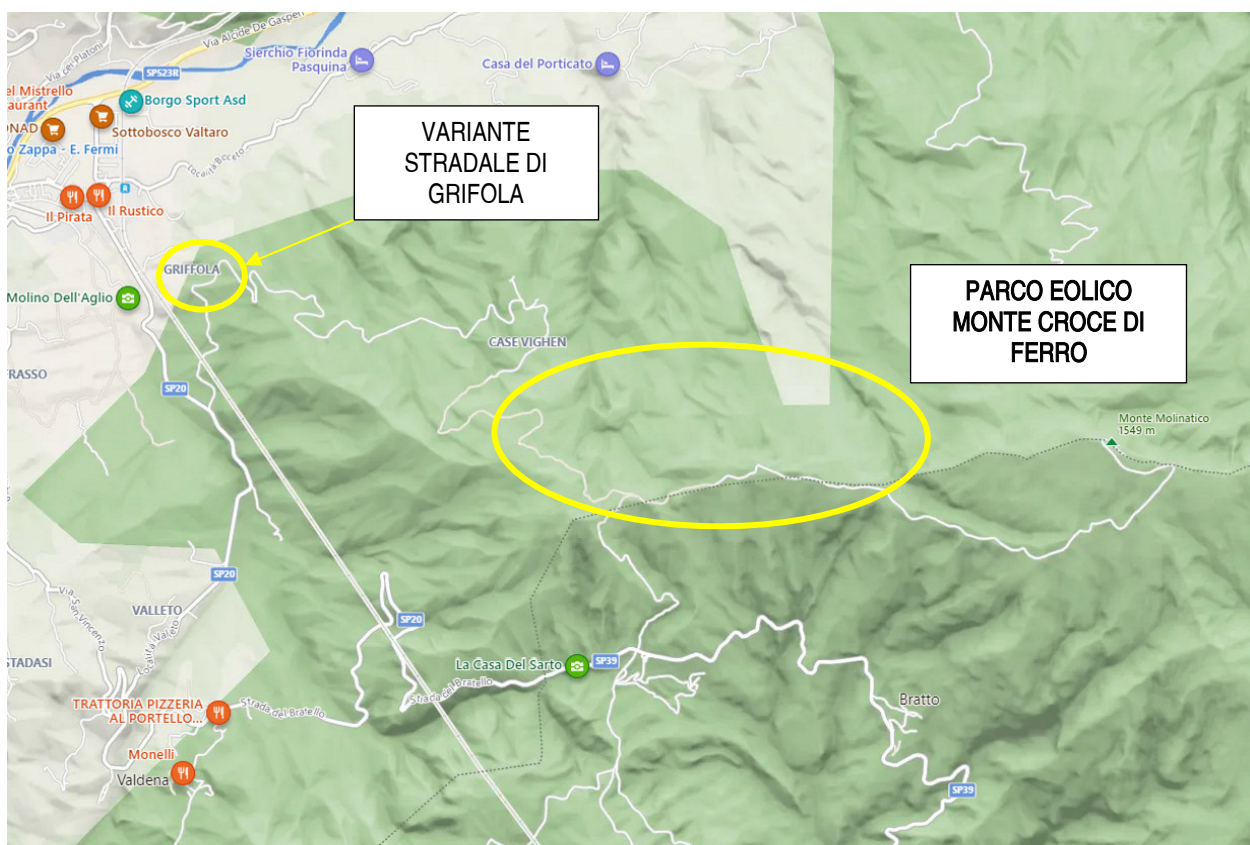
L'ubicazione del parco è meglio illustrata nelle Figura 2.1, Figura 2.2,

Figura 2.3. In Figura 2.4 e Figura 2.5 si dettaglia invece l'area interessata dalla variante stradale che sarà illustrata nella presente relazione.





*Figura 2.1 - Inquadramento territoriale*



*Figura 2.2 – Area del parco eolico*



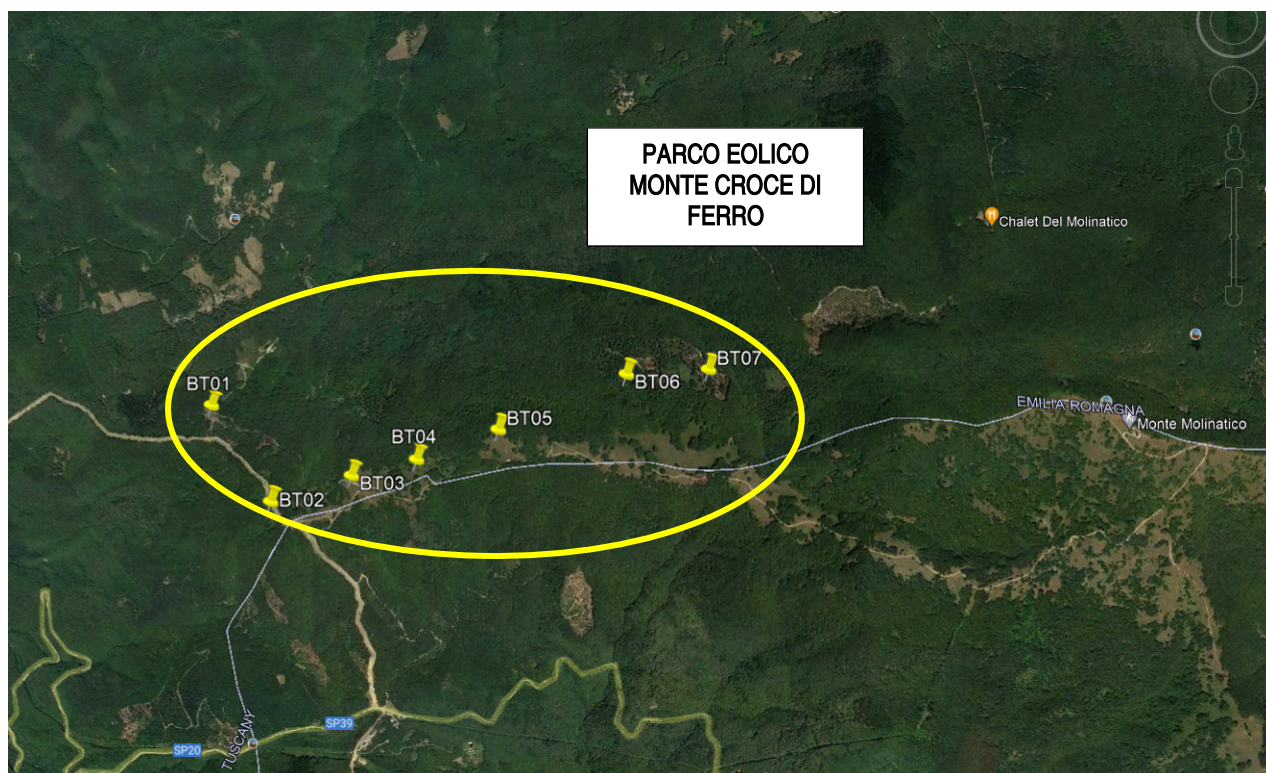


Figura 2.3 – Inquadramento da foto aerea del sito del parco eolico

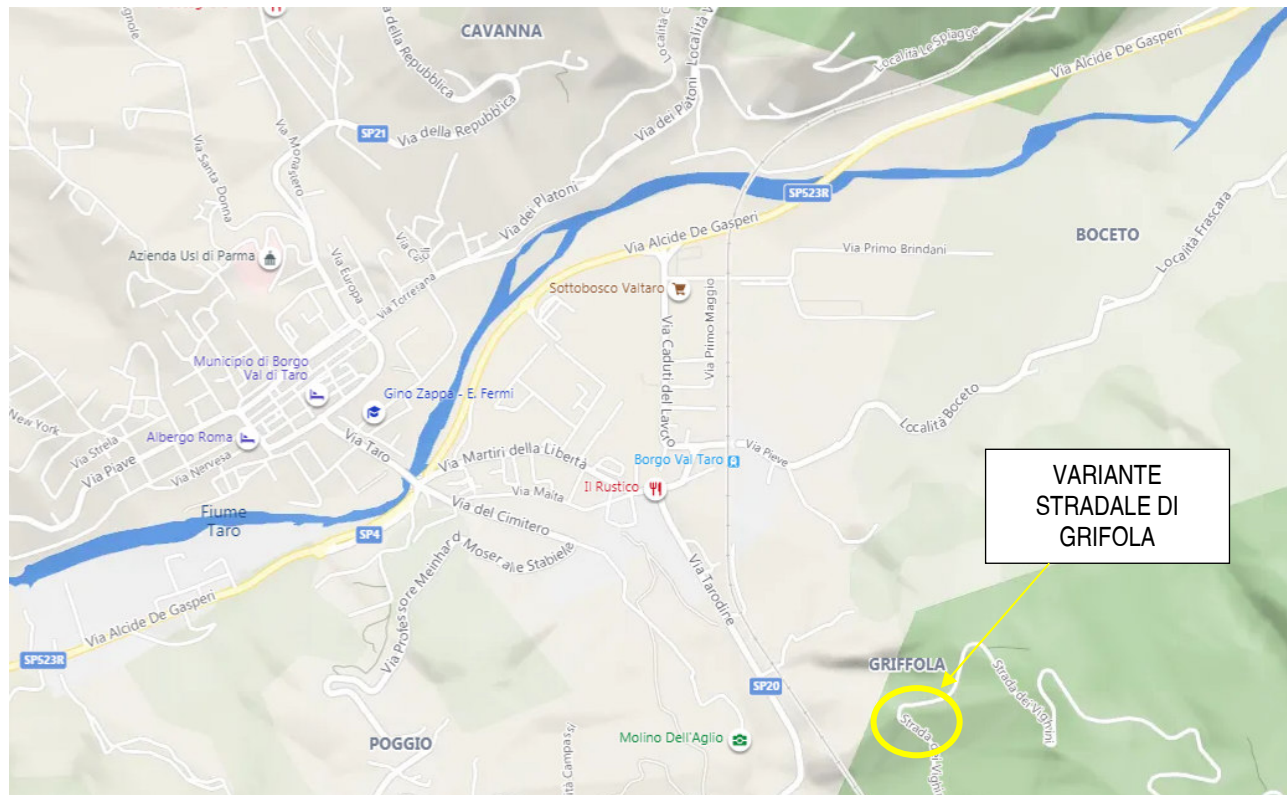
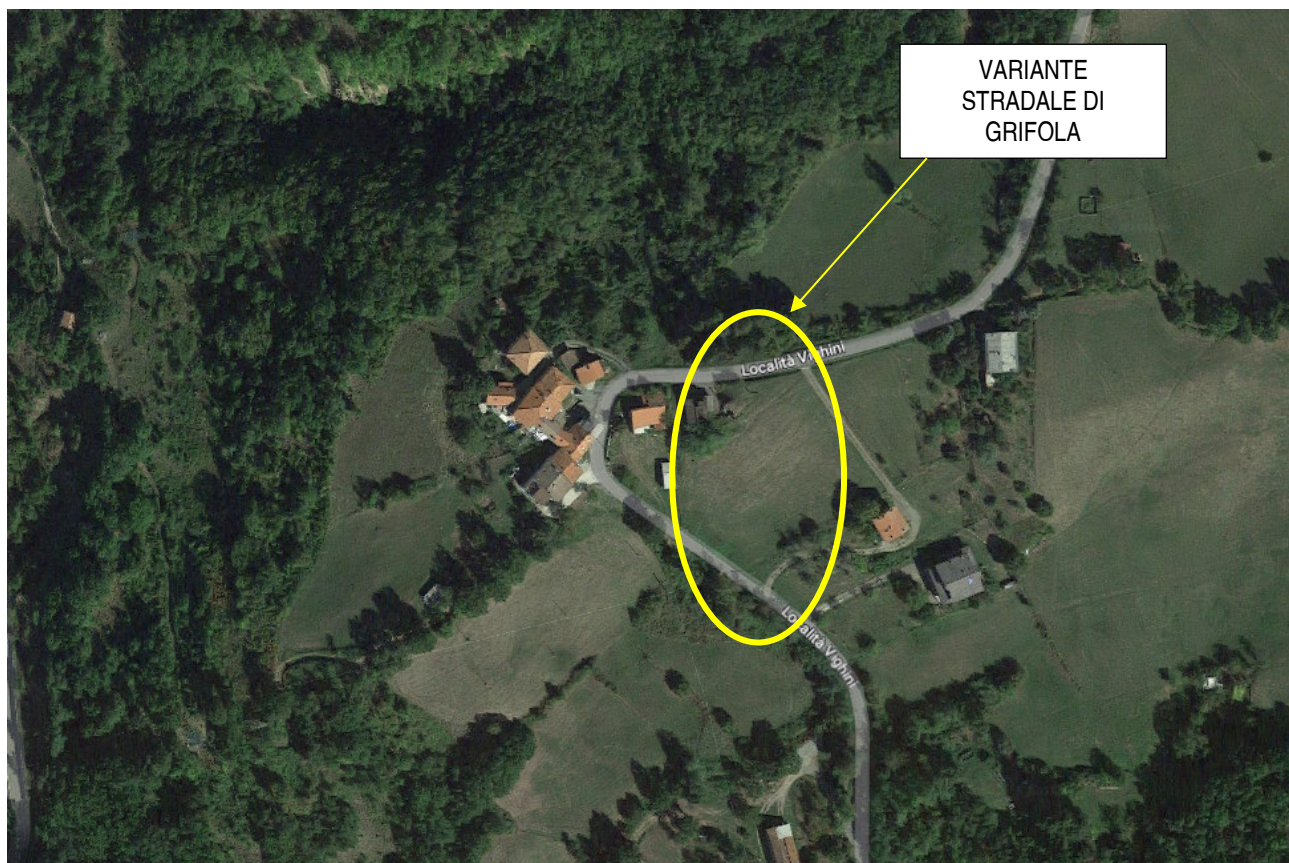


Figura 2.4 – Ubicazione della variante stradale in loc. Grifola, su strada comunale per Vighini





*Figura 2.5 – Inquadramento da foto aerea del sito*



### 3. DESCRIZIONE DEL PROGETTO

La strada Comunale che porta dalla Provinciale per Pontremoli a Case Vighini è stata progettata e realizzata negli anni 60 del 900, utilizzando raggi di curvatura e larghezza di sedime conformi a criteri progettuali adeguati, lungo un nuovo tracciato e abbandonando i percorsi precedenti. Nel tratto in oggetto e più in dettaglio all'interno dell'abitato di Grifola (*Figura 3.1*) è stata seguita la vecchia comunale mantenendo da un lato le pareti dei fabbricati privati e dall'altro manufatti storicizzati quali fontane pubbliche, cappelle votive e muri di contenimento; tale fatto quindi comporta che la larghezza e i raggi di manovra siano molto contenuti con gravi difficoltà per i mezzi più grandi. All'interno della curva che lambisce i fabbricati (si veda la foto a seguire) sono inoltre presenti alcuni fabbricati accessori e due serbatoi di accumulo dell'acquedotto comunale per cui non è ipotizzabile, in ogni caso, un allargamento e rettifica della strada su quel lato. Nonostante le dimensioni ridotte della sede stradale, il suo stato di conservazione è più che accettabile, anche a fronte di un probabile strato di sottofondo originario e quindi compatto e stabile.

