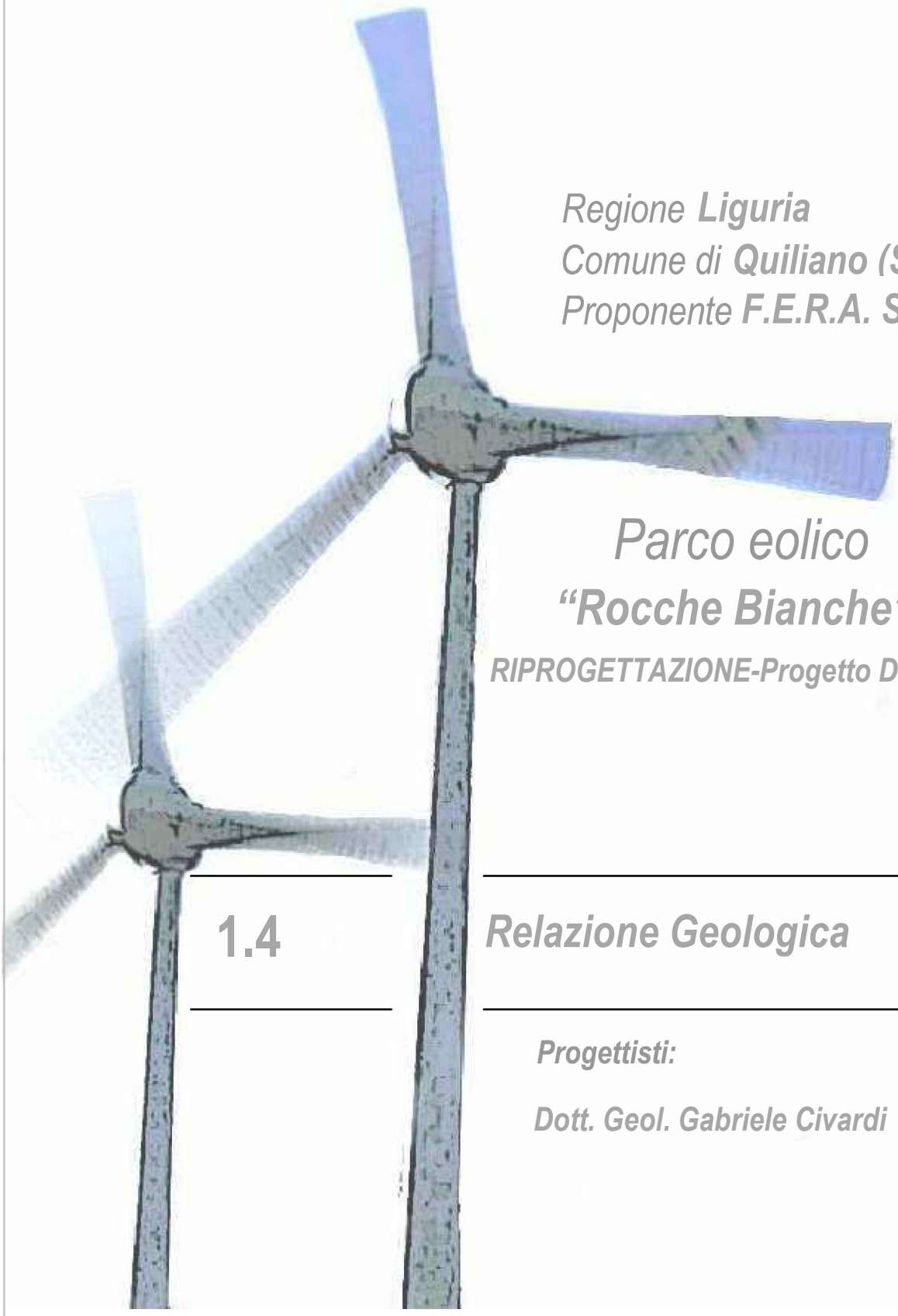
Fabbrica Energie Rinnovabili Alternative
GENERAZIONE POSSIBILE

Fabbrica Energie Rinnovabili Alternative S.r.l.
Piazza Cavour, 7 - 20121 Milano
T: +39 02 62690471 F: +39 02 32066804
info@ferasrl.it; www.ferasrl.it
P.IVA 13393960151

Azienda con sistema di gestione qualità
certificato UNI EN ISO 9001:2008
certificatI n. 501008849 e 501008850



Regione **Liguria**
Comune di **Quiliano (SV)**
Proponente **F.E.R.A. S.r.l.**

Parco eolico
"Rocche Bianche"

RIPROGETTAZIONE-Progetto Definitivo

1.4 Relazione Geologica

Progettisti:

Dott. Geol. Gabriele Civardi

Data	Rev.	Descrizione	Elaborato	Controllato	Approvato
Marzo 2013	A	Prima emissione	G. Civardi	G. Civardi	G. Civardi

Comm. 37 **Elaborato: IDC-1.4_Relazione Geologica.doc**

E' vietata la riproduzione del presente documento, anche parziale, con qualsiasi mezzo, senza l'autorizzazione di F.E.R.A. S.r.l.

DOTT. GEOL. GABRIELE CIVARDI
Geologia – Idrogeologia – Geofisica
Acustica ambientale
Sicurezza del lavoro

COMUNE DI QUILIANO

Provincia di Savona

Oggetto:
Relazione geologica inerente la costruzione di un impianto eolico in Comune di Quiliano (SV).

Contenuto:
RELAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA

Committente:
F. E. R. A. Fabbrica Energie Rinnovabili Alternative S.r.l.

Data
Genova, Marzo 2013

N° lavoro
98D/G

STUDIO TECNICO DI GEOLOGIA
Corso Perrone 15 16152 – GENOVA
CELL 3491720806 – PI 01488490994 - E-Mail gabriele.civardi@gmail.com

INDICE

1 – PREMESSA *1*

2 – ESAME DEL PROGETTO *2*

3 - INQUADRAMENTO IDRO - GEO - MORFOLOGICO *3*

4 - PROVE IN SITO *5*

4.1 – Campagna di indagini geofisiche svolte **5**

5 - NOTE GEOTECNICHE *7*

5.1 - Coltre **7**

5.2 – Substrato roccioso **7**

5.3 – Dati geotecnici di sintesi **8**
5.3.1 - Coltre 8
5.3.2 – Cappellaccio di alterazione 8
5.3.3 – Substrato roccioso 8

5.4 – Caratterizzazione sismica del suolo **9**

6 - INDICAZIONI OPERATIVE *9*

6.1 – Scavi **10**

6.2 – Edificazione **10**

6.3 – Realizzazione del nuovo tratto stradale **11**

6.4 – Riempimenti **11**

7 – ASPETTI AMMINISTRATIVI *12*

7.1 – Vincolo idrogeologico **12**

7.2 – Piano di Bacino del Torrente Segno **12**

8 – CONCLUSIONI *13*

ALLEGATI

- ✓ **TAVOLA A: Carta geologica**
- ✓ **TAVOLA B: Stralcio della carta della suscettività al dissesto dei versanti**
- ✓ **Sezioni geologiche interpretative**
- ✓ **Risultati campagna di indagini geofisiche**

STUDIO TECNICO DI GEOLOGIA
Corso Perrone 15 16152 – GENOVA
CELL 3491720806 – PI 01488490994 - E-Mail gabriele.civardi@gmail.com

1 – PREMESSA

La società F. E. R. A. S.r.l. ha intenzione di porre in opera un impianto eolico costituito da quattro torri eoliche all'interno del territorio comunale di Quiliano. I quattro aerogeneratori verranno collocati lungo il crinale che parte da Monte Nafaè per poi giungere alla Cima delle Rocche Bianche.

A tale riguardo lo scrivente tecnico è stato incaricato di eseguire le opportune indagini, al fine di evidenziare eventuali problematiche di ordine geologico e geotecnica, oltre che indicare i principali parametri che caratterizzano il substrato dell'area dove verrà realizzato il nuovo impianto.

Le caratteristiche geomorfologiche ed idrogeologiche dell'area in oggetto e di un suo intorno significativo sono state evidenziate attraverso osservazioni di campagna, sulla base della cartografia tecnica regionale e ancora attraverso la comparazione con situazioni note in zone limitrofe.

Per quanto riguarda la definizione della stratigrafia dei terreni interessati dall'intervento è stato ritenuto necessario effettuare una campagna di indagini geofisiche, tramite l'esecuzione di 4 stese di sismica a rifrazione e 5 stese Masw. Si valuterà in accordo con i progettisti l'eventualità di svolgere altri tipi di prove (sondaggi a carotaggio continuo) durante la fase esecutiva.

Dall'esame dei risultati, non si ritiene necessario eseguire ulteriori indagini geotecniche, rimandando alla fase esecutiva l'eventuale messa in opera delle suddette prove.

La presente relazione tecnica rappresenta un ampliamento di una precedente campagna di indagini svolte per un progetto che prevedeva la messa in opera di sei torri eoliche.

2 – ESAME DEL PROGETTO

Il progetto prevede la realizzazione di un parco eolico tramite la costruzione di quattro torri eoliche. Il nuovo impianto prevede la messa in opera di aerogeneratori tripala di potenza nominale pari a 2300 KW.

Il parco eolico sarà collegato alla rete elettrica nazionale tramite un cavidotto MT che raggiungerà la sottostazione presente in loc. Bossarino in Comune di Vado Ligure, dove avverrà l'elevazione MT/AT e la successiva immissione in rete dell'energia prodotta. La linea elettrica che unirà le singole torri alla sottostazione sarà completamente interrata.

Per quanto riguarda la via di accesso alle torri, sarà realizzato un adeguamento di un percorso sterrato già esistente, oltre alla realizzazione di un nuovo breve tratto di strada per il raggiungimento delle quattro torri.

L'intervento prevede sbancamenti per un totale pari a circa 6000 m^3 in banco. Per ogni piazzola gli sbancamenti saranno caratterizzati da una forma in pianta pressoché circolare. Gli scavi avranno un fronte massimo di altezza pari a circa 7 m.

Per quanto riguarda il cavidotto interrato, è previsto un percorso di lunghezza pari a circa 5,6 Km, comprensivi dei tratti interni al Parco, caratterizzato da uno scavo a sezione obbligata di profondità massima pari a 1.5 m e larghezza di circa 0.5 m, da eseguirsi lungo la strada esistente di accesso all'area.

Le terre e rocce derivanti dagli scavi verranno in parte riutilizzate in loco per l'esecuzione dei riporti previsti dal progetto e che riguardano la realizzazione delle piazzole delle torri eoliche, il rinterro delle fondazioni e l'adeguamento della strada di accesso.

3 - INQUADRAMENTO IDRO - GEO - MORFOLOGICO

L'area di intervento è individuata, sulla Cartografia Tecnica Regionale in scala 1:10000 sul foglio Quiliano (229090). Più precisamente il sito in oggetto si trova lungo la linea di crinale che congiunge la Cima delle rocche Bianche (550 m s.l.m.) a Monte Nafaè (549 m s.l.m.), nel Comune di Vado Ligure.

La zona sommitale dei rilievi appare sub pianeggiante, mentre i versanti sono caratterizzati da notevoli pendenze. Il versante verso sud è caratterizzato da una acclività media del 25%, mentre quello nord presenta una acclività del 20%.

Il settore non appare urbanizzato.

Le acque superficiali vengono regimate dai numerosi impluvi naturali, che trovano origine lungo i pendii.

La notevole pendenza dei versanti, unitamente alla presenza di numerosi rii naturali ha permesso di modellare i versanti, dando origine ad una morfologia marcata da erosioni torrentizie ad andamento all'incirca rettilineo ed a breve sviluppo lineare. Le pendenze delle varie aste torrentizie risultano molto acclivi con scarso deflusso a carattere stagionale.

La roccia costituente il substrato dell'area in esame appartiene alla formazione degli Scisti di Gorra.

Si tratta di metasedimenti fini appartenenti alle formazioni sedimentarie permo – carbonifere, di origine in gran parte vulcanica ed in parte sedimentaria continentale.

In particolare gli Scisti di Gorra sono costituiti da rocce chiare, fini, di diversa origine: sedimenti composti da quarzo, miche e cloritoide, con tormalina e rutilo spesso abbondanti derivanti da energica alterazione chimica di depositi continentali; prodotti di rimaneggiamento di vulcaniti acide; piroclastiti. Gli spessori sono spesso variabili, ma sempre dell'ordine di alcune centinaia di metri.

I sopraluoghi effettuati hanno permesso di osservare che il substrato roccioso così definito risulta affiorante o subaffiorante. Le coltri individuate sono di natura detritico-colluviale di spessore massimo di circa 1 m, classificabili geotecnicamente come una ghiaia sabbiosa con scarsa frazione fine.

Le analisi svolte hanno permesso di accertare le condizioni di equilibrio geomorfologico diffuse e puntuali: per la zona in esame non sono stati riscontrati significativi fenomeni di instabilità.

Si può quindi affermare come l'area oggetto d'intervento sia sostanzialmente stabile e non mostri evidenze di dissesti potenziali o in atto.

Come detto l'area è caratterizzata dalla presenza di numerosi Rii, le cui sorgenti si individuano lungo i versanti del crinale oggetto di studio.

Lungo il versante nord la regimazione delle acque superficiali è regolata da numerosi impluvi, tributari in sponda destra del Torrente Quiliano. Mentre lungo il versante sud le acque vengono convogliate verso Torrente Segno.

Per quanto riguarda i fattori che condizionano la circolazione delle acque nel sottosuolo va detto che questi sono essenzialmente legati alle caratteristiche idrogeologiche delle rocce ed ai rapporti stratigrafici e tettonici esistenti tra complessi a diversa permeabilità relativa.

Nell'area in esame si ipotizza l'esistenza di un sensibile contrasto di permeabilità tra la coltre detritica (costituita da depositi detritico-colluviali perlopiù grossolani) ed il substrato roccioso. Infatti, mentre la coltre è da considerarsi sostanzialmente permeabile per porosità, i metasedimenti sono pressoché impermeabili o moderatamente permeabili per fessurazione, in relazione al grado di fratturazione della roccia.

4 - PROVE IN SITO

Tenendo conto delle conoscenze geologiche in possesso dello scrivente e della bibliografia esistente riferita all'area esaminata è stato ritenuto sufficiente effettuare 4 stese di sismica a rifrazione e 5 prove MASW. Come detto le prove sono state svolte presso le aree in cui verranno realizzati gli aerogeneratori e presso i settori in cui si realizzerà il nuovo tratto viario.
Lo scopo delle prove era quello di definire la stratigrafia dei vari settori e la definizione del parametro V_{s30} dei vari terreni incontrati. Il dettaglio delle prove svolte viene riportato in allegato.

4.1 – Campagna di indagini geofisiche svolte

Durante lo svolgimento di una prima campagna di indagini, sono state realizzate 4 stese a rifrazione (nuovo tratto stradale e Torri 1,3 e 4), anche al fine di parametrizzare il modello iniziale per la successiva fase di elaborazione dei dati (MASW); tali prove hanno previsto l'utilizzo di 24 canali, con spaziatura geofonica di 1.5 m in modo da ottenere la migliore copertura possibile dell'area in oggetto. Sono stati eseguiti 7 tiri, al fine di valutare anche possibili variazioni laterali di velocità dei terreni indagati. La sorgente di energizzazione utilizzata e' stata una mazza da 8 kg, battente su di una piastra d'alluminio.

Successivamente è stata effettuata la prova MASW impiegando una stesa variabile tra i 33 ed i 44 canali, acquisita in *roll-along* con spaziatura geofonica di 1.5 metro ed utilizzando come sorgente di *ground-roll (prevalentemente onde di Rayleigh)* la mazza da 8 kg impiegata altresì per la stesa a rifrazione.
In una seconda fase è stata realizzata una stesa di sismica (Torre 2) utilizzando il Tromino, tromografo digitale progettato specificamente per

l’acquisizione del rumore sismico, ma utilizzabile anche per la realizzazione di stese di sismica attiva.
Lo strumento (10 x 7 x 14 cm per 1,1 kg di peso) è dotato di tre sensori elettrodinamici (velocimetri) orientati N-S, E-W e verticalmente, alimentato da 2 batterie AA da 1.5 V.
Le indagini svolte hanno permesso di realizzare analisi del terreno tipo MASW e tipo H/V.
I dati misurati dal Tromino, amplificati e digitalizzati a 24 bit equivalenti, sono stati acquisiti alla frequenza di campionamento di 512 Hz per la MASW, mentre a 128 Hz per la H/V.
Le prove MASW hanno previsto l’esecuzione di stese di lunghezza pari a 20 metri e lo svolgimento di 7 tiri, con spaziatura di 3 m in modo da ottenere la migliore copertura possibile dell'area in oggetto.

La scelta del sito:

L'ubicazione delle prove è stata stabilita in base alle esigenze progettuali e ai limiti imposti dalle caratteristiche del sito in oggetto.
In particolare le stese che interessavano le piazzole sono state svolte in modo tale che passassero attraverso il centro della fondazione della torre, mentre la stesa fatta per il nuovo tratto stradale è stata svolta longitudinalmente al nuovo tracciato previsto.
La lunghezza delle stese e quindi la profondità di investigazione è stata scelta sito per sito in base alle osservazioni dirette, che hanno permesso di individuare o meno la roccia affiorante: in ogni caso si è sempre raggiunta la roccia sana, in modo da caratterizzare coltre, cappellaccio e substrato.

I risultati:

Le prove hanno permesso di individuare uno spessore massimo per la coltre pari ai circa 4 m, al di sotto di questa si individua un cappellaccio di alterazione che in certi casi ha raggiunto una potenza pari a 4.5 m.

5 - NOTE GEOTECNICHE

Le considerazioni riportate nel presente paragrafo riguardano l'area dell'intervento a progetto.
Lo studio è stato svolto al fine di evidenziare i principali parametri geotecnici sia del substrato roccioso sia della coltre stessa.

5.1 - Coltre

Si tratta di un deposito di natura eluvio-colluviale parzialmente rimaneggiato caratterizzato da una potenza mai superiore a 4 m. Le osservazioni effettuate in sito hanno indicato un terreno prevalentemente sabbioso-ghiaioso, con bassa percentuale di frazione fine di tipo limoso-argilloso.

5.2 – Substrato roccioso

Si tratta, come già descritto all'interno della relazione geologica, di rocce appartenenti alla formazione degli Scisti di Gorra.
I valori dei principali parametri geotecnici della roccia (peso di volume, angolo di attrito e coesione) sono stati valutati in base all'esperienza personale, in accordo con i numerosi dati reperibili in letteratura, e vengono riportati nel seguente § 4.3.3.