Il manto è in conglomerato bituminoso realizzato in una recente manutenzione.

Viste le citate premesse si è optato per una variante planimetrica del tracciato da realizzarsi all'esterno dell'area sopra descritta, ma comunque in adiacenza sul lato Est.



*Figura 3.1 – vista aerea della strada attuale in loc. Grifola*

A seguito dell'analisi dello stato dei luoghi, l'approccio progettuale è stato rivolto alla realizzazione di una variante (by-pass) posta ad est dell'abitato di Grifola, raccordando il tratto rettilineo di valle, posto all'ingresso della frazione e quasi pianeggiante, con quello di monte che sale con pendenza costante (*Figura 3.2*). Il tracciato si inserirà in una zona a verde agricolo posta lungo un pendio di bassa inclinazione con giacitura Nord-Est; Sud-Ovest.

La soluzione è stata prescelta ed improntata al minimo impatto sia sui fabbricati che sulle infrastrutture presenti utilizzando il percorso di minore lunghezza e di pendenza compatibile.

Le ipotesi progettuali prendono spunto dai requisiti minimi previsti per la percorribilità da parte di mezzi d'opera e di mezzi speciali per il trasporto delle componenti degli aerogeneratori; in generale comunque tali requisiti soddisfano anche le caratteristiche tecniche afferenti alle strade comunali.

Le sezioni trasversali prevedono infatti una larghezza netta minima di circa 4,50 ml. a cui vanno aggiunti gli spazi di banchina e le opere per il convogliamento delle acque superficiali. I raggi di curvatura si manterranno elevati, e la pendenza massima risulterà non superiore al 14%, in analogia al percorso complessivo della strada comunale. Il raccordo avrà uno sviluppo di circa 120 ml. ed un dislivello di 12 ml. per una pendenza media del 10%. Il primo tratto, partendo dalla quota inferiore, seguirà l'andamento del pendio, attraversandolo,

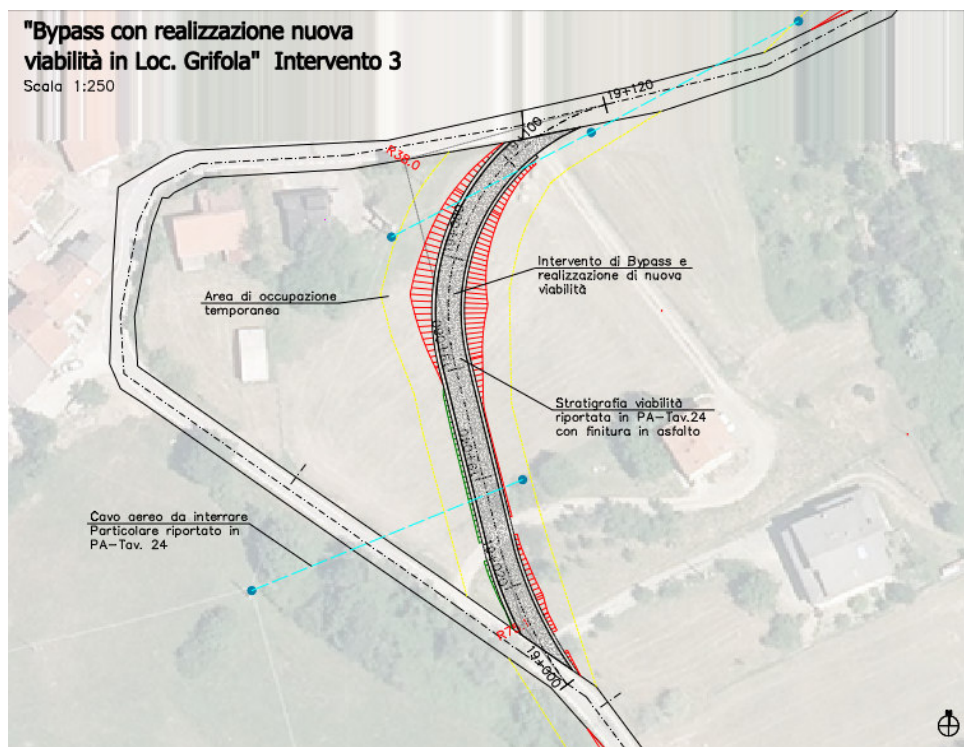




e formando delle sezioni in sterro e riporto, che consentiranno un agevole collegamento alle strade di accesso ai fabbricati esistenti. Il secondo tratto formerà una ampia curva, che porterà all'allineamento con il rettilineo superiore disponendosi lungo la massima pendenza del pendio; in questa parte le sezioni saranno in trincea per compensare la maggiore pendenza del terreno. Il bilancio tra sterro e riporto è a favore del primo per circa 436 Mc. con un notevole alleggerimento del pendio e a tutto vantaggio per la sua stabilità complessiva.

Come emerge dalle tavole progettuali tutte le acque saranno raccolte, prima nelle due cunette stradali disposte ai due lati, e quindi condotte a valle lungo la strada stessa nella zona Sud dell'intervento, e quindi con un attraversamento, in un fosso superficiale esistente che raccoglie le acque di monte, quelle della strada comunale e lo scarico di troppo pieno dei due serbatoi dell'acquedotto. Le scarpate a monte e a valle derivanti dal tracciamento avranno pendenza 2/3 e saranno completamente inerbite.

La sede stradale manterrà le caratteristiche di quelle esistenti con pacchetto in ghiaia assortita e compattata e un manto in bynder bituminoso e tappetino di usura. L'opera che, come già accennato, sarà definitiva, verrà completata con la segnaletica verticale ed orizzontale.



Intervento 3 Bypass grifola

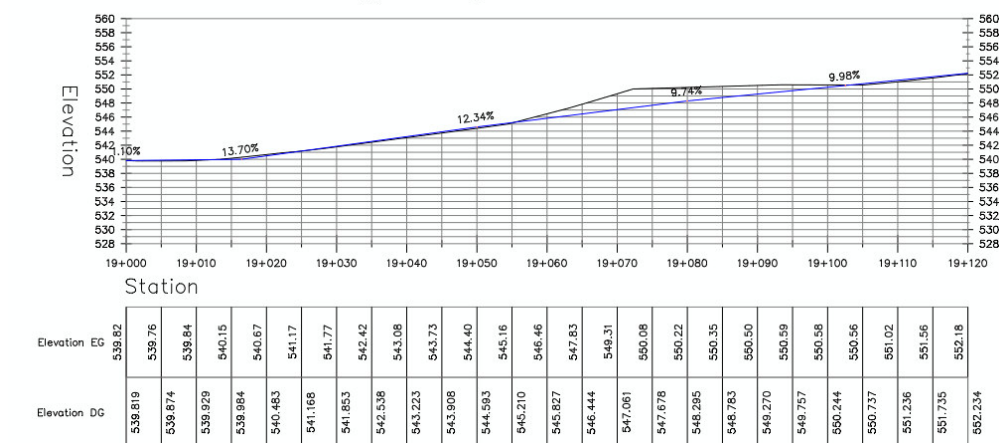


Figura 3.2 – by pass stradale in loc. Grifola



## 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;
- reperimento di indagini geognostiche costituite da prove penetrometriche dinamiche tipo DPSH eseguite nella medesima formazione geologica;
- esecuzione di indagini sismiche costituite da stendimenti sismici a rifrazione con misurazione delle velocità delle onde longitudinali (P) e trasversali (S);
- 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

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](https://geo.regione.emilia-romagna.it/cartografia_sgss/user/viewer.jsp?service=geologia)

Per una più dettagliata descrizione dell'inquadramento geologico regionale si rimanda alla consultazione dell'elaborato **G-R.1 Relazione Geologica** presente nel progetto; in questa sede si ricorda che la zona oggetto di descrizione appartiene alle cosiddette “Unità Liguri” ed in particolare all'**UNITA' MEDIA VAL TARO** identificata nella cartografia con il numero 9 ed in particolare nell'elemento **SAN SIRO** (9b). (Figura 4.1 – Schema geologico semplificato e Figura 4.2 - Schema Tettonico).

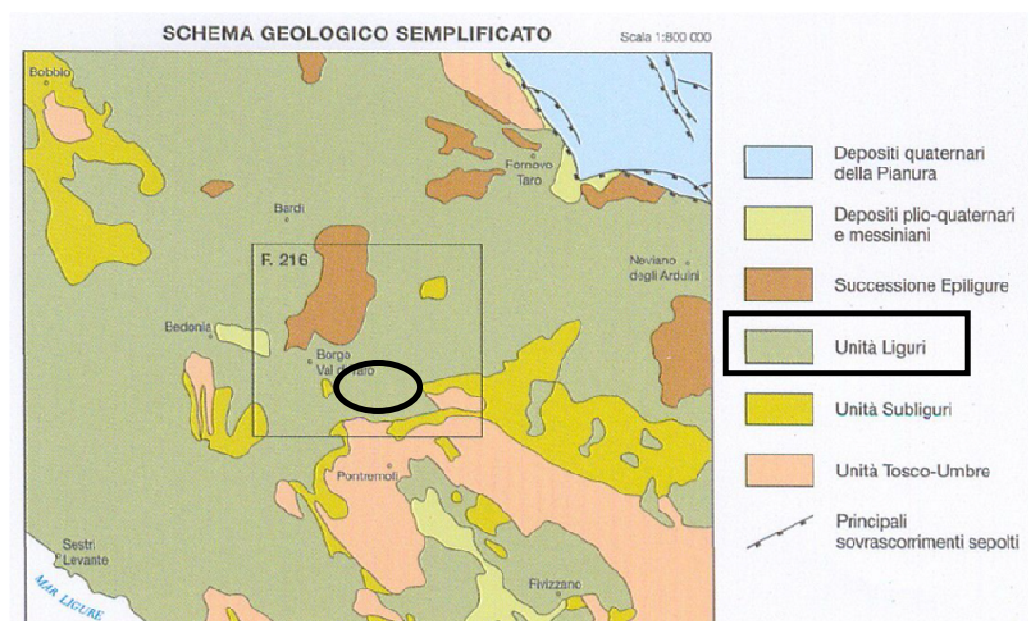


Figura 4.1 - Stralcio da Carta Geologica d'Italia 1: 50.000 – progetto CARG – sito ISPRA – schema geologico semplificato



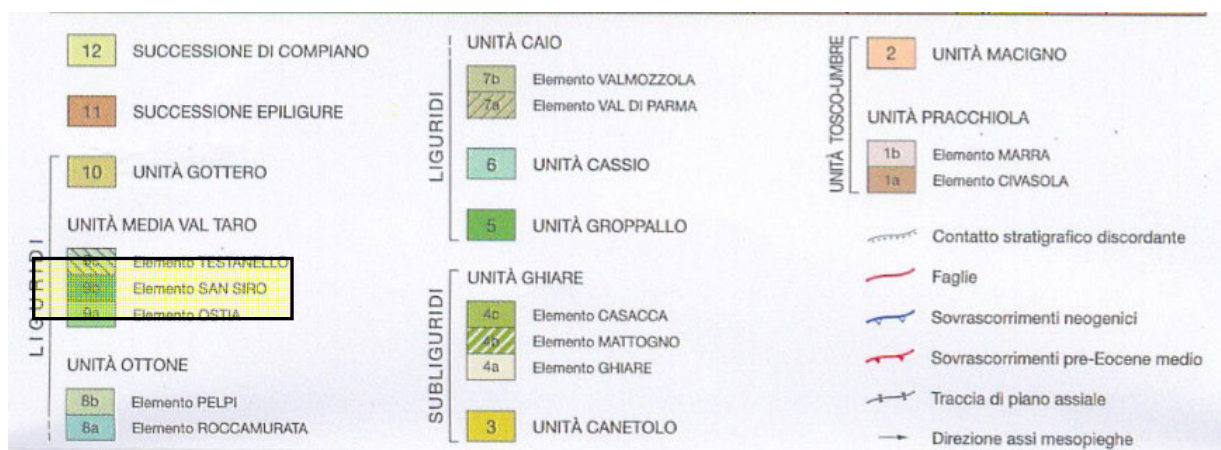
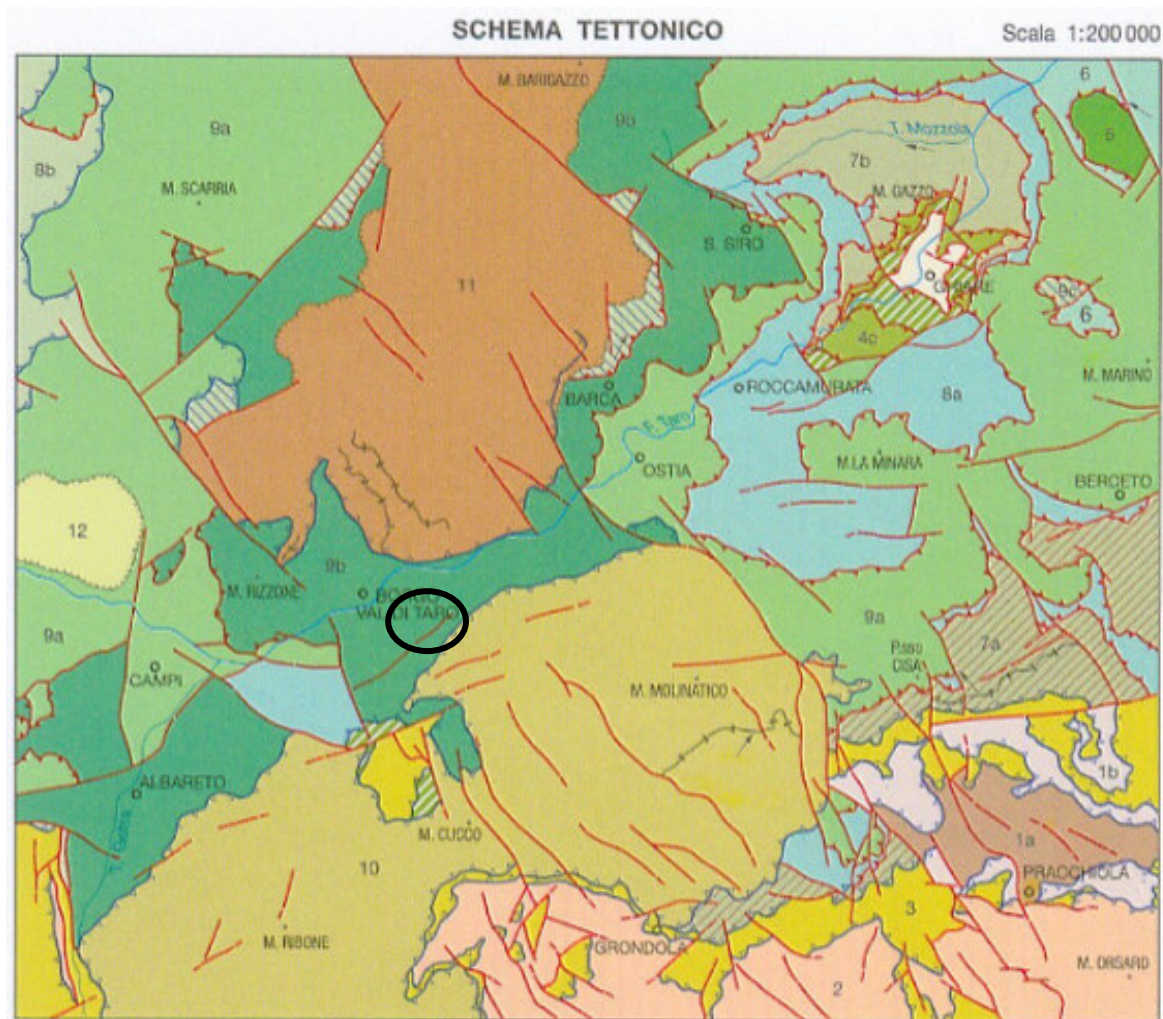