5.3 – Dati geotecnici di sintesi

Basandosi su esperienze precedenti dello scrivente in terreni di aree limitrofe o dalle caratteristiche analoghe, oltreché sui dati di bibliografia e dalle prove svolte in sito, ai vari livelli individuati sono stati attribuiti i seguenti parametri geotecnici:

5.3.1 - Coltre

Granulometria: ghiaia sabbiosa con scarsa frazione fine (classe SW del sistema USCS)
Stato di addensamento: sciolto
Densità relativa (Dr): 25%
Peso di volume (γ): 1,6 t/m^3
Peso di volume saturo (γ): 1,9 t/m^3
Angolo di attrito efficace (ϕ'): 30°
Coesione: 0 Kg/cm^2

5.3.2 – Cappellaccio di alterazione

Peso di volume (γ): 2,2 t/m^3
Peso di volume saturo (γ): 2,3 t/m^3
Angolo di attrito (ϕ): 40°
Coesione: 0.5 Kg/cm^2

5.3.3 – Substrato roccioso

Peso di volume (γ): 2,5 t/m^3
Angolo di attrito (ϕ): 44°
Coesione: 0.8 Kg/cm^2

5.4 – Caratterizzazione sismica del suolo

Sulla base del D. M. 16 Gennaio 1996 " Norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche", in particolare all' Ord. P. C. M. del 20 Marzo 2003 n° 3274, allegato 2 e successive modifiche ed integrazioni, si è proceduto alla classificazione del suolo di fondazione sul quale insisteranno le nuove opere.
L'area in cui verrà realizzato l'impianto eolico è classificata in base alla classificazione sismica nazionale in **zona 3**.
In valori di V_{s30} come già indicato sono stati desunti tramite le prove geofisiche svolte in sito e possono essere così riassunti per ogni aerogeneratore:

V_{s30} AG1: 430 m/s
V_{s30} AG2: 280 m/s
V_{s30} AG3: 320 m/s
V_{s30} AG4: 500 m/s
V_{s30} strada: 430 m/s

6 - INDICAZIONI OPERATIVE

Il progetto prevede, come già accennato, scavi di sbancamento pari a circa 6000 m^3 da eseguire in banco. Gli scavi previsti hanno come fine la preparazione del sedime per la posa in opera delle fondazioni, l'adeguamento della strada esistente e la realizzazione di un nuovo tratto stradale. L'altezza massima a progetto dei fronti di scavo risulta pari a circa 7 m.
Il tutto si ritiene rientri nelle normali procedure esecutive dell'edilizia e per la sicurezza del lavoro, sia in merito agli scavi di preparazione dell'area, sia in merito alla scelta e all'esecuzione delle fondazioni del nuovo manufatto.

Viste le principali caratteristiche geologico-geotecniche individuate nell'area sottoposta ad indagine si indicano le seguenti modalità operative per la realizzazione dell'opera.

6.1 – Scavi

1. Gli scavi per il cavidotto, qualora venissero effettuati nei pressi di strutture esistenti, andranno effettuati avendo cura di non influenzare negativamente la staticità degli eventuali manufatti.
2. I fronti di scavo non protetti da opere provvisionali, non dovranno mai rimanere aperti a lungo, dovranno essere eseguiti per campioni di lunghezza non eccessiva e sagomati secondo angoli compatibili con le caratteristiche di resistenza indicate nei precedenti capitoli.
3. E' consigliabile non aprire campioni di fronte troppo lunghi ed è bene fare in modo che siano comunque proporzionati alle risorse della squadra operativa e dell'impresa.
4. Tutte le opere di sostegno dovranno essere dotate di efficienti sistemi di drenaggio.
5. Tutta l'area dovrà essere sottoposta a una efficiente regimazione per garantire un rapido smaltimento delle acque meteoriche e di falda.

6.2 – Edificazione

Date le caratteristiche geologiche e geotecniche del sito e tenendo conto delle peculiarità del progetto si elencano le seguenti indicazioni operative:

1. Le fondazioni degli aerogeneratori dovranno essere dotati di un efficiente sistema di drenaggio, costituito da un setto drenante rivestito da tessuto non tessuto, con tubi microforati di smaltimento opportunamente posizionati. Le acque così raccolte dovranno essere convogliate presso gli impluvi naturali esistenti, evitando scarichi liberi sul terreno o ristagni che

potrebbero determinare situazioni di ruscellamento diffuso o concentrato e portare a situazioni di instabilità morfologica.

2. Tenuto conto della profondità a cui è possibile reperire il substrato, si suggerisce di appoggiare tutte le fondazioni degli aerogeneratori direttamente su quest'ultimo.

6.3 – Realizzazione del nuovo tratto stradale

Per la realizzazione dei nuovi tratti stradali e l'adeguamento di quelli esistenti, si forniscono le seguenti indicazioni:

1. L'andamento delle strade dovrà assumere un'inclinazione verso monte, in modo da raccogliere le acque meteoriche e di ruscellamento nelle apposite cunette di raccolta;
2. Per permettere un ottimale regimazione delle acque meteoriche e di falda verrà realizzata una cunetta lungo il bordo lato monte della carreggiata. Le acque così raccolte verranno convogliate verso gli impluvi naturali esistenti.
3. Lungo tutti i tratti stradali dovrà essere predisposta una efficiente regimazione per garantire un rapido smaltimento delle acque meteoriche e di falda.

6.4 – Riempimenti

I riempimenti previsti verranno eseguiti con terreno ricavato dagli sbancamenti e dovranno essere realizzati per strati non superiori a ***50 cm*** di spessore e adeguatamente compattati previa bagnatura. Il materiale impiegato deve essere assolutamente inerte e privo quindi di materiale terroso, torboso e coesivo.

7 – ASPETTI AMMINISTRATIVI

7.1 – Vincolo idrogeologico

Dal punto di vista amministrativo la zona risulta soggetta a vincolo idrogeologico e pertanto alla L.R. 4/99. Si può tuttavia affermare, in rapporto ai fattori che regolano tale vincolo (regimazione delle acque, stabilità dei versanti e coperture vegetali) che l'intervento proposto risulta sostanzialmente ininfluente.

7.2 – Piano di Bacino del Torrente Segno

Nel Piano stralcio di Bacino del Torrente Segno, l'area in cui verranno realizzate le torri eoliche ricade in una zona a suscettività al dissesto da bassa a molto bassa.
Si riporta in allegato uno stralcio della carta della suscettività al dissesto dei versanti del Piano di Bacino del Torrente Segno e del Torrente Quiliano.

8 – CONCLUSIONI

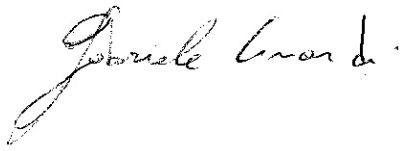
Tenuto conto del contesto geomorfologico in cui si inseriscono i nuovi manufatti, tenuto altresì conto delle caratteristiche geotecniche del terreno sopra citato e delle sostanziali condizioni di stabilità dell'area interessata, si conferma la fattibilità dell'intervento a progetto tenuto debito conto delle prescrizioni sopra elencate.

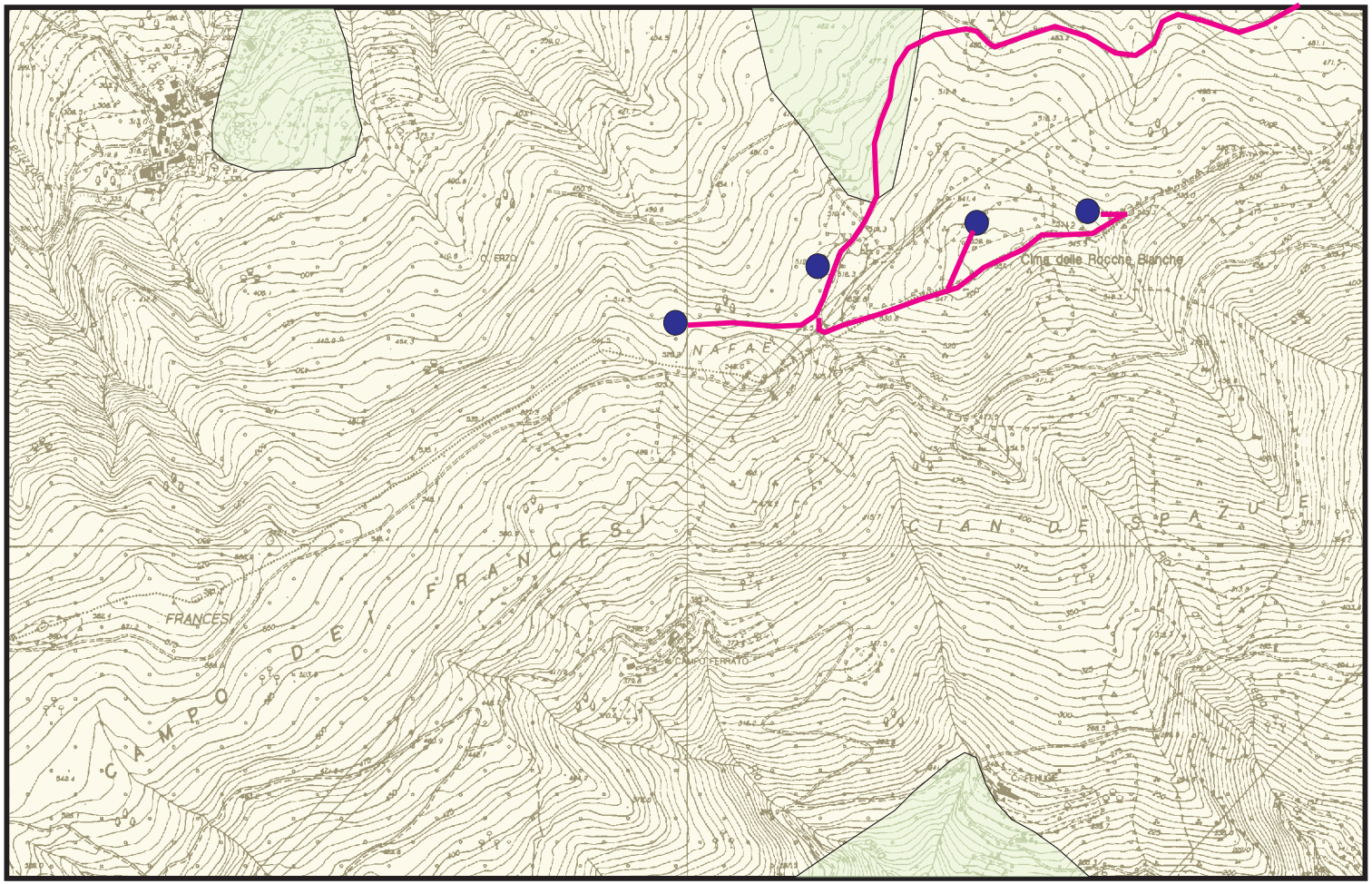
Il presente documento non comprende valutazioni su possibili conseguenze dannose alle strutture ed ai manufatti circostanti legate ai processi più strettamente operativi che fanno capo all'impresa e al direttore dei lavori eventualmente delegato dal committente.

Genova, Marzo 2013



Il tecnico
Dott. Geol. Gabriele Civardi





SCALA 1:10000

Detriti di falda e depositi eluvio - colluviali

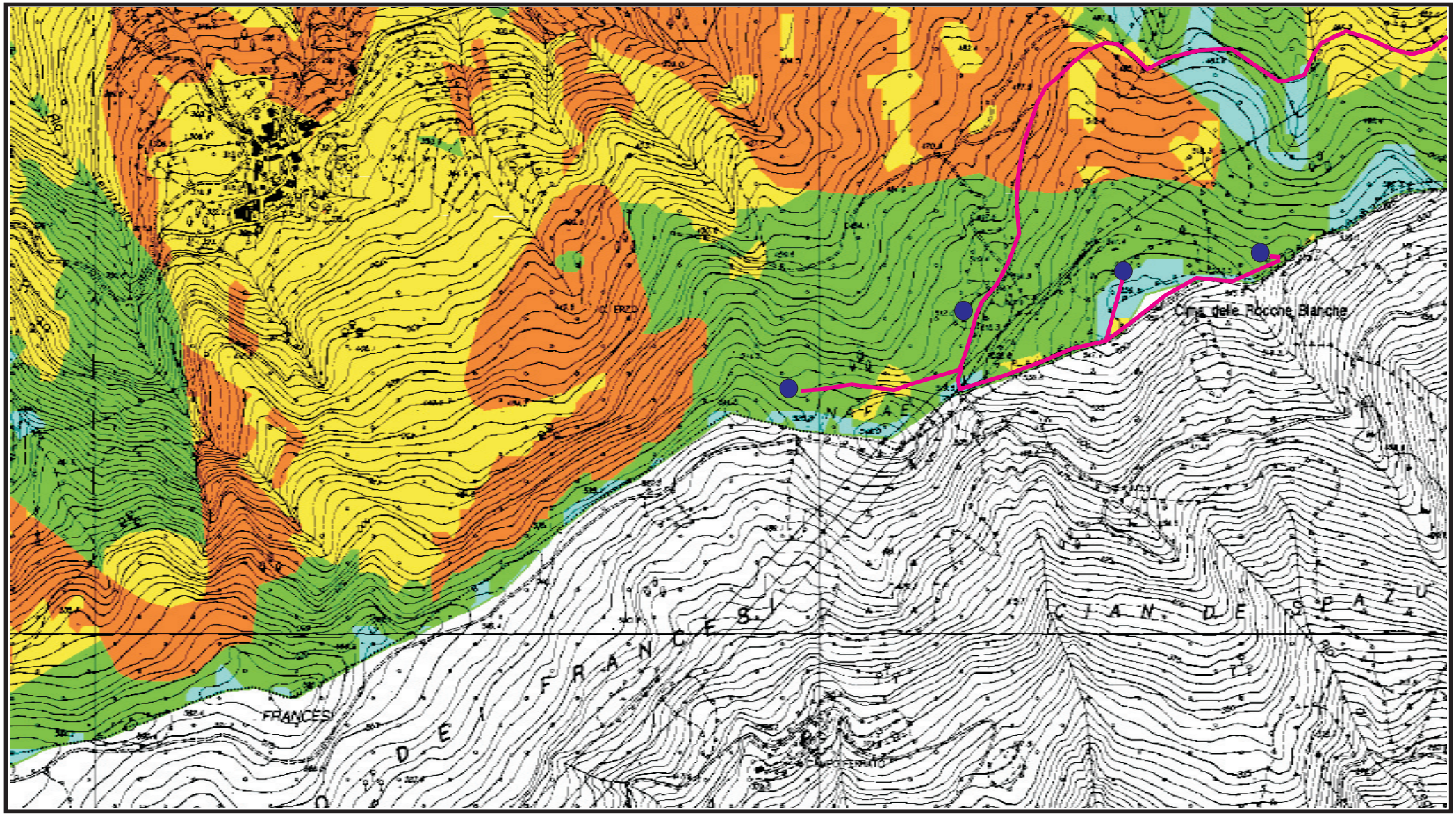
Scisti di Gorra

Posizione torri eoliche

Viabilità Parco eolico

STUDIO TECNICO DI GEOLOGIA
Dott. Geol. Gabriele Civardi
Corso Perrone 15 16152 Genova - tel. 0100019357 cell. 3491720806

CARTA GEOLOGICA



Area a suscettività molto bassa

Area a suscettività bassa

Area a suscettività media

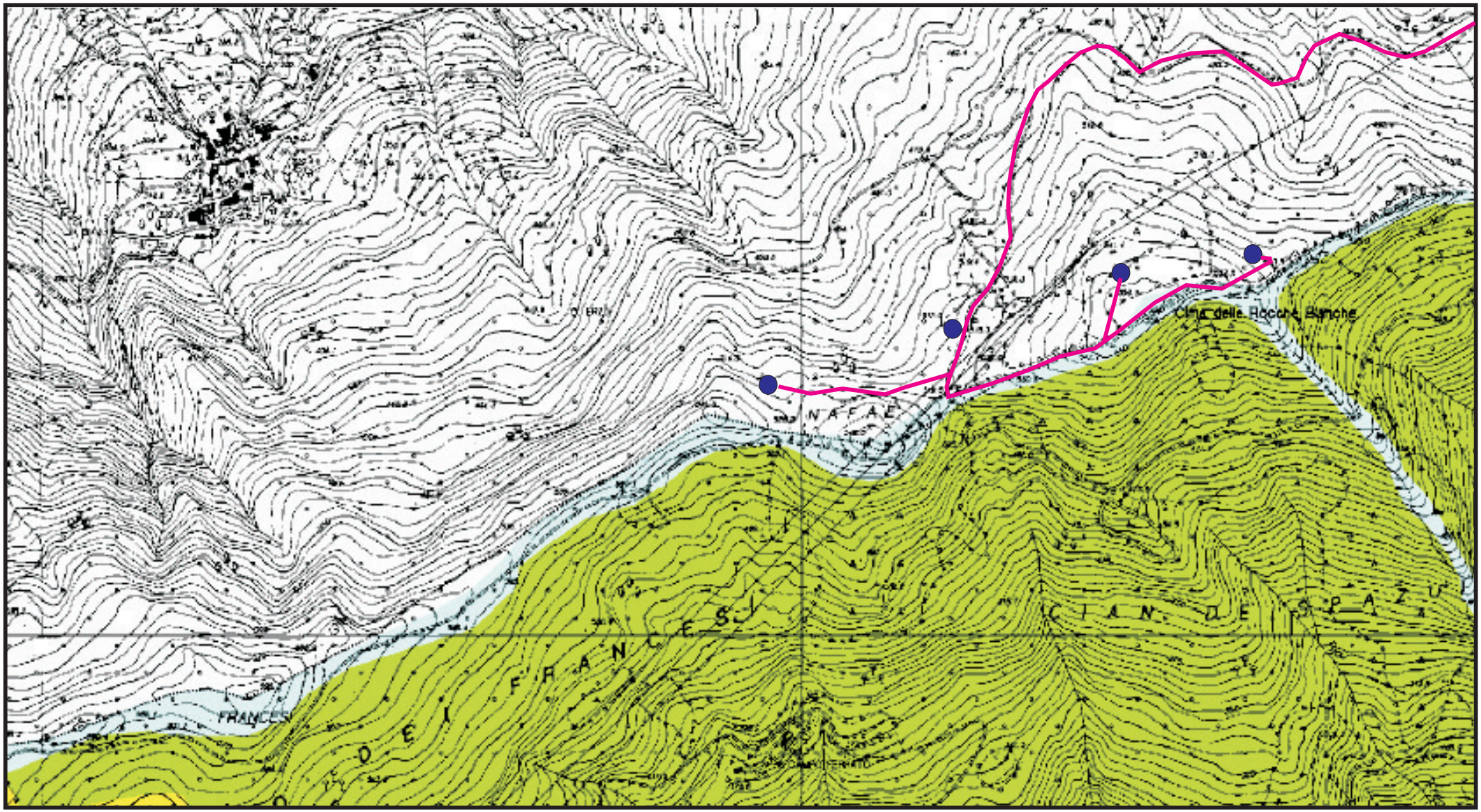
Area a suscettività alta

Torri eoliche

Viabilità parco eolico

STUDIO TECNICO DI GEOLOGIA
Dott. Geol. Gabriele Civardi
Corso Perrone 15 16152 Ge Tel. 010.0019357 cell. 349.1720806