Figura 4.2 - Stralcio da Carta Geologica d'Italia 1: 50.000 – progetto CARG – sito ISPRA – schema tettonico



## 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 fagli 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-scuri in strati da medi a sottili.**

La formazione raggiunge una potenza di circa 1000 m e comprende una litozona argillitica caotica GOT<sub>a</sub> 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 (GOT<sub>a</sub>)

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)

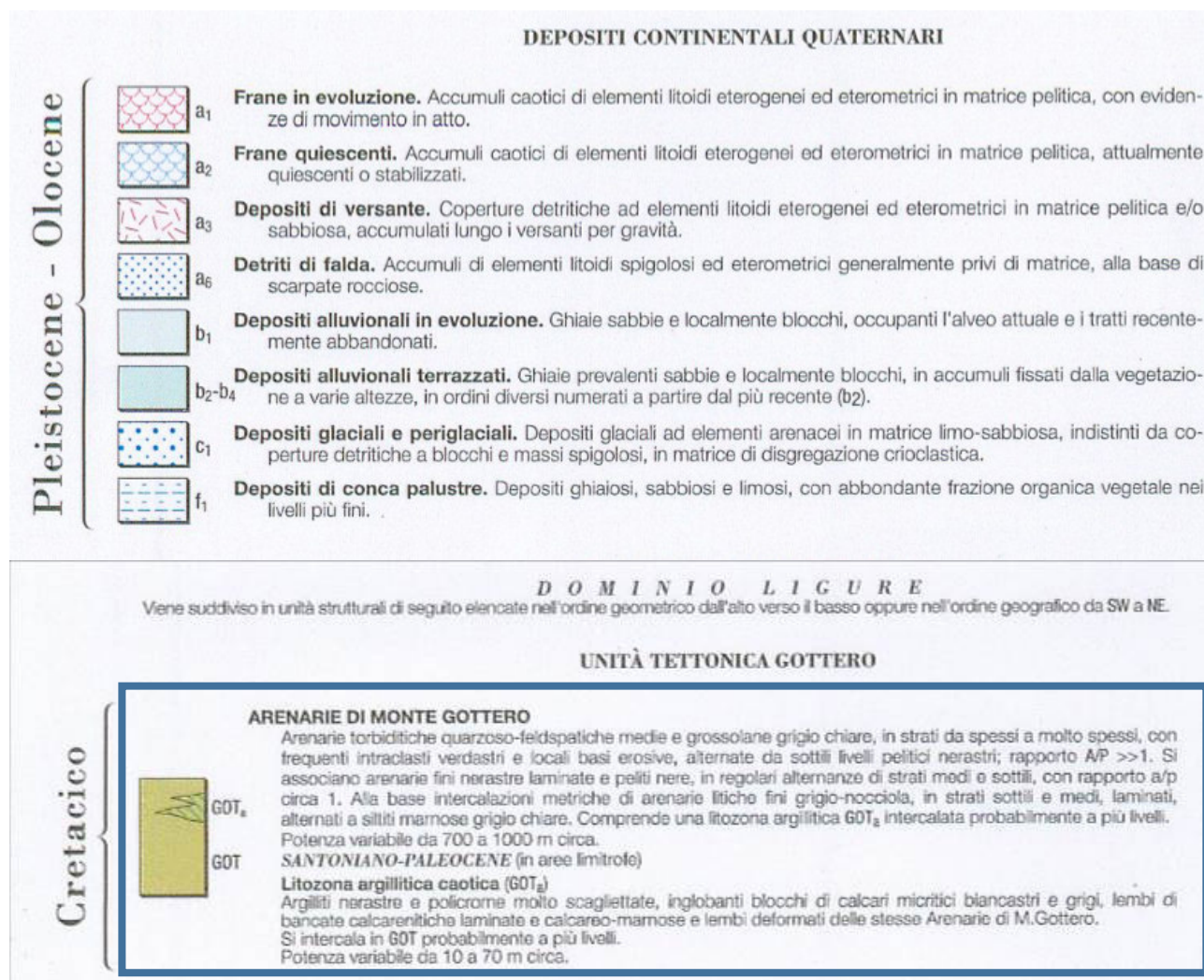
La formazione è costituita da argilliti nerastre, grigio-verdastre e rosso-violacee, intercalate da livelli calcilutitici e calcareniti grigiastre; talvolta si notano intercalazioni di sottili torbiditi arenacei in strati di spessore non costante, arenarie grossolane in strati sottili e livelli discontinui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





#### 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.





## UNITÀ TETTONICA MEDIA VAL TARO

Cretacico

**FLYSCH DI TESTANELLO**

Calcarei marnosi grigi in strati torbiditici spessi e molto spessi a base calcarenitica grigio-giallastra, alternati da argilliti nerastre in strati medi e sottili. Si intercalano localmente areniti grigio-nocciola da fini a grossolane passanti a marne siltose, in strati da medi a spessi e strati spessi di breccie monogeniche ad elementi calcareo-marnosi. Sono frequenti le tracce di reptazione alla base degli strati arenitici e la brecciatura autoclastica negli strati calcarei. Potenza valutabile in 100 m circa. Contatto stratigrafico discordante con SCB e ACM.

**CAMPANIANO?-MAASTRICHTIANO****ARENARIE DI CAMPI**

Arenarie torbiditiche litiche ad elevato tenore in quarzo, fini, biancastre, micacee e ricche di frustoli carboniosi, in strati medi e spessi con laminazione ondulata a grande scala, intercalate regolarmente da peliti nerastre e verdine in livelli sottili e molto sottili; rapporto A/P >1. Localmente si intercalano arenarie quarzoso-feldspatiche medie e grossolane grigio chiare, in strati spessi e marne grigie a base arenitica fine laminata, in strati medi e spessi. Potenza da pochi metri a 100 m circa. Contatto stratigrafico con SCB.

**CAMPANIANO****ARENARIE DI SCABIAZZA** (cfr. Arenarie di Ostia Auctt.)

Sottili alternanze di argilliti nerastre e arenarie fini e medie laminate che passano ad alternanze di arenarie litiche fini e molto fini e marne argillose grigio-nocciola, in strati da molto sottili a spessi (rapporto A/P da <1 a >1). Verso l'alto si inseriscono marne siltose grigie in strati molto spessi con letto arenitico e conglomeratico fine ad elementi sedimentari. Comprende una litozona caotica SCB<sub>2</sub> probabilmente intercalata a più livelli ed una litozona pelitica policroma SCB<sub>3</sub> in passaggio per alternanze nella parte sommitale dell'unità. Contatto stratigrafico con SSI.

**Potenza valutabile in 700 m circa.****?CONIACIANO-SANTONIANO****Litozona caotica (SCB<sub>2</sub>)**

Breccie matrice-sostenute a blocchi di calcari grigio-verdini e biancastri e lembi eterometrici di marne grigio-giallastre, inglobati in matrice argillitica nera e verdastra. Potenza variabile da pochi metri a 50 m circa.

**Litozona pelitica policroma (SCB<sub>3</sub>)**

Sititi nerastre passanti gradualmente ad argille siltose rosso-vinate; localmente si intercalano breccie poligeniche clasto-sostenute ad elevato tenore in clorite, in strati lenticolari (br). Potenza valutabile in 20 m circa.

**ARGILLITI DI SAN SIRO**

Argilliti nerastre e policrome manganesifere, con intercalati livelli calcituttici silicei grigio-verastri e areniti laminate fini in strati sottili. Comprende una litozona marnosa SSI<sub>2</sub>, probabilmente posizionata nella parte alta dell'unità.

**Potenza geometrica di 300 m circa. Contatto stratigrafico discordante con AMR.****ALBIANO-CENOMANIANO INF.****Litozona marnosa (SSI<sub>2</sub>)** (cfr. Marne di Pontolo Auctt.)

Marne e marne calcaree grigio-giallastre, in strati molto spessi a base calcarenitica fine intercalati da orizzonti argillitici nerastri e policromi.

**ARGILLE A PALOMBINI DI MONTE RIZZONE** (cfr. Argille a palombini Auctt.p.p.)

Argilliti grigio scure, verdastre e nocciola, intercalate da calcari micritici grigi a patina giallastra, talora a base calcarenitica laminata, in strati da sottili a spessi; localmente si intercalano argilliti marnose grigie in strati spessi e arenarie fini laminate in strati sottili.

**Potenza geometrica 200 m circa.****HAUTERIVIANO-APTIANO**



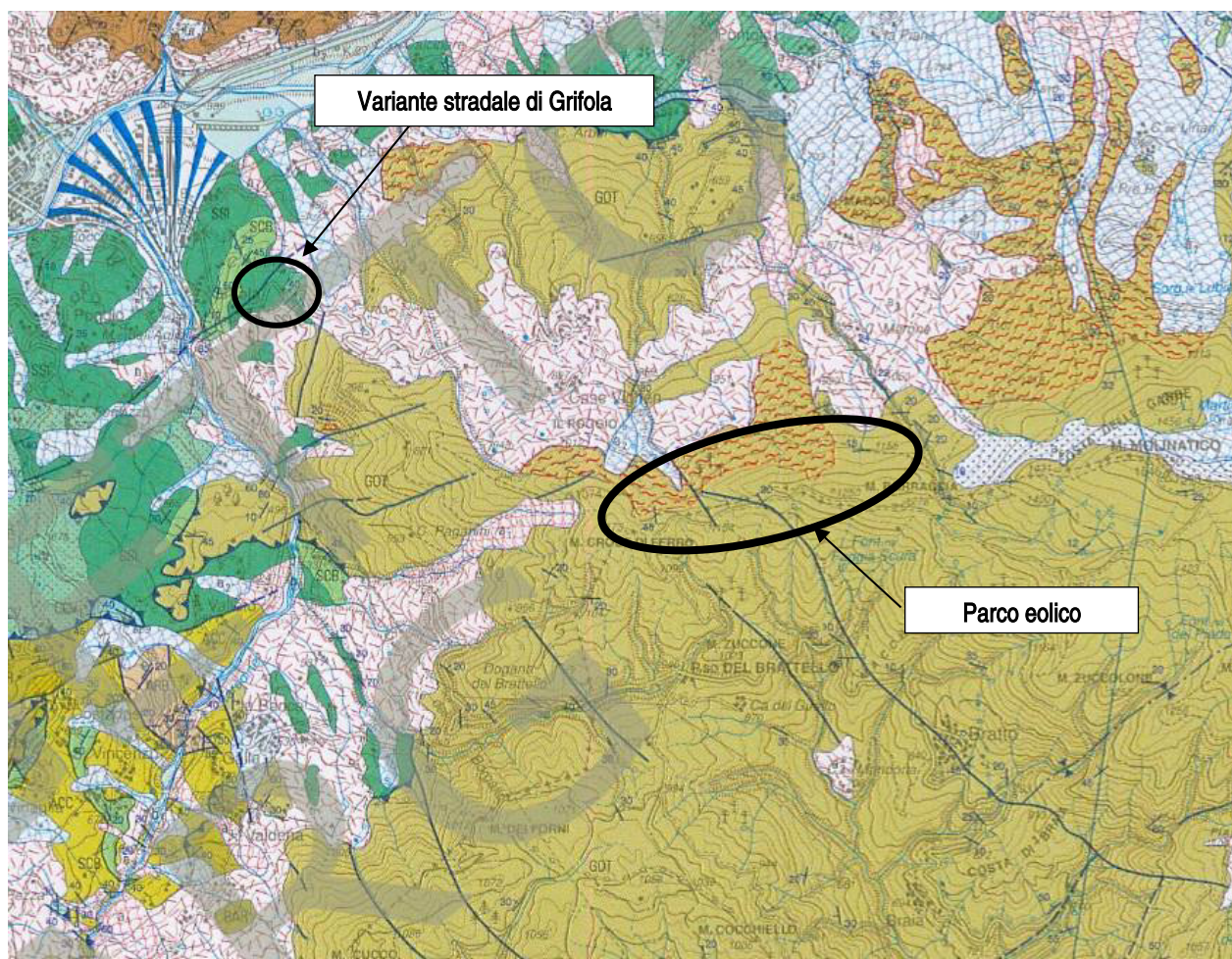
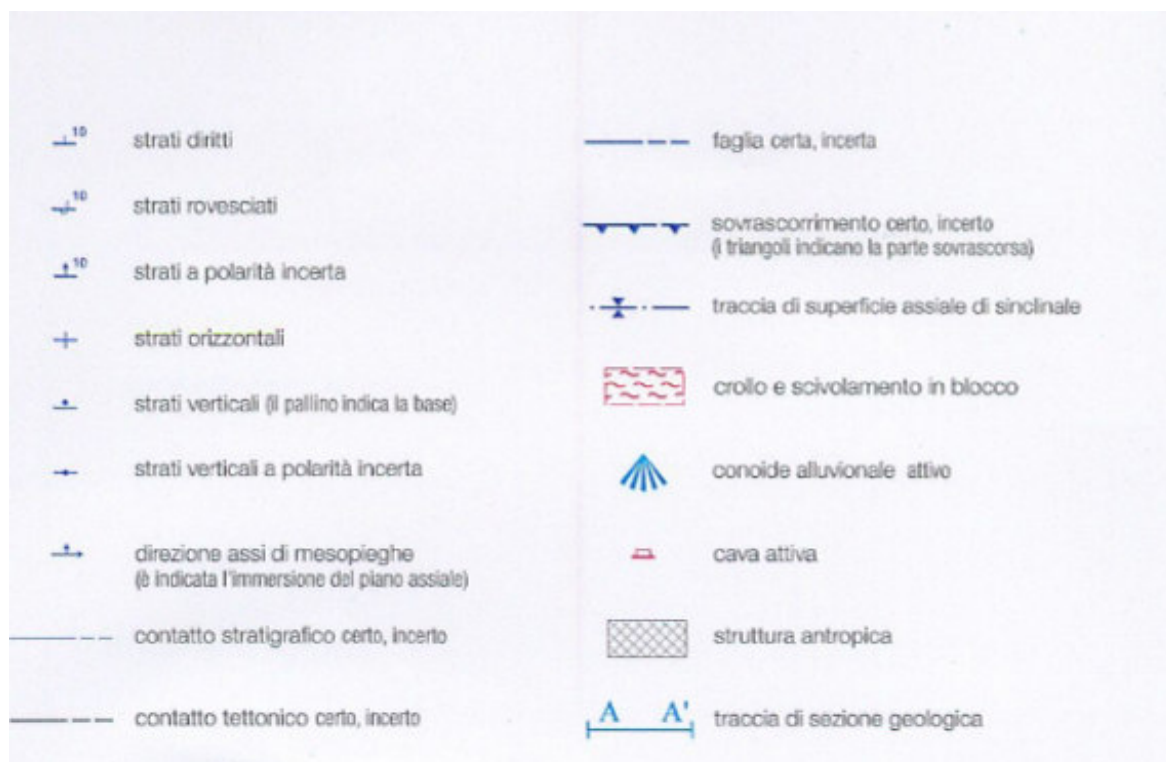