STRALCIO CARTA DELLA SUSCETTIVITA' AL DISSESTO



Area a suscettività molto bassa

Area a suscettività bassa

Area a suscettività media

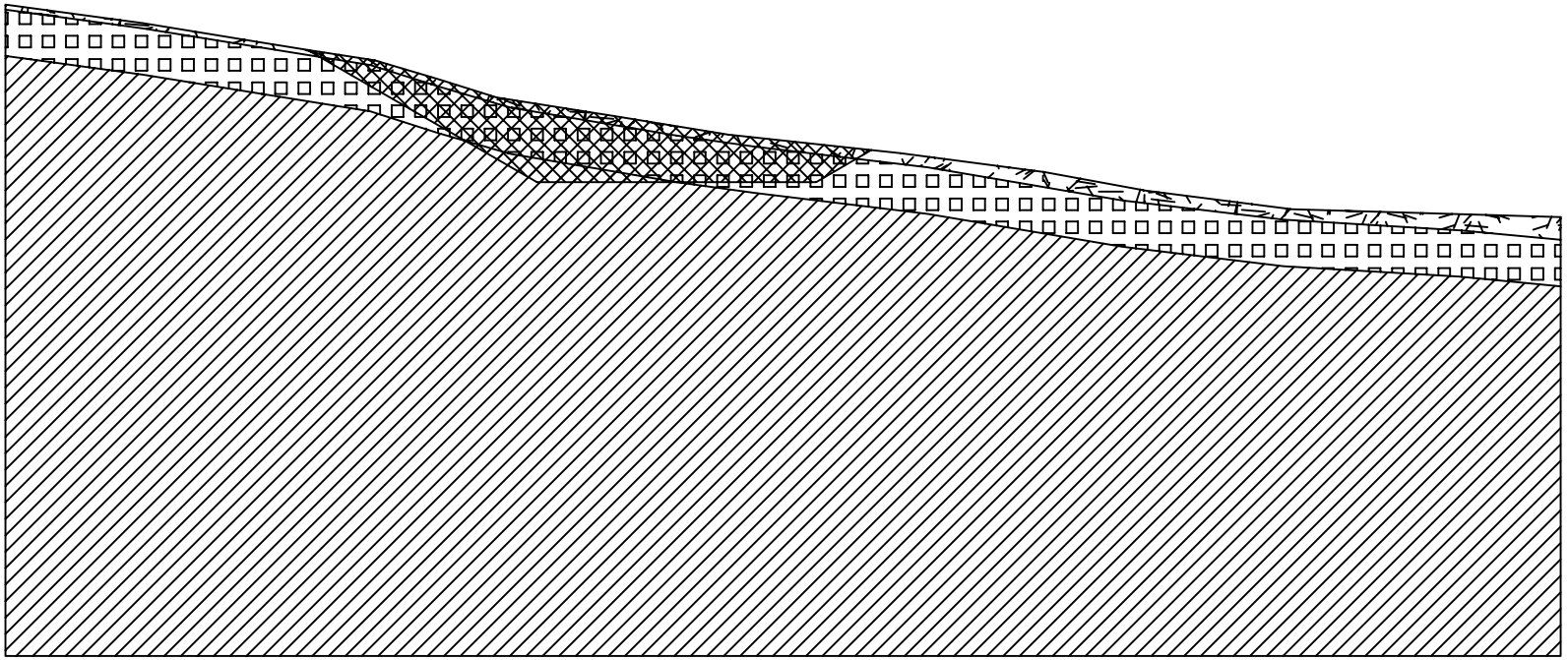
Area a suscettività alta

Torri eoliche

Viabilità parco eolico

STUDIO TECNICO DI GEOLOGIA
Dott. Geol. Gabriele Civardi
Corso Perrone 15 16152 Ge Tel. 010.0019357 cell. 349.1720806

STRALCIO CARTA DELLA SUSCETTIVITA' AL DISSESTO



1:400

Coltre

Cappellaccio di alterazione

Substrato

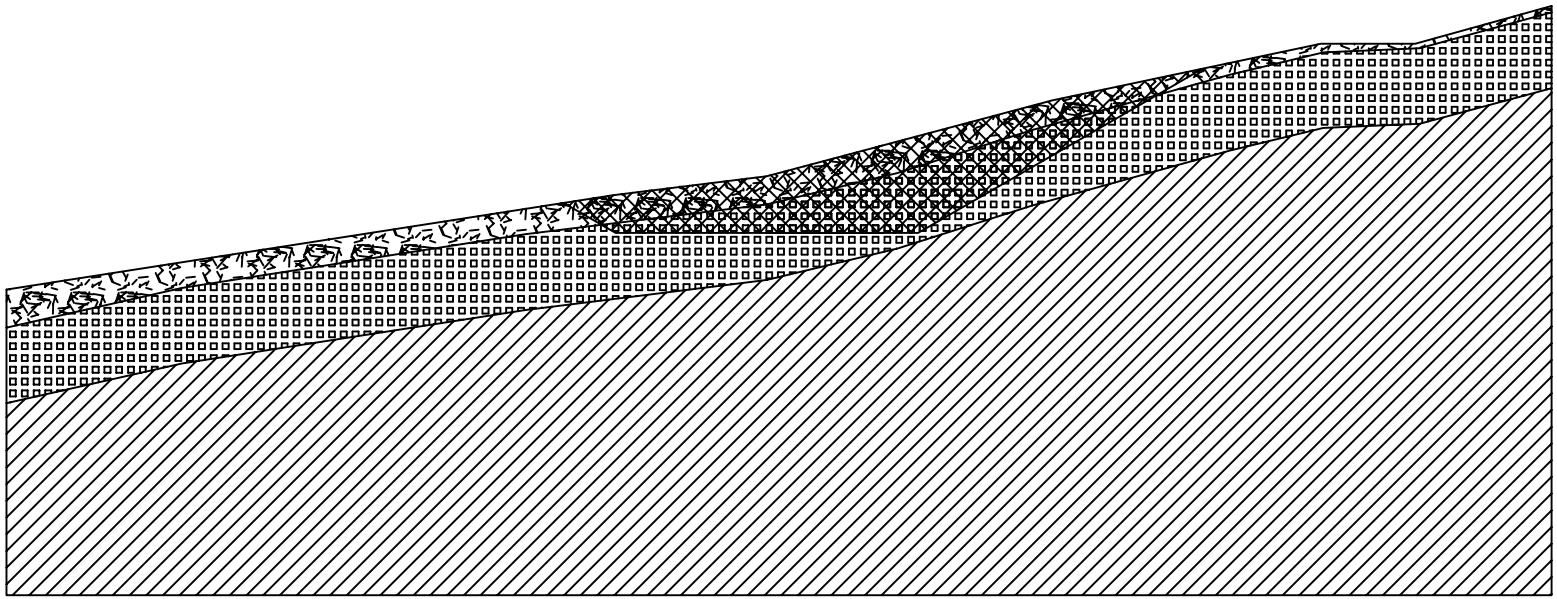
Sbancamenti

Indagini geognostiche per la realizzazione di un parco eolico in Comune di Quiliano

Dott. Geol. Gabriele Civardi

Corso Perrone 15 16152 GE – tel. 0100019357 cell. 3491720806

Sezione geologica interpretativa torre AG1



1:400

Coltre

Cappellaccio di alterazione

Substrato

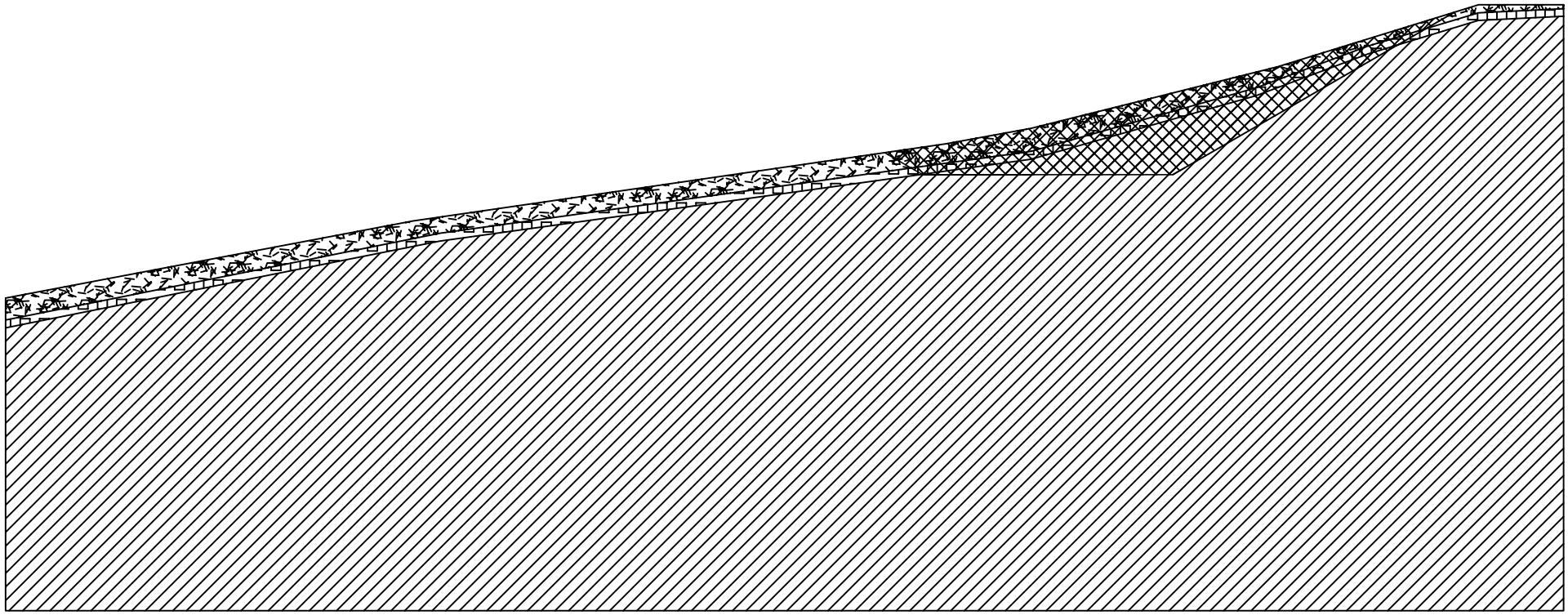
Sbancamenti

Indagini geognostiche per la realizzazione di un parco eolico in Comune di Quiliano