Figura 4.3 - Stralcio da Carta Geologica d'Italia 1: 50.000 – progetto CARG – sito ISPRA – PANORAMICA

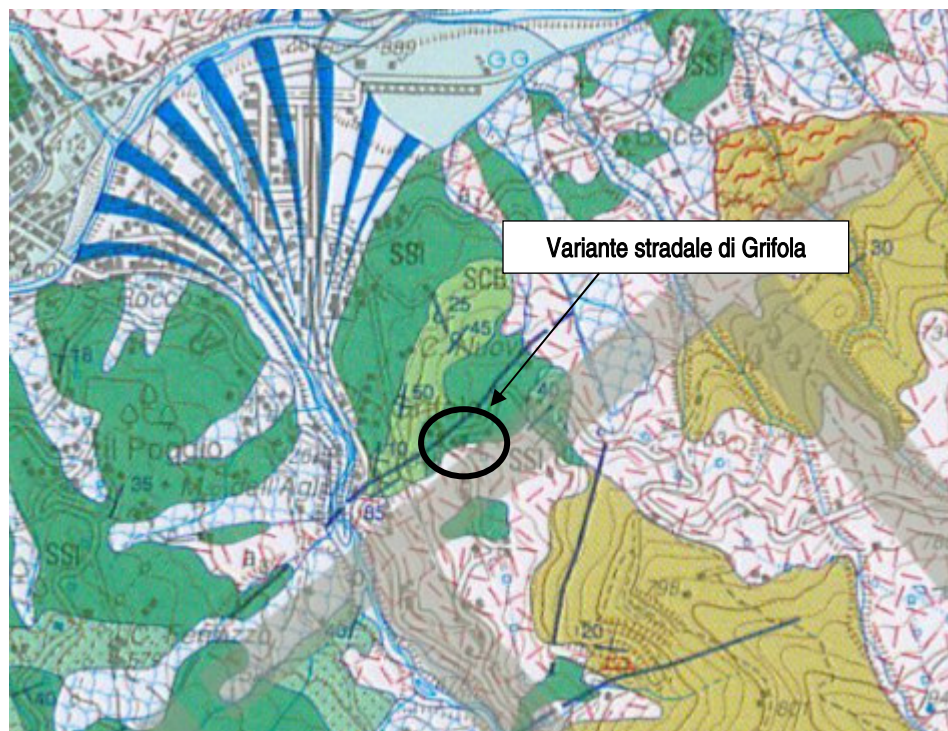


Figura 4.4 - Stralcio da Carta Geologica d'Italia 1: 50.000 – progetto CARG – sito ISPRA – DETTAGLIO





## 5. QUADRO GEOLOGICO LOCALE

### 5.1 Geologia

Le informazioni reperite nel DATA BASE della Regione Emilia Romagna, CARTOGRAFIA GEOLOGICA ([https://geo.regione.emilia-romagna.it/cartografia\\_sgss/user/viewer.jsp?service=geologia](https://geo.regione.emilia-romagna.it/cartografia_sgss/user/viewer.jsp?service=geologia)) (Figura 5.1) indicano che l'area oggetto di studio è contraddistinta dalla presenza della 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). Tale formazione è ricoperta, sul lato Sud, da terreni 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. 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.

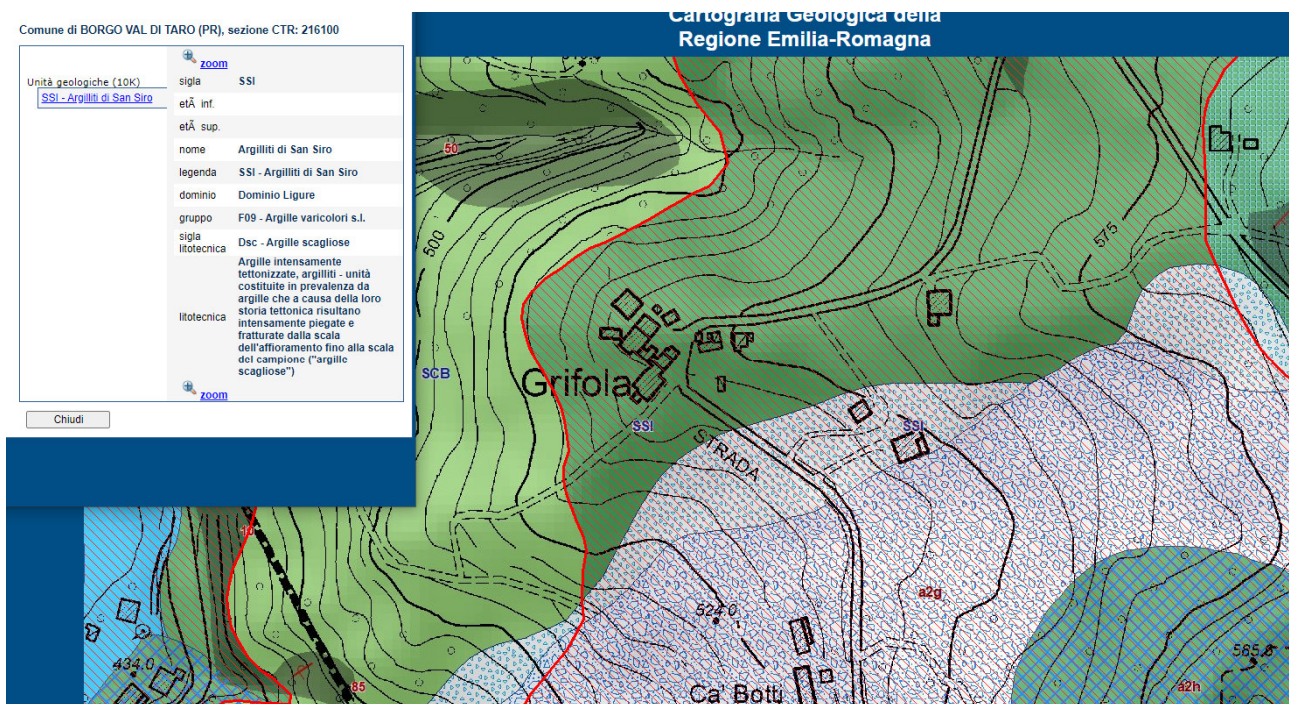


Figura 5.1 - Stralcio da DB Cartografia geologica della Regione Emilia Romagna DETTAGLIO

Le “**ARGILLITI DI SAN SIRO**” sono giustapposte per contatto tettonico, sui lati Ovest e Nord-Ovest, alla formazione delle “**ARENARIE DI SCABIAZZA**”, Unità torbiditiche arenitico - pelitiche pre – Flysch costituite da ammassi rocciosi strutturalmente ordinati con alternanze tra livelli lapidei (Es: arenarie cementate, calcareniti, calcilutiti ecc.) e livelli pelitici con livelli pelitici prevalenti: rapporto L/P < 1/3 (presenti localmente in stratificazione rovescia).

Sul lato Sud, rispetto alla posizione dei depositi glaciali e periglaciali, è presente un'ampia zona classificata come “**DEPOSITO DI FRANA QUIESCENTE COMPLESSA**”; si tratta di un deposito gravitativo senza evidenze di movimenti in atto o recenti, alla data del rilevamento o dell'aggiornamento. Generalmente si presenta 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

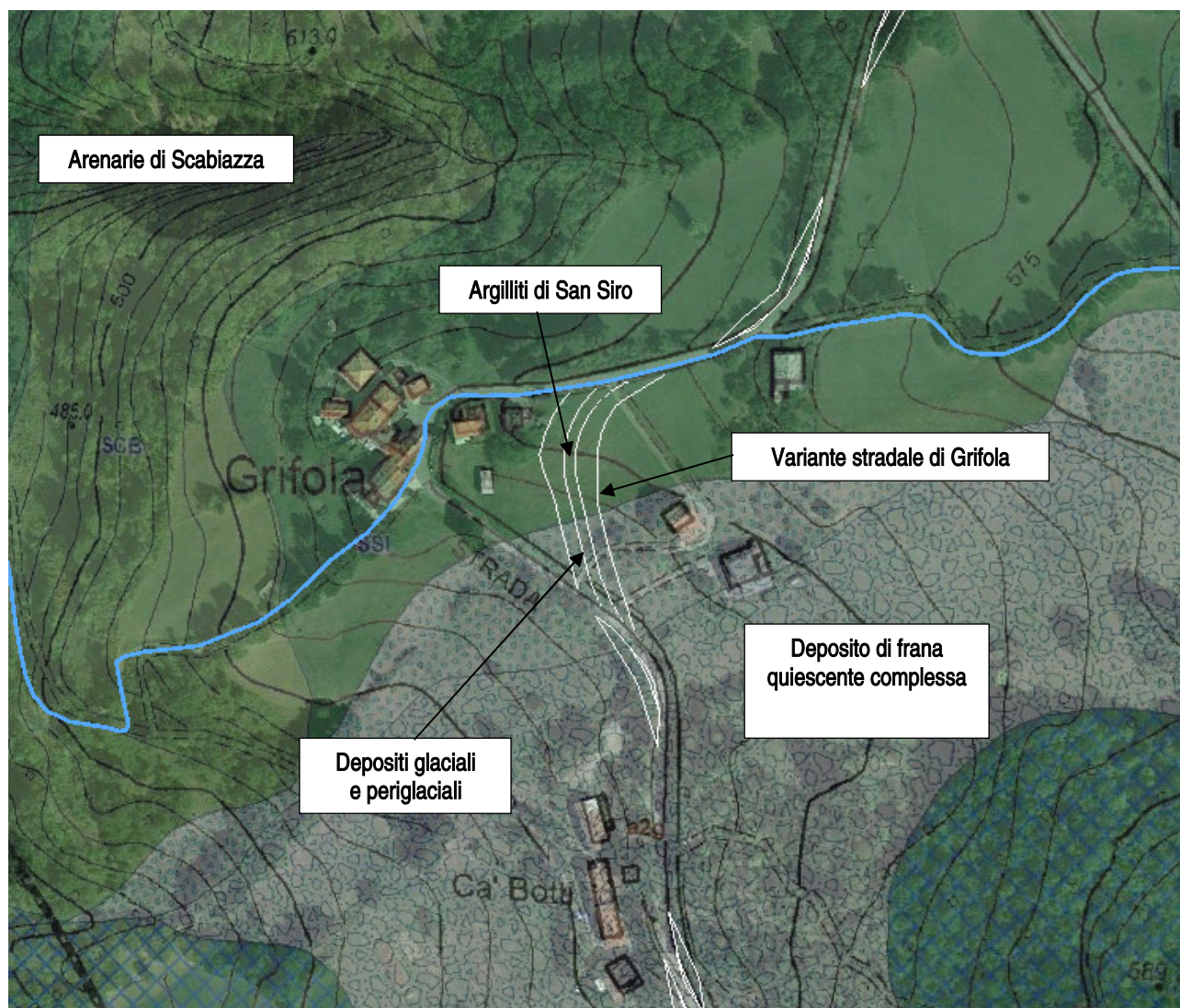




morfoclimatiche, esaurito la loro potenzialità. Sono quindi frane ad attività intermittente con tempi di ritorno lunghi, generalmente superiori a vari anni.

Le unità delle “ARENARIE DI SCABIAZZA” e del “DEPOSITO DI FRANA QUIESCENTE COMPLESSA” **NON SONO INTERESSATE** dalla variante stradale.

Come si può osservare in *Figura 5.2*, l'innesto della variante stradale sul lato di valle interseca i “Depositi glaciali e periglaciali”, per una lunghezza stimata di circa 35 metri mentre il restante tracciato di variante si sviluppa nel pendio interessato dalle “Argilliti di San Siro”.



*Figura 5.2 – Sovrapposizione della cartografia geologica regionale alla foto aerea del sito e al progetto della variante stradale*

## 5.2 Geomorfologia

Le ricerche bibliografiche relative agli aspetti geomorfologici ed in particolare alla presenza di dissesti gravitativi sono state estese al Data Base regionale e al Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale.

La variante stradale si sviluppa in corrispondenza di un versante vallivo a copertura prativa posto ad Est del nucleo abitato di Grifola e contraddistinto da pendenze non elevate (*Figura 5.3*); la variante si rende necessaria per evitare il transito in prossimità del nucleo storico, caratterizzato da uno stretto tornante in prossimità delle





abitazioni. Essa si sviluppa per una lunghezza longitudinale di circa 120 metri, superando un dislivello di circa 12 metri; la prima parte del tracciato si sviluppa in leggero rilevato mentre la parte sommitale è prevista in scavo.



Figura 5.3 – versante interessato dalla variante stradale (visto dall'innesto di valle)

Il Database “Cartografia del dissesto della Regione Emilia Romagna” ([https://geo.regione.emilia-romagna.it/cartografia\\_sgss/user/viewer.jsp?service=dissesto](https://geo.regione.emilia-romagna.it/cartografia_sgss/user/viewer.jsp?service=dissesto)) ha sostanzialmente confermato quanto già descritto al paragrafo precedente. Con riferimento alla Figura 5.4 e Figura 5.5 si segnala la presenza sull'area di intervento di coperture quaternarie costituite estesamente da **Depositi glaciali e periglaciali (c3)** nella parte bassa e da un **Argilliti di San Siro (SSi)** nella parte alte alta.