Dott. Geol. Gabriele Civardi

Corso Perrone 15 16152 GE – tel. 0100019357 cell. 3491720806

Sezione geologica interpretativa torre AG2



1:400

Coltre

Cappellaccio di alterazione

Substrato

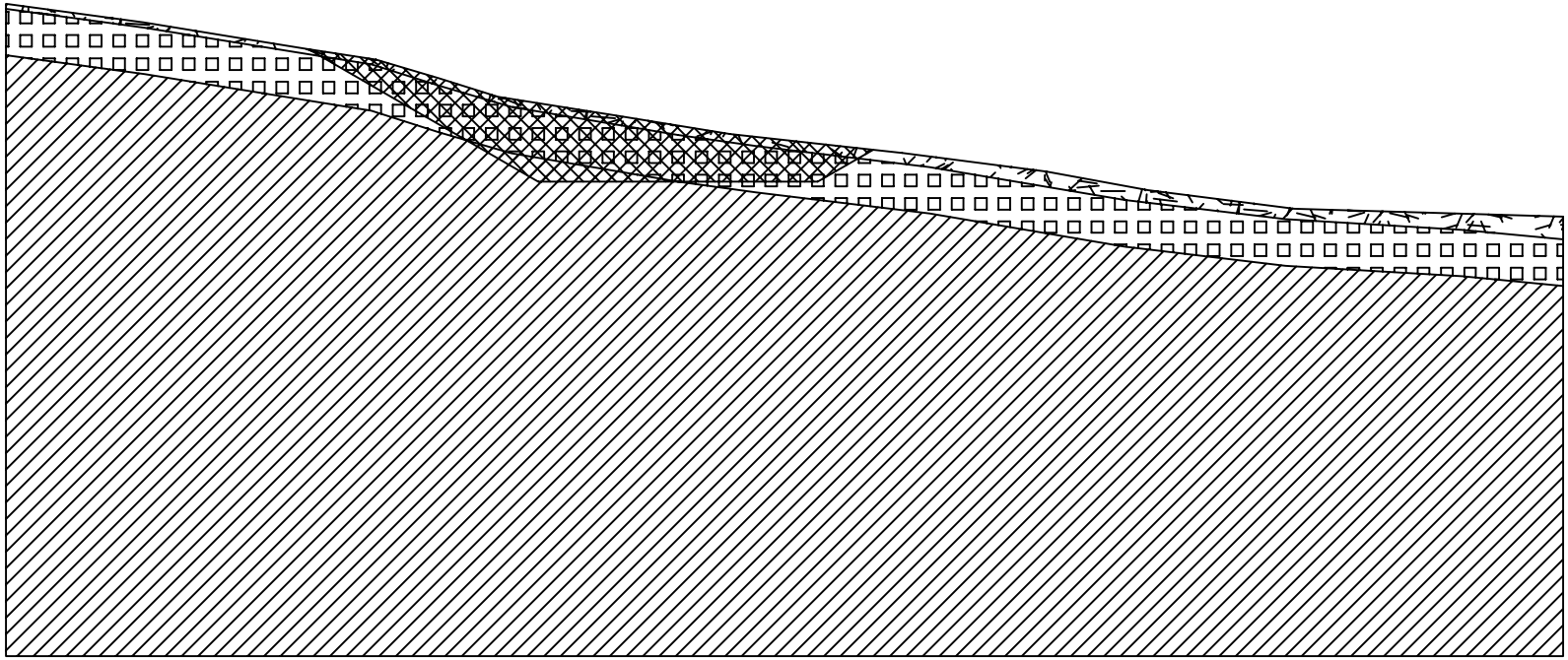
Sbancamenti

Indagini geognostiche per la realizzazione di un parco eolico in Comune di Quiliano

Dott. Geol. Gabriele Civardi

Corso Perrone 15 16152 GE – tel. 0100019357 cell. 3491720806

Sezione geologica interpretativa torre AG3



1:400

Coltre

Cappellaccio di alterazione

Substrato

Sbancamenti

Indagini geognostiche per la realizzazione di un parco eolico in Comune di Quiliano

Dott. Geol. Gabriele Civardi

Corso Perrone 15 16152 GE – tel. 0100019357 cell. 3491720806

Sezione geologica interpretativa torre AG4

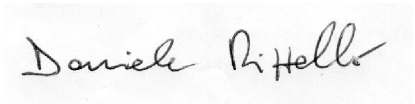
Tellus *S.a.s – Indagini geofisiche*

Prove sismiche a rifrazione e MASW per progetto di impianto eolico – Comune di Quiliano (SV).

Committente: ***FERA srl***

Aprile 2013

Firma:





INDICE

1. OBIETTIVO DELLE INDAGINI……..pag.1

2. SISMICA A RIFRAZIONE……..1

2.1. Acquisizione dei dati……..…… 1

2.2. Risultati ottenuti…….. 1

3. PROVA MASW……2

3.1 Acquisizione dei dati…… 2

3.2 Diagrammi F-V e curve di dispersione……. 2

3.3 Modelli ottenuti……..... 3

3.4 Calcolo di V_{s30}……3

Allegati:

- Caratteristiche dello strumento
- Principi di elaborazione dei dati
- Parametri di acquisizione delle linee sismiche
- Figure
- Documentazione fotografica
- Bibliografia di riferimento

INDAGINI SISMICHE MASW E A RIFRAZIONE:
Comune di Quiliano (SV)

1) OBIETTIVO DELLE INDAGINI

L'intervento in esame è finalizzato alla valutazione della stratigrafia del terreno rappresentato in *fig.1,* nonché alla stima delle sue proprietà meccaniche e del parametro $\mathbf{V_{s30}}$. Ciò è stato eseguito al fine di fornire informazioni integrative volte alla progettazione di un impianto eolico per la produzione di energia elettrica.

I risultati delle stese sismiche potranno essere d'aiuto, in un secondo tempo, per la redazione di appropriate sezioni geologiche.

2) SISMICA A RIFRAZIONE

2.1) ACQUISIZIONE DEI DATI

Sono state realizzate 4 stese sismiche a rifrazione, anche al fine di parametrizzare il modello iniziale per la successiva fase di elaborazione dei dati (MASW); tali prove hanno impiegato 24 geofoni, con spaziatura di 1.5 m, disposte come in *fig.1-2*, in modo da ottenere la migliore copertura possibile delle aree investigate. Per ciascuna linea, sono stati eseguiti 7 tiri, al fine di valutare anche possibili variazioni laterali di velocità' dei terreni indagati. La sorgente di energizzazione utilizzata e' stata una mazza da 8 kg, battente su di una piastra d'alluminio. Per i dettagli dei parametri di acquisizione, si rimanda agli allegati (*tab.1*).

2.2) RISULTATI OTTENUTI

I risultati ottenuti sono stati sintetizzati nelle sezioni sismiche interpretative *(fig. 4)* dalle quali si possono trarre le seguenti considerazioni.

L'interpretazione classica delle dromocrone, secondo lo scrivente, *(fig.2)* ha prodotto modelli prevalentemente bistrato in cui si può delineare un primo strato con velocità medie comprese tra 150 e 270 m/s, attribuibili al terreno naturale superficiale molto aerato *(per il profilo S2 si osserva localmente una velocità intorno ai 110 m/s, dato che non ne cambia l'interpretazione)* al di sopra di uno strato più rigido con velocità medie variabili tra 680 e 1130 m/s, interpretabile come strato d'alterazione del substrato roccioso *(~~S2,~~ S4)* o possibile coltre

costipata *(Str, S1,S2)*; non si esclude, peraltro, la presenza di materiali intermedi fra questi due mezzi.

Il substrato roccioso,. la cui interfaccia si colloca a profondità comprese tra circa 4 e 10 m di profondità, considerate le velocità misurate si trova in condizioni di media fratturazione.

Nei casi in cui non si sono resi evidenti arrivi dal rifrattore roccioso, al fine di stimarne la profondità *minima* è stata condotta una prova in forward modeling mediante il software di elaborazione, assumendone una velocità ipotetica pari a 2300 m/s. La prova ha fornito gli andamenti visibili in fig.4 con le linee gialle tratteggiate.

3) PROVE MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves)

3.1) ACQUISIZIONE DEI DATI

Le prove MASW sono state effettuate impiegando stese con numero di canali equivalenti variabile da 33 a 44, acquisite in *roll-along*, con spaziatura geofonica di 1.5 m ed utilizzando come sorgente di *ground-roll (prevalentemente onde di Rayleigh)* la mazza da 8 kg impiegata altresì per la stesa a rifrazione. Per i dettagli dei parametri di acquisizione, si rimanda agli allegati (*tab.2*).

3.2) DIAGRAMMI F-V E CURVE DI DISPERSIONE

I sismogrammi acquisiti sono stati trasformati in *spettri F-V (frequenza-velocità)* sui quali si sono individuate le curve di dispersione; si ricorda che tali curve esprimono la relazione della velocità di propagazione delle onde sismiche con la frequenza. In questo tipo di prova, in tale trasformata si vanno ad individuare i massimi energetici relativi alle onde di Rayleigh.

In *fig.5* sono riportati, per ciascun profilo, da sinistra a destra: il risultato della trasformata F-V del sismogramma utilizzato, le corrispondenti curve di dispersione sperimentali (rosse) e sintetiche (colorate, relative al modo fondamentale e ai modi superiori), i modelli 1-D risultanti dall'algoritmo d'inversione.

3.3) MODELLI OTTENUTI

Dall'inversione delle curva di dispersione, mediante il software di elaborazione, si ottengono i modelli 1-D riportati in *fig.5,* le cui posizioni sono attribuibili al centro delle linee MASW.

I modelli sono in generale accordo con le sezioni ottenute dalla sismica a rifrazione. Le leggere inversioni di velocità, che in alcuni casi si sono manifestate, possono essere dovute principalmente a differente grado di fratturazione nella roccia o a parziale saturazione dei materiali di coltre *(S1).*

3.4) CALCOLO DI V_{s30}

In base ai profilo di V_s, si è infine proceduto al calcolo del parametro V_{s30}, secondo la seguente definizione :

$$Vs_{30} = \frac{30}{\sum \frac{h_i}{Vs_i}}$$

Da tale calcolo sono stati ottenuti i seguenti valori :

Linea	**Vs30 (m/s)**	**Categoria di suolo** (*secondo D.M. 14/09/2005)*
Strada	430	B
S1	430	B
S2	500	B
S3	400	B

ALLEGATI

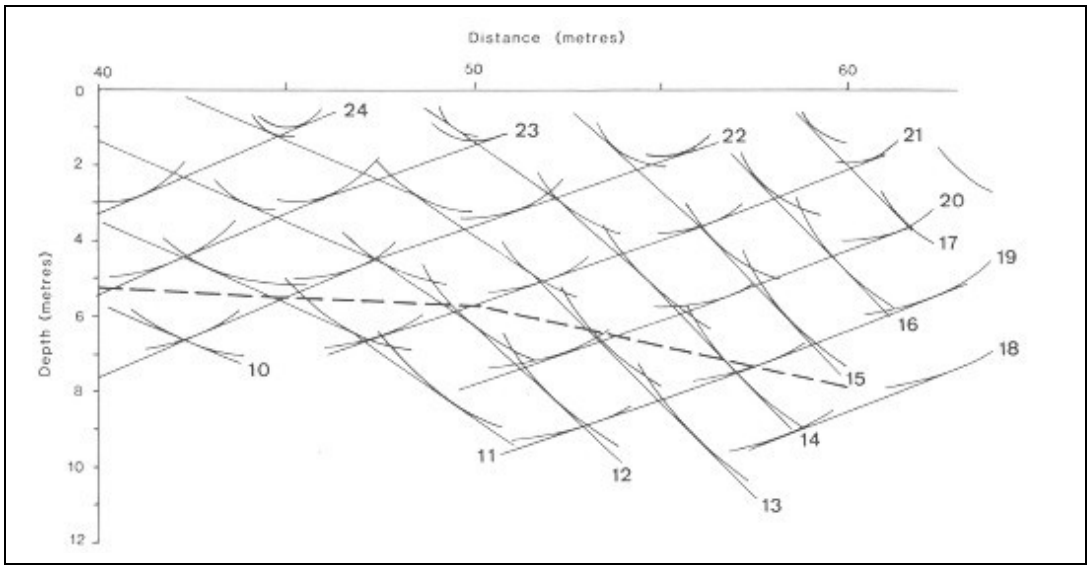
Strumentazione

- SISMOGRAFO : DMT Summit a 24 canali
  - Convertitore A/D : 24 bit
  - Range dinamico : 120 dB
  - Durata di registrazione : da 500 a 120 K samples
  - Tempi di campionamento : da 20 Ãs a 8 ms
  - Filtri digitali : antia-alias 0.8 Nyquist
  - Filtri analogic i: anti-alias HC 7.2KHz, LC 1Hz
  - Numero di enhancement effettuabili : illimitato

- GEOFONI : OYO-GEOSPACE
  - Verticali (tolleranza 20^0)
  - Frequenza di risonanza : 4.5 Hz (+/- 5%)

Principio di interpretazione dei dati sismica a rifrazione

- WAVEFRONT METHOD
  - Si basa sulla costruzione di rifrattori sui cui punti la somma dei tempi di arrivo del fronte diretto e inverso è pari al tempo reciproco *(v. schema sotto, da Palmer,1986)*
  - Il metodo necessita di almeno 1 tiro diretto e 1 inverso
  - E' particolarmente adatto per ricostruire la morfologia di rifrattori accidentati
  - Permette di calcolare anche le variazioni laterali di velocità degli strati indagati
  - Il modello sismostratigrafico finale è il risultato di una inversione che, con un procedimento alle differenze finite, modifica iterativamente il modello iniziale per ottenere il miglior accordo con i tempi di arrivo sperimentali
  - Ha la possibilità di tenere conto della topografia superficiale e di gradienti verticali delle velocità sismiche



Tab.1: parametri di acquisizione e geometria delle linee a rifrazione

Linea	**Strada**	**S1**	**S2**	**S3**
Durata delle acquisizioni (ms)	128	128	128	128
Tempo di campionamento (ms)	0.125	0.125	0.125	0.125
Filtri	no	no	no	no
Spaziatura geofoni (m)	1.5	1.5	1.5	1.5
Posizione primo geofono (m)	5	7	6	5
Posizioni dei tiri (m)	0/3.5/13.25 / 22.25/31.25/ 41/44.5	0/5.5/15.25 / 24.25/33.25/ 43/48.5	0/5/14.25 / 23.25/32.25/ 41.5/46.5	0/3.5/14.75 / 22.25/29.75/ 41/44.5
Lunghezza stendimento geofonico (m)	34.5	34.5	34.5	34.5

N.B.: tutte le posizioni, espresse in metri, sono riferite al tiro OFF1, per il quale si assume, quindi, posizione 0m.

Tab.2 : parametri di acquisizione e geometria delle linee MASW

Linea	**Strada**	**S1**	**S2**	**S3**
Durata delle acquisizioni (ms)	512	512	512	512
Tempo di campionamento (ms)	0.125	0.125	0.125	0.125
Filtri	no	no	no	no
Spaziatura geofoni (m)	1.5	1.5	1.5	1.5
Distanze dei tiri rispetto al 1° geofono (m)	5/16/27/ 36/	5/20/37.5	6/19.5	5/20/42
Lunghezza dello stendimento geofonico totale equivalente (m)	63	64.5	48	70.5

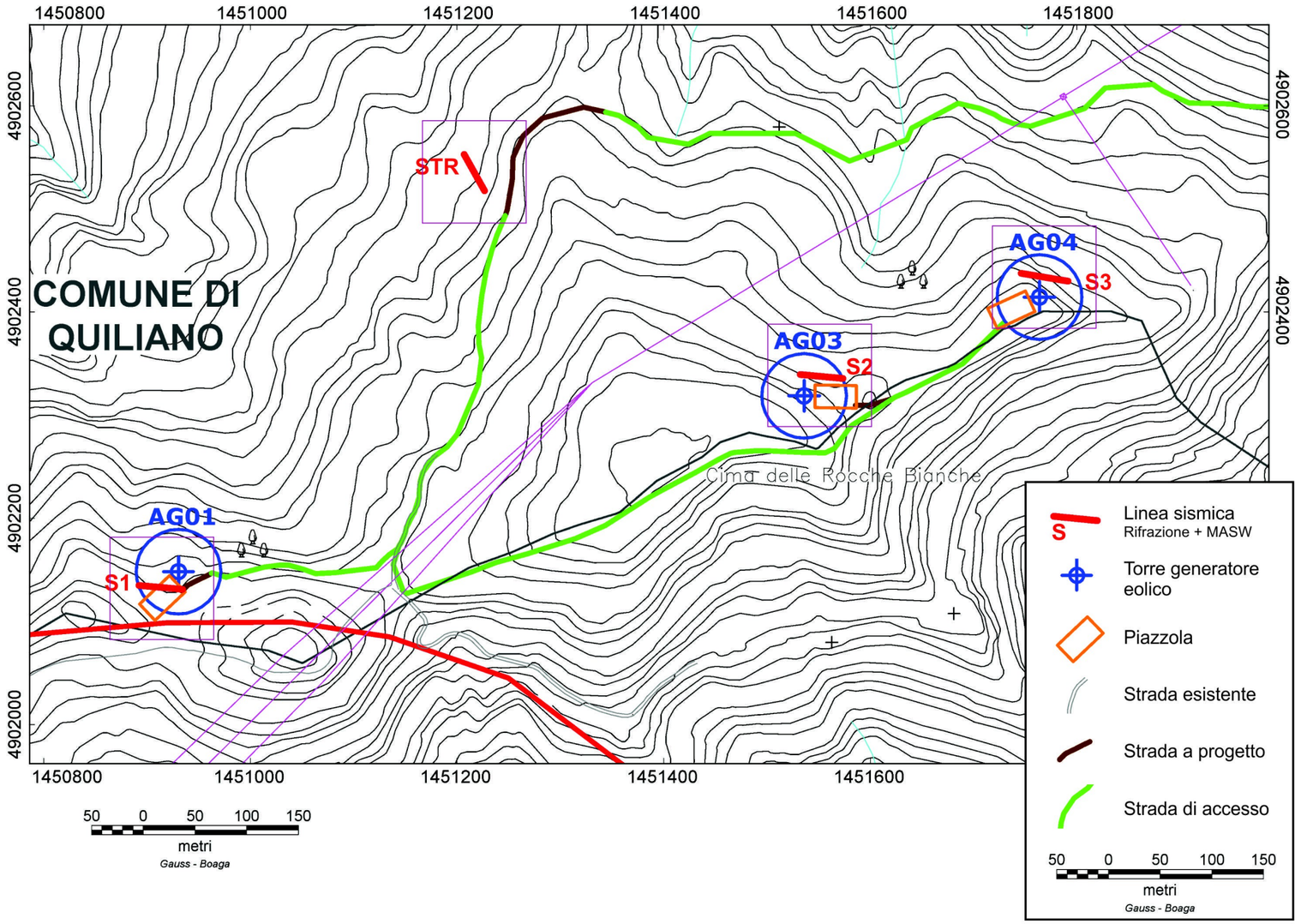


Fig. 1: corografia dell'area d'indagine

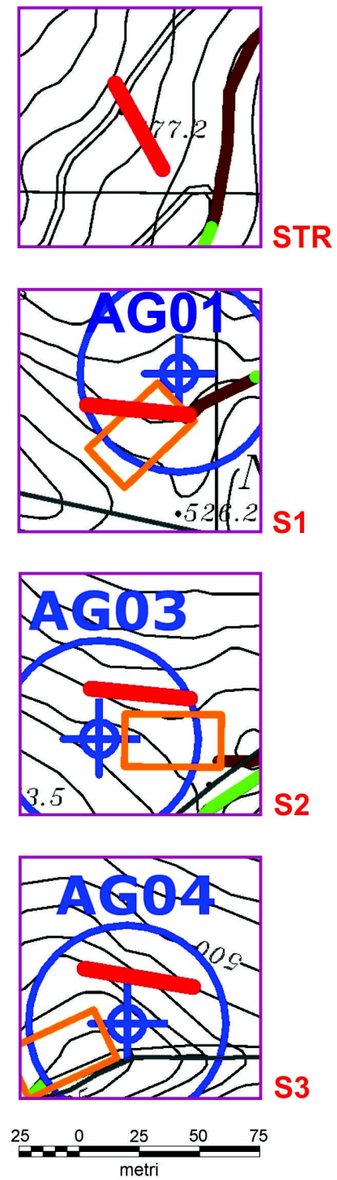
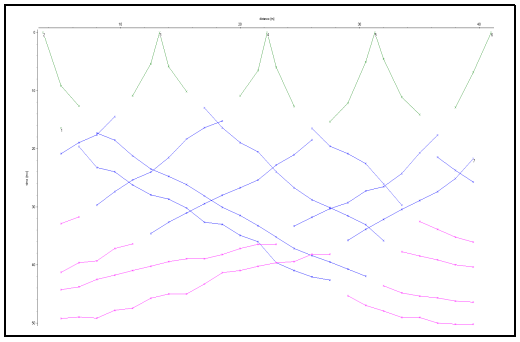