#### Frane e altri depositi di versante

a0 - Deposito di frana naturalmente stabilizzata o relitta di tipo indeterminato	a2g - Deposito di frana quiescente complessa
a0b - Deposito di frana naturalmente stabilizzata per scivolamento	a2h - Deposito di frana quiescente per scivolamento in blocco o DGPV
a0g - Deposito di frana naturalmente stabilizzata complessa	a3 - Deposito di versante s.l.
a1 - Deposito di frana attiva di tipo indeterminato	a6 - Detrito di falda
a1a - Deposito di frana attiva per crollo e/o ribaltamento	a5 - Antico deposito di versante
a1b - Deposito di frana attiva per scivolamento	a4 - Deposito eluvio-colluviale
a1d - Deposito di frana attiva per colamento di fango	c3 - Deposito glaciale e periglaciale
a1e - Deposito di frana attiva per colamento detritico	d1 - Deposito eolico
a1g - Deposito di frana attiva complessa	f1 - Deposito palustre
a1h - Deposito di frana attiva per scivolamento in blocco o DGPV	f2 - Deposito lacustre
a2 - Deposito di frana quiescente di tipo indeterminato	i1 - Conoide torrentizia in evoluzione
a2b - Deposito di frana quiescente per scivolamento	i2 - Conoide torrentizia inattiva
a2c - Deposito di frana quiescente per espansione laterale	tr - Travertini
a2d - Deposito di frana quiescente per colamento di fango	e1 - Deposito di salsa
a2e - Deposito di frana quiescente per colamento detritico	



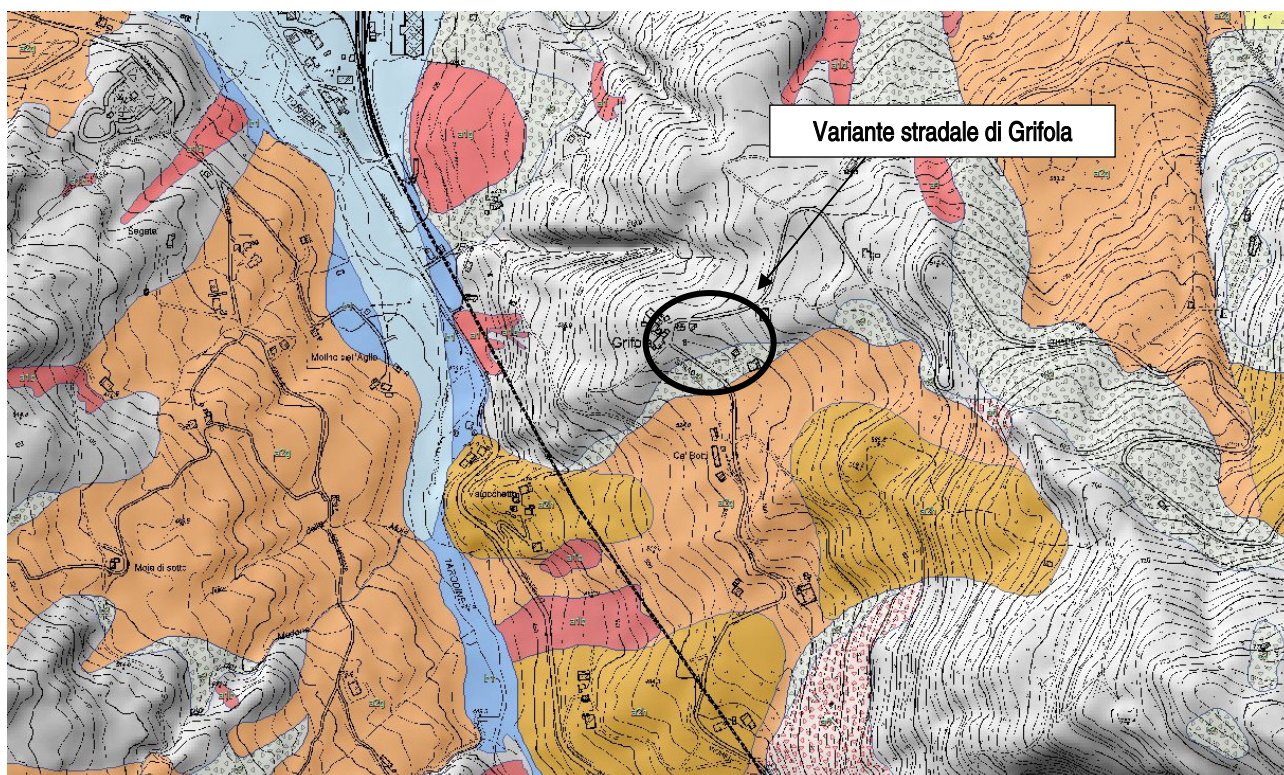


Figura 5.4 - Stralcio da DB Cartografia dissesto della Regione Emilia Romagna PANORAMICA

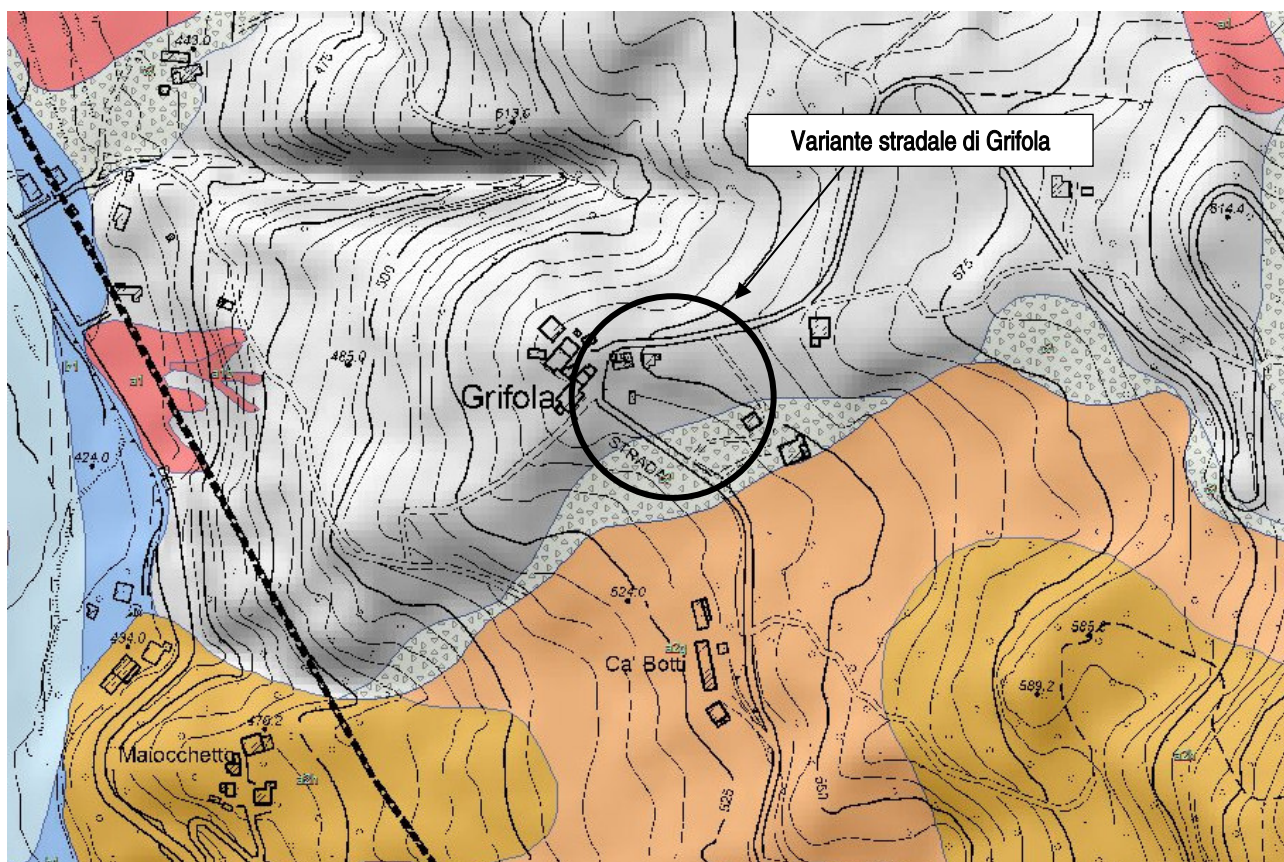


Figura 5.5 - Stralcio da DB Cartografia dissesto della Regione Emilia Romagna DETTAGLIO





L'analisi della Carta del dissesto del P.T.C.P. (Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale) della Provincia di Parma (Tavola C2 sezione n 216100, variante specifica di aggiornamento 2013-2014) non evidenzia situazioni differenti rispetto a quanto già illustrato e segnalato precedentemente.

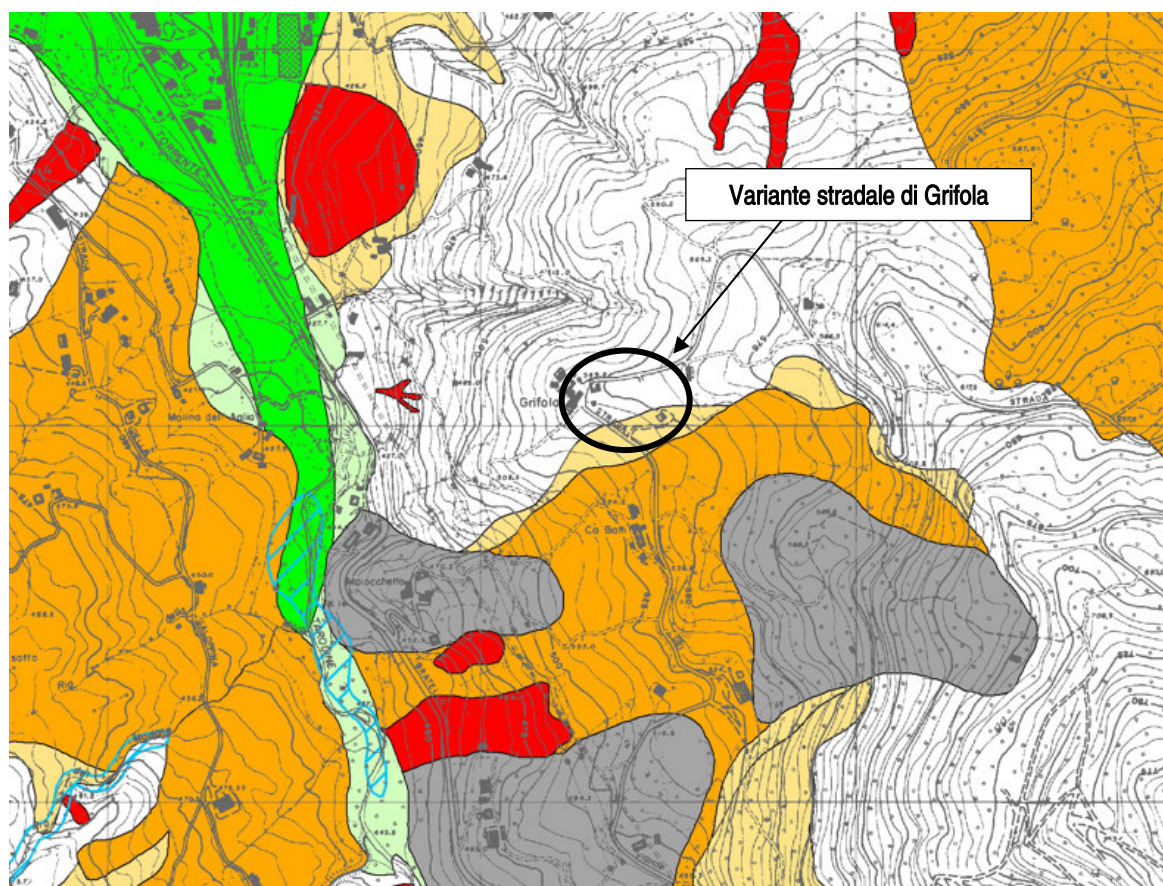
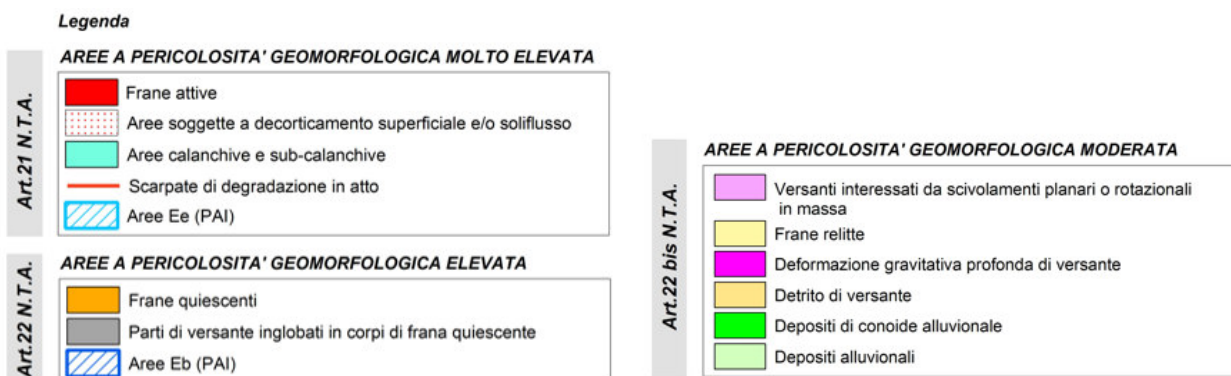
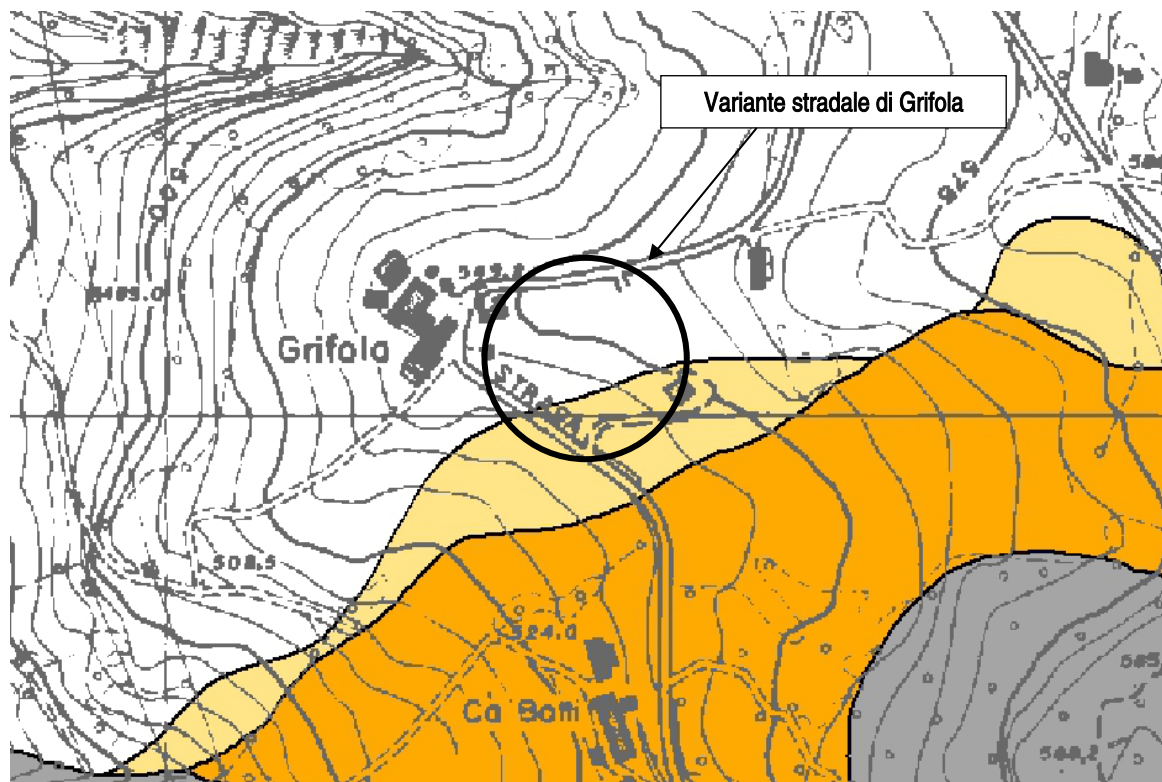


Figura 5.6 - Stralcio da Carta del dissesto PTCP Parma - PANORAMICA

Come si evince dallo stralcio planimetrico di *Figura 5.6* e *Figura 5.7* il versante vallivo interessato dalla variante stradale si caratterizza per gran parte da cartografia bianca (nessuna evidenza di pericolosità geomorfologica) e solo nella parte bassa è presente il retino ascrivibile a deposito di versante. Quest'ultimo è classificato tra le **aree a pericolosità geomorfologica moderata**, regolate dall'articolo 22bis delle Norme Tecniche Attuative del P.T.C.P. della Provincia di Parma.



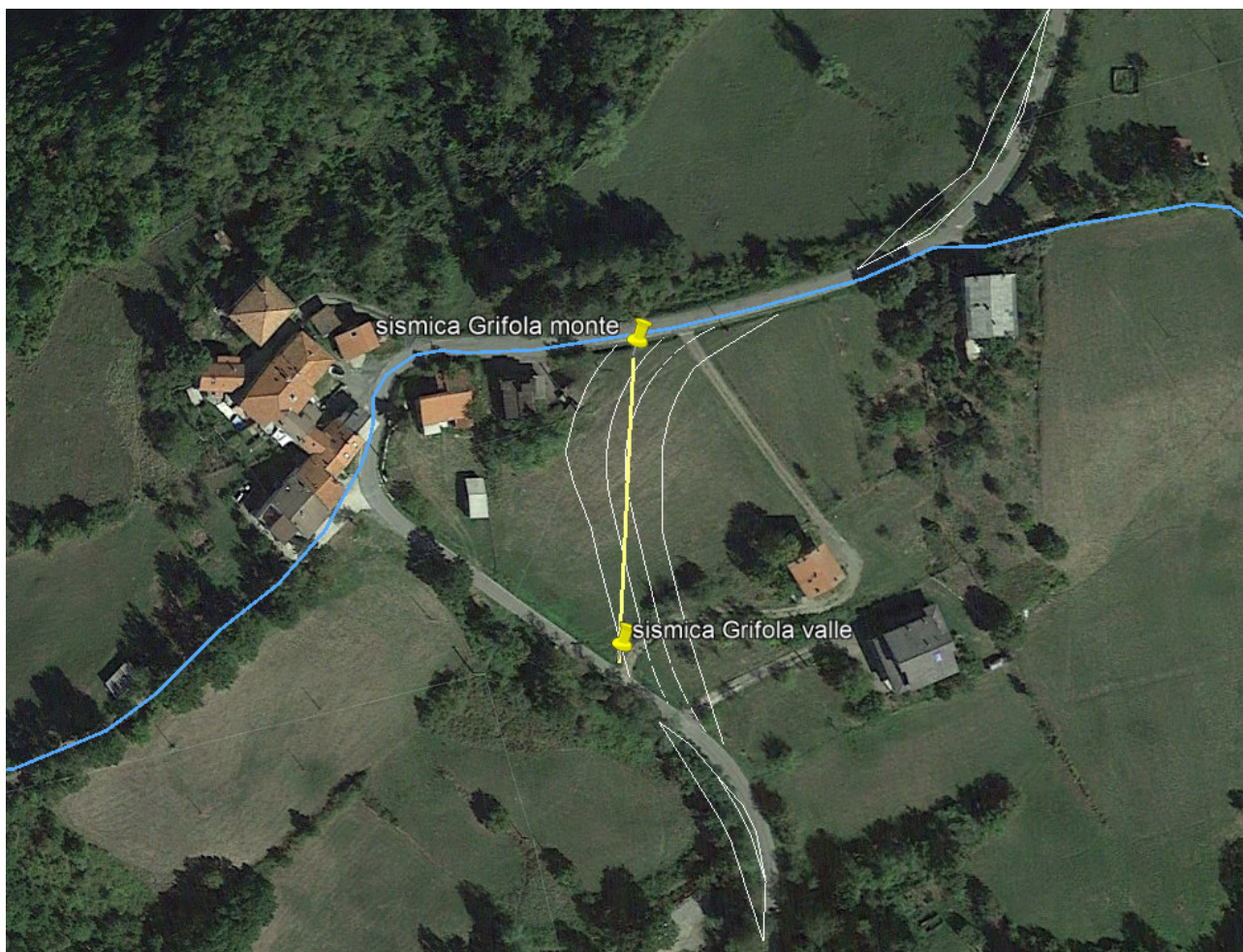
*Figura 5.7 - Stralcio da Carta del dissesto PTCP Parma - DETTAGLIO*



## 6. INDAGINI GEOFISICHE

Con la finalità di definire la sequenza lito-stratigrafica del sottosuolo e la caratterizzazione fisico-meccanica dei terreni interessati dalla variante stradale è stata eseguita un'indagine geofisica (*Figura 6.1*) costituita da n° 1 rilievo sismico tomografico a rifrazione con stendimento di lunghezza 120 m in corrispondenza del tracciato di progetto.

Lo stendimento sismico ha la finalità di fornire una sezione sismo-stratigrafica ad integrazione delle informazioni bibliografiche esistenti sulle formazioni geologiche ivi affioranti.



*Figura 6.1 – planimetria indagini sismiche a rifrazione*

### 6.1 Indagini sismiche a rifrazione

Le indagini sono state effettuate con SISMOGRAFO AMBROGEO mod. ECHO24/2010 ([www.ambrogeo.eu](http://www.ambrogeo.eu)). In *Figura 6.2* è mostrata la scheda tecnica del sismografo utilizzato per questa indagine.

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 ( $\text{velocità} = \text{spazio}/\text{tempo}$ ), 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 6.3*).



## AMBR GEO Strumenti per Geofisica

### Seismograph ECHO 24 Seismic Unit



- Monitor: Touchscreen/External laptop
- Number of channels: 12-24+1
- A/D Conversion: 24 bits
- Dynamic range: 130dB @1ms PG=0dB
- Cross talk: 120dB @1ms PG=18dB
- Preampify gain: >90db
- Frequency response: 0db, 6db, 12db, 24db, 30 db, 36 db
- Acquisition and display filter: 0 to 6KHz (30KSPS)
- Sampling interval: 0 to 4.8KHz (15KSPS)
- Record length: 0 to 36KHz (7.5KSPS)
- Stacking trigger accuracy: 0 to 1.5KHz (3.5KSPS)
- Distortion (THD): 0 to 800Hz (2KSPS)
- Max input signal: 0 to 400Hz (1KSPS)
- CMR: Low Cut Out
- Noise: 10.15.25.35.50.70.100.200.280.400 Hz
- Pre-trigger data: 32us, 64us, 128us, 256us, 480us, 960us
- Delay: 16000 samples
- Temperature range: 1/32 of samples interval
- Power: 0.0004 %
- Continuous recording: 2Vpp, 0dB
- Output format: 110dB (ICM -60Hz, fDATA = 30KSPS)
- Connector: 0.25uV, 2ms, 360db
- 61 pin connector: 524ms @ 32us sample interval
- 61 pin Cannon connector: 0 to 2500ms step 10ms
- 61 pin Cannon connector: -30°C/+70°C
- 61 pin Cannon connector: 12 V
- 61 pin Cannon connector: HVSIR
- 61 pin Cannon connector: SEG-Y/SG2 / SAF (SESAME ASCII FORMAT)
- 61 pin Cannon connector: 61 pin Bendix connector - NKZ7 pin Cannon connector

AMBROGEO INSTRUMENTS  
Via Roveleto Landi 3 - 29029 Rivergaro - Piacenza - ITALY  
Tel.+39 0523 956119 - Fax.+39 0523 956226 - www.ambrogeo.eu - e-mail: info@ambrogeo.com

Figura 6.2 – sismografo utilizzato per le tomografie

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 rigidità del terreno sono quelle di taglio (S).

Litotipi	Vp [m/s] min-max	Vs [m/s] min-max
<b>TERRENI E ACQUA</b>		
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
<b>ROCCE SEDIMENTARIE</b>		
Argillite	2100 - 4400	550 - 2100
Arenaria	2000 - 6000	950 - 3100
Arenaria fratturata	800 - 2100	360 - 950
Calcere	2000 - 7000	1000 - 3300
Calcere fratturato	750 - 1500	330 - 1000
Calcarene	1400 - 4400	800 - 2500
Calcarene fratturata	600 - 1300	330 - 800
Marna	1500 - 2000	300 - 500
<b>ROCCE IGNEE</b>		
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 6.3 – 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

### 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 RAYFRAC, 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 (**Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**).

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.

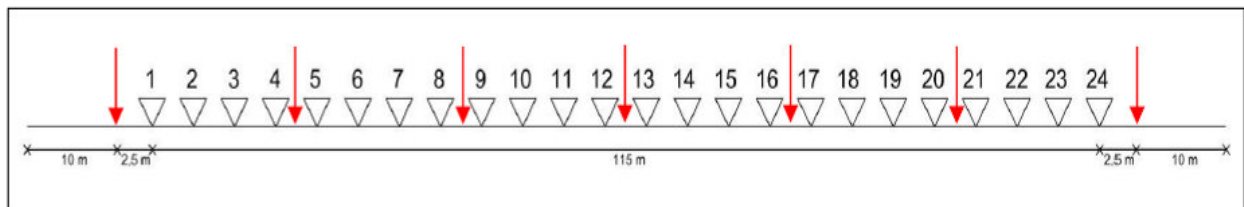


Figura 6.4 – Schema geometrico delle acquisizioni a sismica a rifrazione, i triangoli indicano la posizione dei geofoni, mentre le frecce rosse indicano i punti di energizzazione

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 RAYFRAC 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.

## 6.2 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 RAYFRAC, ha restituito un modello stratigrafico di velocità mediante visualizzazione grafica in 2D.

Nel seguito si riportano gli output delle elaborazioni tomografiche (Figura 6.5 e Figura 6.6) mentre nel capitolo successivo si procederà alla descrizione delle unità sismostratigrafiche rilevate (AE.10.6-Tav.2 sezione geofisica Grifola).



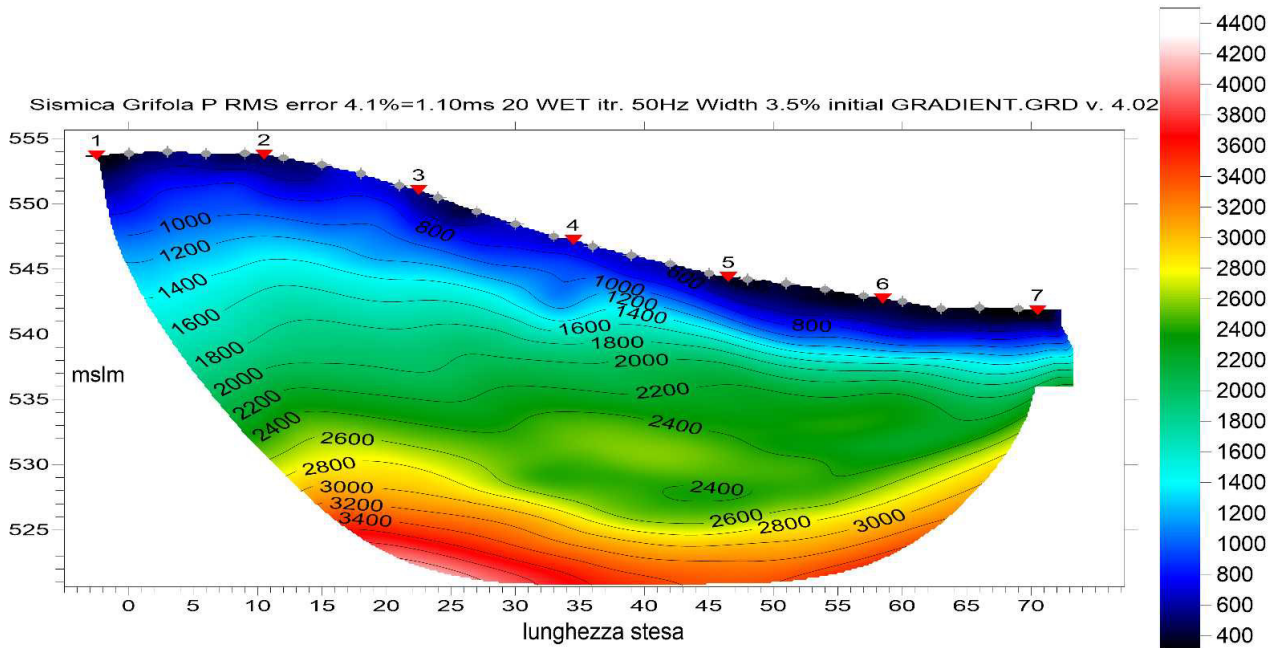


Figura 6.5 – Sezione tomografica onde P

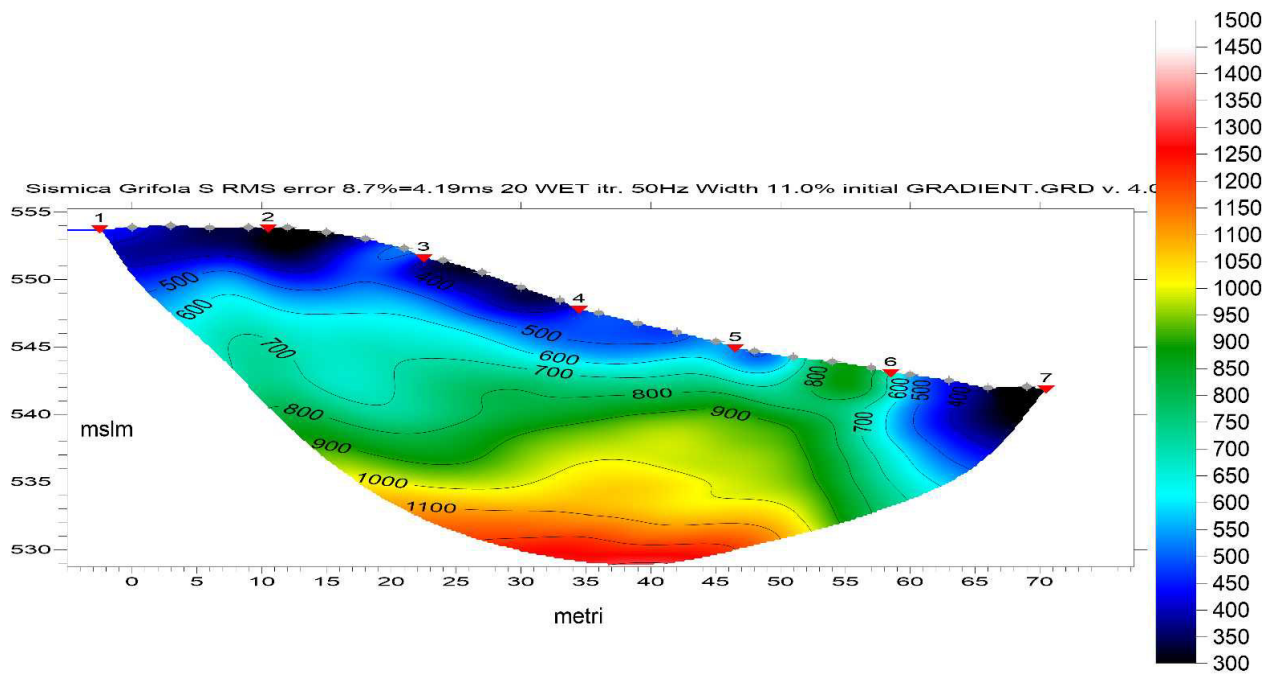


Figura 6.6 – Sezione tomografica onde S



## 7. CARATTERIZZAZIONE MECCANICA

Per la caratterizzazione meccanica delle unità litotecniche ivi presenti si è fatto riferimento a quanto già illustrato nella Relazione Geologica (G-R.1, marzo 2022)

### 7.1 Unità litotecniche

#### 1) UNITA' DEI TERRENI DI COPERTURA

- **TC2: Depositi glaciali e periglaciali (unità c3):** sono presenti nella parte più bassa del versante interessato dalla variante stradale 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 SSi (Argilliti di San Siro):** sono rappresentate localmente da argilliti compatte di colore variabile da grigio chiaro a grigio scuro (SSi(a)) e da argilliti detensionate ed alterate, presenti nelle porzioni più superficiali, con spessori variabili da 3 a 8 metri circa (SSi(b)).

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

- **TC2 Depositi glaciali e periglaciali:** prove penetrometriche dinamiche nella zona della sottostazione utente

Il quadro generale dei parametri nominali geotecnici attribuiti ai terreni di copertura, desunto dalle indagini geognostiche e da dati bibliografici così riassumibile:

VALORI MEDI TERRENI DI COPERTURA												
	V		V <sub>sat</sub>		c <sub>u</sub>		Dr	φ'	E <sub>d</sub>		E	
	t/m <sup>3</sup>	kN/m <sup>3</sup>	t/m <sup>3</sup>	kN/m <sup>3</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kPa	%	°	kg/cm <sup>2</sup>	kPa	kg/cm <sup>2</sup>	kPa
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 risultati delle prove S.P.T. in foro, elaborati con il software SPTcorr.v.4.1.0.9 della GeoLogismiki e completati con dati bibliografici.

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

VALORI SUBSTRATO												
	γ		γ <sub>sat</sub>		c <sub>u</sub>		Dr	φ'	E <sub>d</sub>		E	
	t/m <sup>3</sup>	kN/m <sup>3</sup>	t/m <sup>3</sup>	kN/m <sup>3</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kPa	%	°	kg/cm <sup>2</sup>	kPa	kg/cm <sup>2</sup>	kPa
SL(a)		21.00		20.00		100.00		26.00				
SL(b)		22.00		21.00		319.64	74.68	44.49				20800.00



## 7.2 Sezione geologico-tecnica

Sulla base della classificazione delle unità litotecniche eseguita ed utilizzando i risultati delle indagini geofisiche si è proceduto alla costruzione di una sezione geologico-geotecnica e di una sezione geofisica con onde P e onde S.

La sezione geologico-geotecnica, rappresentata in scala 1:100 (*Figura 7.1* e AE-10.6-Tav.1 – Variante stradale in località Grifola - Sezione geologico-geotecnica), è stata ricostruita secondo la direttrice dell'indagine sismica e riporta i seguenti dati:

- Assetto litostratigrafico con indicazione delle unità litotecniche e relativa stima degli spessori, eseguita con l'aiuto delle sezioni sismostratigrafiche nel seguito descritte;
- Legenda geologica;
- Tabelle parametri geotecnici

UNITA' GEOLOGICHE	
Depositi glaciali e periglaciali (c3)	
TC2	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);
formazione delle "Argilliti di San Siro" (SSI)	
SL	argille intensamente tettonizzate, argilliti - unità costituite prevalentemente da argille intensamente piegate e fratturate (argille scagliose)

## UNITA' GEOTECNICHE

VALORI TERRENI DI COPERTURA											
	$\gamma$		$\gamma_{sat}$		$c_u$		$D_r$	$\varphi'$	$E_d$		$E$
	t/m <sup>3</sup>	kN/m <sup>3</sup>	t/m <sup>3</sup>	kN/m <sup>3</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kPa	%	°	kg/cm <sup>2</sup>	kPa	kg/cm <sup>2</sup> kPa
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

VALORI SUBSTRATO											
	$\gamma$		$\gamma_{sat}$		$c_u$		$D_r$	$\varphi'$	$E_d$		$E$
	t/m <sup>3</sup>	kN/m <sup>3</sup>	t/m <sup>3</sup>	kN/m <sup>3</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kPa	%	°	kg/cm <sup>2</sup>	kPa	kg/cm <sup>2</sup> kPa
SL(a)		21.00		20.00		100.00		26.00			
SL(b)		22.00		21.00		319.64	74.68	44.49			20800.00

Variante stradale in località GRIFOLA  
SEZIONE GEOLOGICA-GEOTECNICA

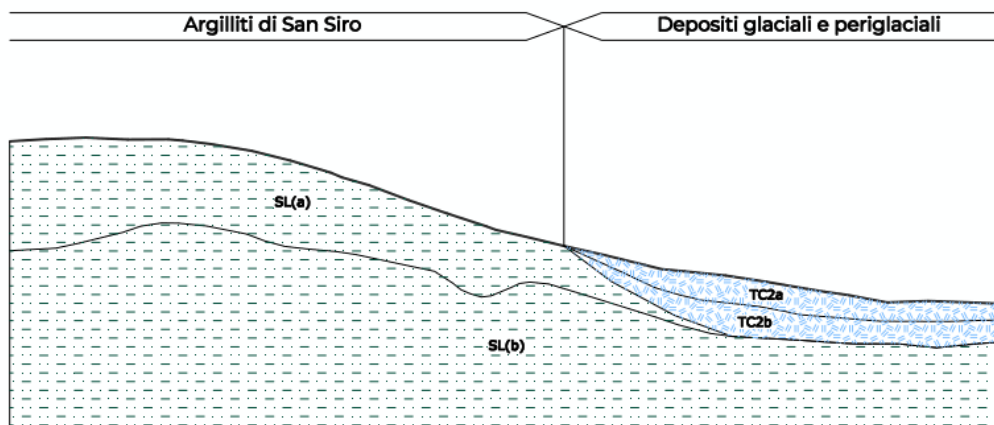


Figura 7.1 – sezione geologico-geotecnica





### 7.3 Sezione geofisica

La sezione geofisica, rappresentata in scala 1:100 (Tavola AE-10.6-Tav.2 – Variante stradale in località Grifola

- Sezione geofisica (onde P e onde S)), riporta i seguenti dati:
- ubicazione dell'area della variante stradale e la traccia della sezione geofisica sovrapposta al progetto;
- legenda delle unità sismostratigrafiche, delle unità geologiche e delle unità geotecniche;
- successione stratigrafica ricostruita con le sezioni tomografiche a rifrazione per le onde P e onde S.

La stratigrafia è stata ricostruita sulla base delle sezioni sismostratigrafiche utilizzando come taratura le informazioni derivanti dalla bibliografia geologica disponibile.

Analizzando la sezione tomografica delle onde P (Figura 7.2), si evidenzia quanto segue:

- lo strato più superficiale (sismostrato 1, con velocità comprese entro i 600 m/s) è presente nella parte più elevata (trattasi evidentemente di copertura vegetale piuttosto spessa) e nella parte bassa del versante, in corrispondenza dei depositi glaciali e periglaciali (facies a – limoso-sabbiosa);
- il secondo sismostrato (2) è riferibile sia alla fascia B dei depositi glaciali e periglaciali (nella parte basale del versante, al di sotto della fascia A) costituita da materiale più grossolano con matrice limoso-sabbiosa sia all'aprozione superficiale delle Argilliti di San Siro, costituita da argille e argilliti tettonizzate; la base di tale sismostrato si approfondisce da 3 a 8 metri circa dal piano di campagna e le velocità variano da 600 a 1200 m/s;
- il terzo e il quarto sismostrato, separati dalla isocrona 1800 m/s, sono ascrivibili alle litologie più compatte delle Argilliti di San Siro che, nelle parti più profonde, raggiungono valori elevati (> 3000 m/s).

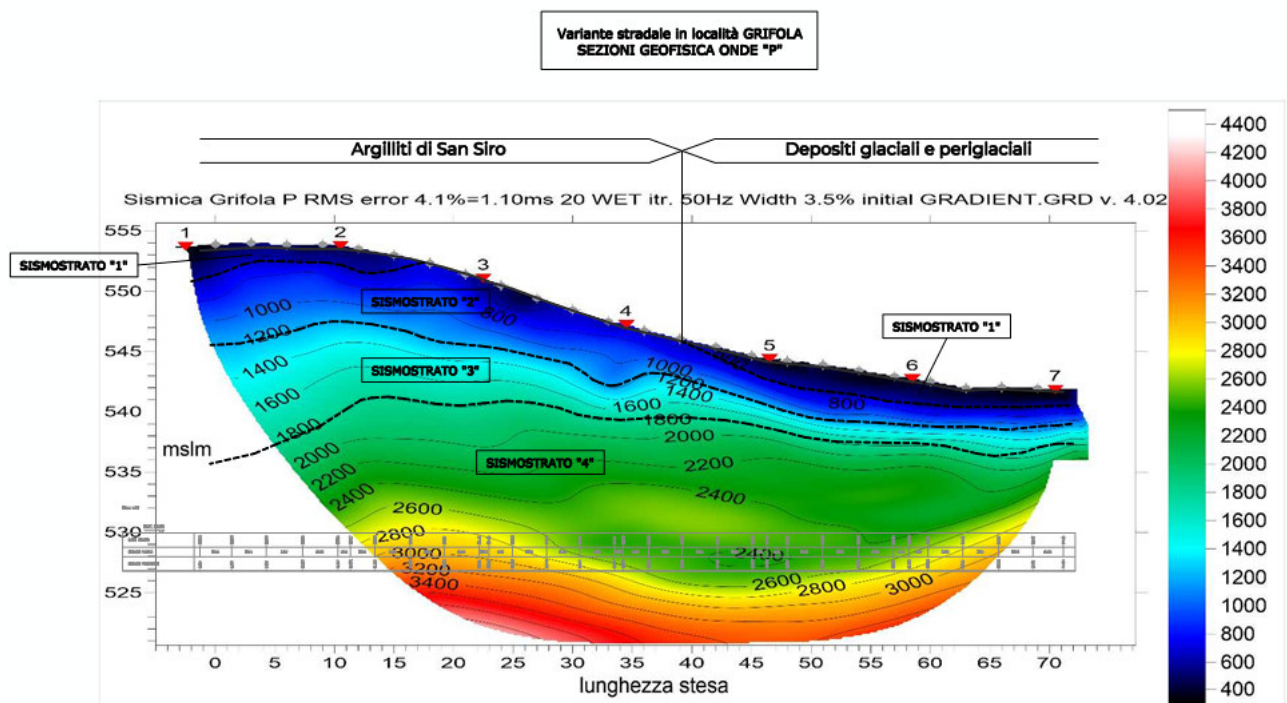


Figura 7.2 – sezione sismica onde P

L'analisi della sezione tomografica delle onde S (Figura 7.3) evidenzia 3 sismostrati:

- Il primo sismostrato presenta velocità comprese fra 300 e 600 m/s e denota uno spessore molto maggiore nella zona alla sommità del versante (6-8 m) e in quella basale (depositi glaciali e



periglaciali), dove gli spessori sembrano addirittura aumentare; nella zona prossima a quella basale appena citata, si osserva un'interruzione del primo sismostrato per la risalita al piano di campagna del 2° sismostrato;

- Il secondo sismostrato, con velocità compresa fra 600 e 800, presenta spessori più elevati nella zona di monte (Argilliti di San Siro) e si rastrema nella zona centrale e basale con spessori variabili da 2,5 a 3,5 m; in questa zona, come citato, affiora fino al piano di campagna;
- Il terzo sismostrato, con velocità superiori agli 800 m/s, è presente a profondità variabili da 14m (lato di monte) a 3,5 m (lato di valle); nella parte basale si approfondisce con andamento pseudo verticale, lasciando il posto ai primi due sismostrati.

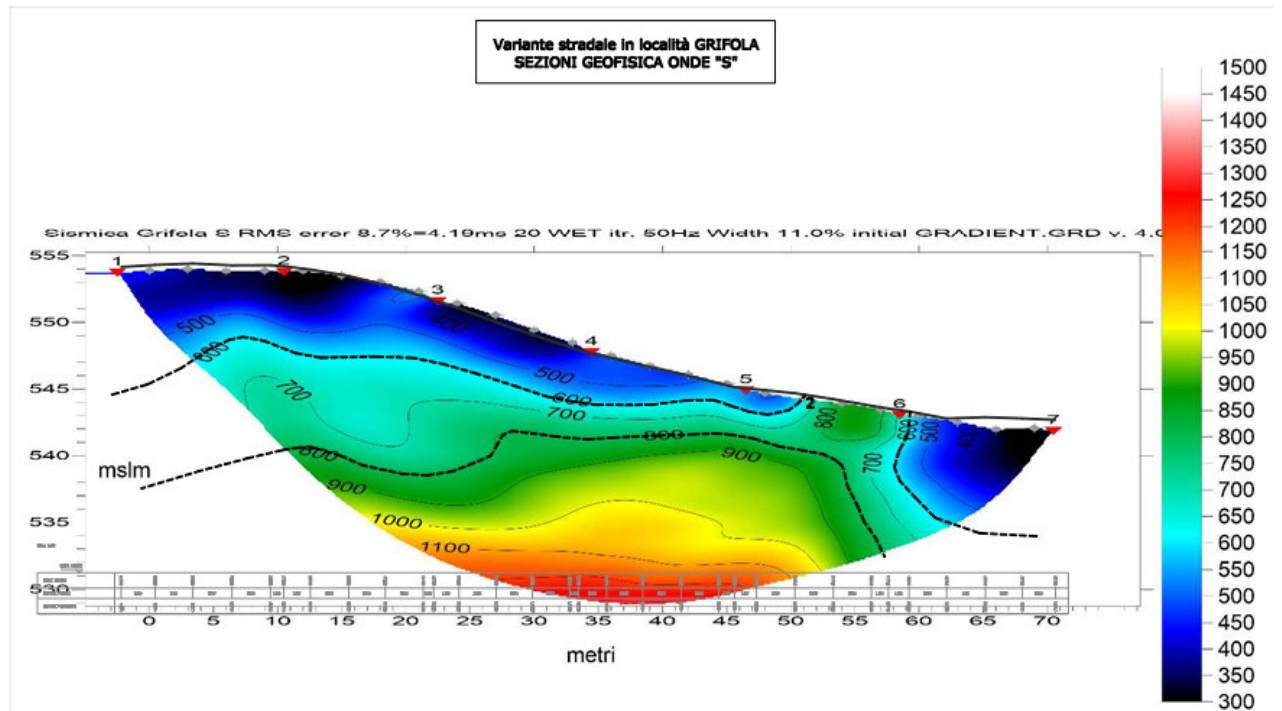


Figura 7.3 – sezione sismica onde S



## 8. VERIFICA DI STABILITA'

### 8.1 Descrizione metodo di calcolo

La verifica alla stabilità del pendio deve fornire un coefficiente di sicurezza non inferiore a  $gR$ .

Viene usata la tecnica della suddivisione a strisce della superficie di scorrimento da analizzare.

In particolare il programma esamina un numero di superfici che dipende dalle impostazioni fornite e che sono riportate nella corrispondente sezione. Il processo iterativo permette di determinare il coefficiente di sicurezza di tutte le superfici analizzate.

Nella descrizione dei metodi di calcolo si adotterà la seguente simbologia:

$l$	lunghezza della base della striscia
$a$	angolo della base della striscia rispetto all'orizzontale
$b$	larghezza della striscia $b=l \times \cos(a)$
$f$	angolo di attrito lungo la base della striscia
$c$	coesione lungo la base della striscia
$g$	peso di volume del terreno
$u$	pressione neutra
$W$	peso della striscia
$N$	sforzo normale alla base della striscia
$T$	sforzo di taglio alla base della striscia
$E_s, E_d$	forze normali di interstriscia a sinistra e a destra
$X_s, X_d$	forze tangenziali di interstriscia a sinistra e a destra
$E_a, E_b$	forze normali di interstriscia alla base ed alla sommità del pendio
$DX$	variazione delle forze tangenziali sulla striscia $DX = X_d - X_s$
$DE$	variazione delle forze normali sulla striscia $DE = E_d - E_s$

#### Metodo di Sarma

Il **metodo di Sarma** permette di determinare un determinato valore per un'accelerazione orizzontale uniforme che sarà la causa del cedimento del pendio (accelerazione critica  $k$ ).

Per determinare un coefficiente di sicurezza ordinario, si opera riducendo i parametri di resistenza del terreno fino a quando si richiede un fattore di accelerazione orizzontale pari a zero.

Le equazioni da prendere in considerazione sono: l'equazione di equilibrio alla traslazione orizzontale e verticale nonché l'equazione di equilibrio dei momenti. Di seguito vengono riportate le equazioni.

Condizioni di equilibrio alla traslazione orizzontale e verticale:

$$\begin{aligned} N_i \cos a_i + T_i \sin a_i &= W_i - DX_i \\ T_i \cos a_i - N_i \sin a_i &= k W_i + DE_i \end{aligned}$$

Dalla prima di questa relazione insieme al criterio di Mohr-Coulomb, che mette in relazione le forze  $N$  e  $T$ :

$$T_i = (N_i - U_i) \tan f_i + c_i b_i / \cos a_i$$

si ottiene l'espressione per la sostituzione di entrambe le forze  $N$  e  $T$  nella seconda equazione cioè:

$$N_i = \frac{(W_i - DX_i - c_i b_i \tan a_i + U_i \tan f_i \sin a_i) \cos f_i}{\cos a_i \cos f_i + \sin f_i \sin a_i}$$



La seconda equazione diventa:

$$T_i = \frac{(W_i - DX_i - U_i \cos a_i) \sin f_i - c_i b_i \cos a_i}{\cos a_i \cos f_i + \sin f_i \sin a_i}$$

la quale fornisce un'espressione per la massima forza sismica orizzontale che può essere sopportata **KW<sub>i</sub>** che è la seguente:

$$kW_i = D_i - DE_i - DX_i \tan (f_i - a_i)$$

nella quale **D<sub>i</sub>** ha l'espressione:

$$D_i = W_i \tan (f_i - a_i) + \frac{c_i b_i \cos f_i / \cos a_i + U_i \sin f_i}{\cos f_i \cos a_i + \sin f_i \sin a_i}$$

Tutte le grandezze contrassegnate con il pedice **i** sono da intendersi riferite alla striscia **i-esima**. A questo punto i valori ottenuti per tutte le strisce possono essere sommati per ottenere la forza sismica orizzontale totale **kSW<sub>i</sub>**. Fatto ciò si trova che la somma **SDE** deve essere nulla. Anche **SDX** deve esserlo, ma quando i termini individuali vengono moltiplicati per un diverso coefficiente si ottiene un risultato diverso da zero. Quindi:

$$SDX_i \tan (f_i - a_i) + SkW_i = SD_i \quad (A)$$

L'espressione dell'equilibrio del momento rispetto al centro di gravità della massa che scivola è data da:

$$S(T_i \cos a_i - N_i \sin a_i)(y_i - y_g) + S(N_i \cos a_i + T_i \sin a_i)(x_i - x_g) = 0$$

Nell'espressione **x<sub>i</sub>** ed **y<sub>i</sub>** sono le coordinate del punto medio della base della striscia.

Con la scelta del punto al quale è riferita l'espressione dei momenti, si annullano le somme di **W** e **KW**. Inoltre le forze di interstriscia non danno momento.

La condizione del momento, tenendo conto dell'espressione **(A)** e della relazione di Mohr-Coulomb, può essere riscritta come:

$$SDX_i[(y_i - y_g) \tan (f_i - a_i) + (x_i - x_g)] = SW_i (x_i - x_g) + SD_i (y_i - y_g)$$

**Sarma** definisce ogni **DX** nella forma:

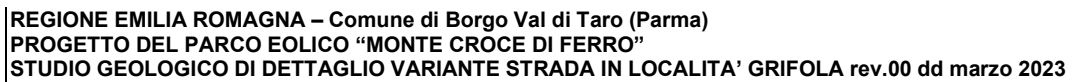
$$DX = ly_i$$

in cui **y<sub>i</sub>** è noto e **Sy<sub>i</sub> = 0**.

A questo punto le due equazioni che permettono la soluzione del problema sono:

$$\begin{aligned} ISy_i \tan (f_i - a_i) + k SW_i &= SD_i \\ ISy_i [(y_i - y_g) \tan (f_i - a_i) + (x_i - x_g)] &= SW_i (x_i - x_g) + SD_i (y_i - y_g) \end{aligned}$$

Da queste due equazioni si ricavano:



$$k = \frac{(SD_i - |S_{y_{bi}}| \tan (f_i - a_i))}{SW_i}$$



Nr.	Indice del terreno
Descrizione	Descrizione terreno
$g$	Peso di volume del terreno espresso in kg/mc
$g_w$	Peso di volume saturo del terreno espresso in kg/mc
$f$	Angolo d'attrito interno 'efficace' del terreno espresso in gradi
$c$	Coesione 'efficace' del terreno espressa in kg/cm <sup>2</sup>
$f_u$	Angolo d'attrito interno 'totale' del terreno espresso gradi
$c_u$	Coesione 'totale' del terreno espressa in kg/cm <sup>2</sup>

n	Descrizione	$g$ [kg/mc]	$g_{sat}$ [kg/mc]	$f$ [ ]	$c'$ [kg/cm <sup>2</sup> ]
1	Terreno TC2a	1938	2092	25.44	0.210
2	Terreno TC2b	2194	2353	31.35	0.550
3	Terreno SL(a)	2100	2200	26.00	0.500

**FALDA:** pochissime sono le informazioni relative alla falda; per cautela le verifiche sono state eseguite ipotizzando la falda al piano di campagna all'interno dei depositi glaciali e periglaciali e con andamento pseudo superficiale nelle Argilliti di San Siro;

#### SISMICA:

	Simbolo	U.M.	SLV	SLD
Accelerazione al suolo	$a_g$	[m/s <sup>2</sup> ]	1.971	0.765
Accelerazione al suolo	$a_g/g$	[%]	0.201	0.078
Massimo fattore amplificazione spettro orizzontale	$F_0$		2.405	2.415
Periodo inizio tratto spettro a velocità costante	$T_c^*$		0.277	0.245
Tipo di sottosuolo - Coefficiente stratigrafico	$S_s$	C	1.000	1.000
Categoria topografica - Coefficiente amplificazione topografica	$S_t$	T1	1.000	1.000
Coefficiente riduzione pendio naturale	$b_s$		0.300	0.300
Coefficiente riduzione fronti di scavo	$b_s$		0.380	0.470
Rapporto intensità sismica verticale/orizzontale			0.50	0.50

#### NORMATIVA:

##### Norme Tecniche sulle Costruzioni 2018 - D.M. 17/01/2018

Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni:

Carichi	Effetto	Simbologia	A2 Statico	A2 Sismico
Permanenti	Favorevole	$g_{Gfav}$	1.00	1.00
Permanenti	Sfavorevole	$g_{Gs fav}$	1.00	1.00
Variabili	Favorevole	$g_{Qfav}$	0.00	0.00
Variabili	Sfavorevole	$g_{Qs fav}$	1.30	1.00

Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno:

Parametri	Simbologia	M2 Statico	M2 Sismico
Tangente dell'angolo di attrito	$g_{tan f}$	1.25	1.00
Coesione efficace	$g_{c'}$	1.25	1.00
Resistenza non drenata	$g_{cu}$	1.40	1.00
Peso dell'unità di volume	$g_g$	1.00	1.00



### SUPERFICI DI ROTTURA:

Si considerano delle superfici di rottura circolari generate tramite la seguente maglia dei centri

Si considerano delle superfici di rottura circolari generate tramite la seguente maglia dei centri

Origine maglia [m]  $X_0 = 0.00$   $Y_0 = 70.00$

Passo maglia [m]  $dX = 2.00$   $dY = 2.00$

Numero passi  $N_x = 20$   $N_y = 20$

Si utilizza un raggio variabile con passo  $dR=0.50$  [m] ed un numero di incrementi pari a 20

Si considerano le superfici passanti per il punto P(10.00, 40.00) aventi centri sulla maglia

### OPZIONI DI CALCOLO:

Per l'analisi sono stati utilizzati i seguenti metodi di calcolo:

- SARMA

Le superfici sono state analizzate sia in condizioni **statiche** che **sismiche**.

- Sisma orizzontale e Sisma verticale (verso il basso e verso l'alto)

Analisi condotta in termini di **tensioni efficaci**

Presenza di falda

### RISULTATI DELLE ANALISI:

Numero di superfici analizzate 2400

Coefficiente di sicurezza minimo 2.308

Superficie con coefficiente di sicurezza minimo 1

#### Quadro sintetico coefficienti di sicurezza

Metodo	Nr. superfici	FS <sub>min</sub>	S <sub>min</sub>	FS <sub>max</sub>	S <sub>max</sub>
SARMA	2400	2.308	2	48.685	2400

La geometria della superficie di rottura circolare con coefficiente di sicurezza minimo è rappresentata in *Figura 8.2*.

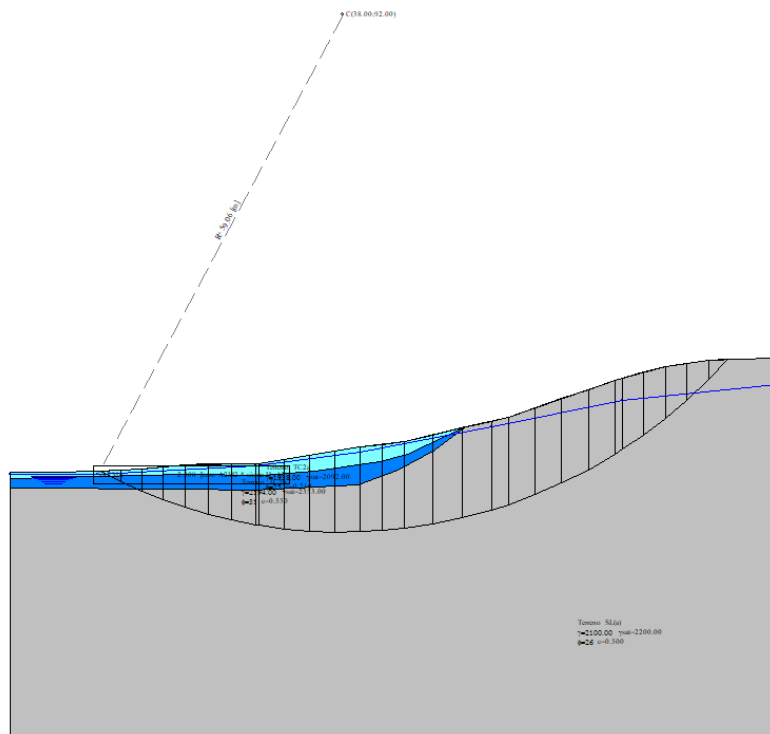


Figura 8.2 – superficie critica





## 9. CONCLUSIONI

Il presente elaborato illustra lo studio geologico di dettaglio eseguito per l'intervento della variante stradale di Grifola, previsto nel progetto di costruzione del Parco Eolico “**Monte Croce di Ferro**”, proposta dalla società Borgotaro Wind, così come richiesto nella nota prot. 8492/4.2 trasmessa in data 5/12/2022 da parte dell'Unione dei Comuni Valli Taro e Ceno.

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 poiché 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, integrate con esecuzione di indagini geofisiche (stendimenti sismici con restituzione tomografica dell'andamento delle onde P e S).

Lo studio eseguito ha permesso di evidenziare quanto segue:

- la variante stradale interessa un versante con pendenze blande che si sviluppa nella parte bassa all'interno dei **Depositi glaciali e periglaciali** (c3 - detrito sciolto a struttura caotica con clasti eterometrici inglobati in matrice limoso-sabbiosa o limo-argillosa e con stratificazione mal visibile.) e nella parte mediana ed elevata nella formazione delle **Argilliti di San Siro** (SSi - argille intensamente tettonizzate e da argilliti);
- l'analisi della **Carta del dissesto del P.T.C.P. (Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale) della Provincia di Parma (Tavola C2 sezione n 216100, variante specifica di aggiornamento 2013-2014)** evidenzia che gran parte della variante si sviluppa in area bianca (nessuna evidenza di pericolosità geomorfologica – parte mediana ed elevata, all'interno delle Argilliti di San Siro) e solo nella parte bassa è presente il retino ascrivibile a deposito di versante. Quest'ultimo è classificato tra le **aree a pericolosità geomorfologica moderata**, regolate dall'articolo 22bis delle Norme Tecniche Attuative del P.T.C.P. della Provincia di Parma, che non è ostativo all'esecuzione dell'intervento;
- lo stendimento sismico a rifrazione con rilievo delle onde P e onde S ha permesso di restituire le tomografie lungo lo sviluppo longitudinale del tracciato di variante che, unito alle informazioni litologiche e geotecniche, ha consentito di modellare la stratigrafia del sito;
- si evidenzia che la variante stradale impatta sul versante vallivo seguendo l'acclività naturale nella parte bassa mentre nella parte centrale e sommitale si sviluppa in trincea, con conseguente “scarico” delle masse sul profilo di massima pendenza e miglioramento della statica del versante;
- è stata eseguita una verifica di stabilità del versante utilizzando il profilo longitudinale di progetto; la verifica, eseguita con assunzioni cautelative (falda al piano campagna nei depositi glaciali e periglaciali e prossima al pc. nelle Argilliti di San Siro, utilizzo dei parametri geotecnici della sola formazione SL(a), facies alterata e tettonizzata delle Argilliti di San Siro) ha fornito esito positivo; sono state analizzate 7820 superfici di rottura e quella a minor coefficiente di sicurezza è risultata pari a 2,31.

A conclusione dello studio si ritiene che le condizioni geologico-geotecniche presenti nell'area di progetto non incidano negativamente sulla fattibilità dell'intervento, fatta salva la realizzazione degli interventi di raccolta e regimazione delle acque superficiali così come già previsto nel progetto.