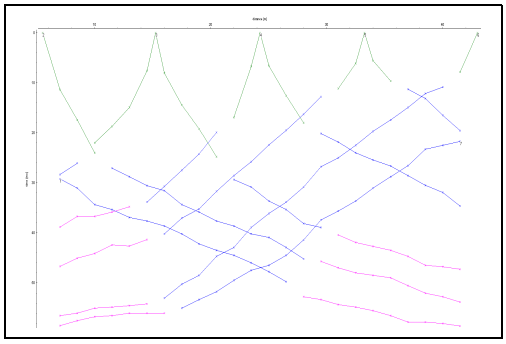
Fig. 2: ubicazione delle linee sismiche

Fig. 3: dromocrone

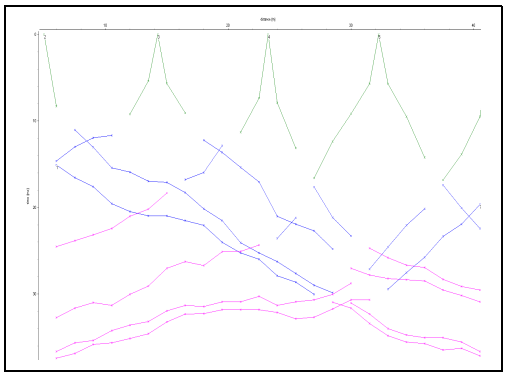
Strada



S1



S2



S3

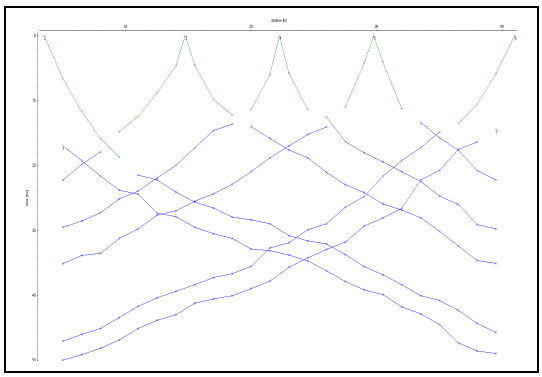
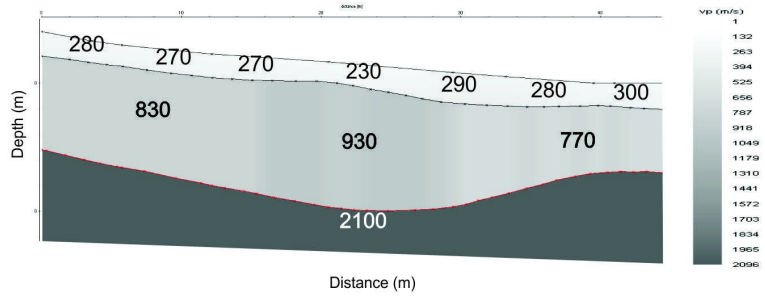
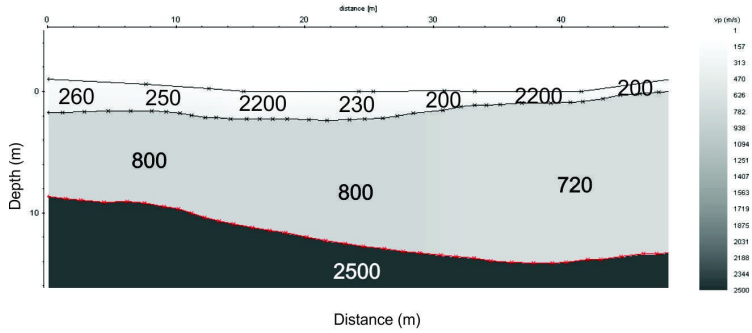


Fig.4 : sezioni sismiche interpretative a rifrazione

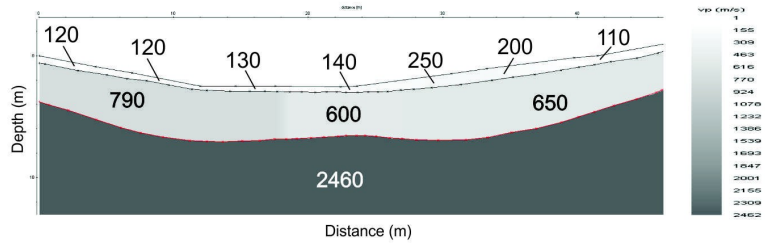
Strada



S1



S2



S3

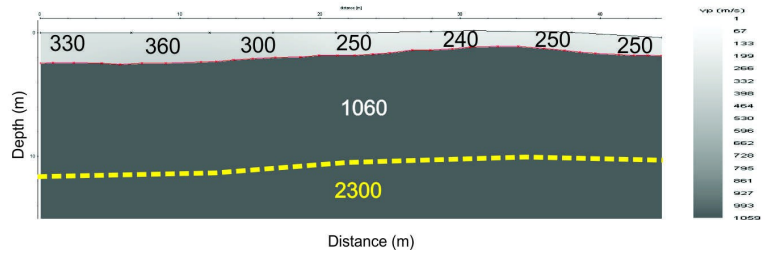
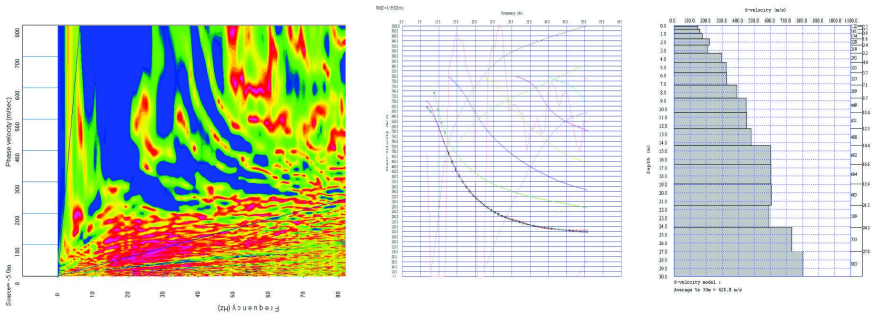
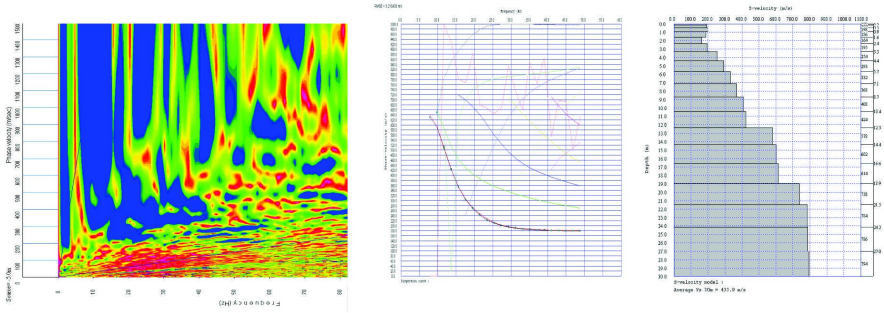


Fig.5: trasformate f-v, curve di dispersione e modelli 1-D di Vs

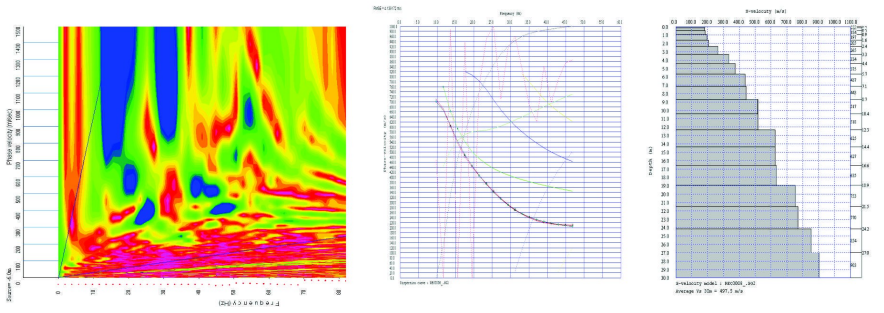
Strada



S1



S2



S3

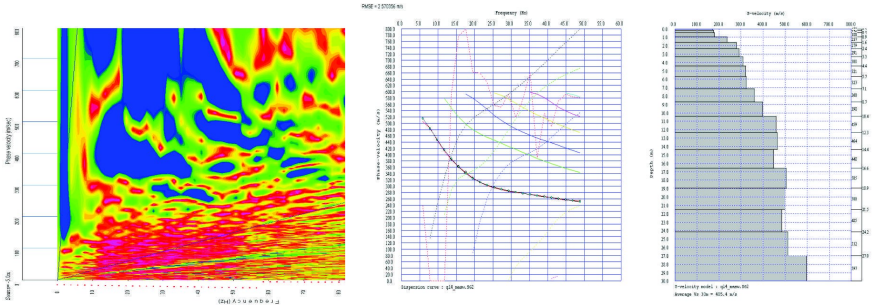


Foto 1-5 : documentazione fotografica

Strada



S1



S2



S3



Bibliografia di riferimento

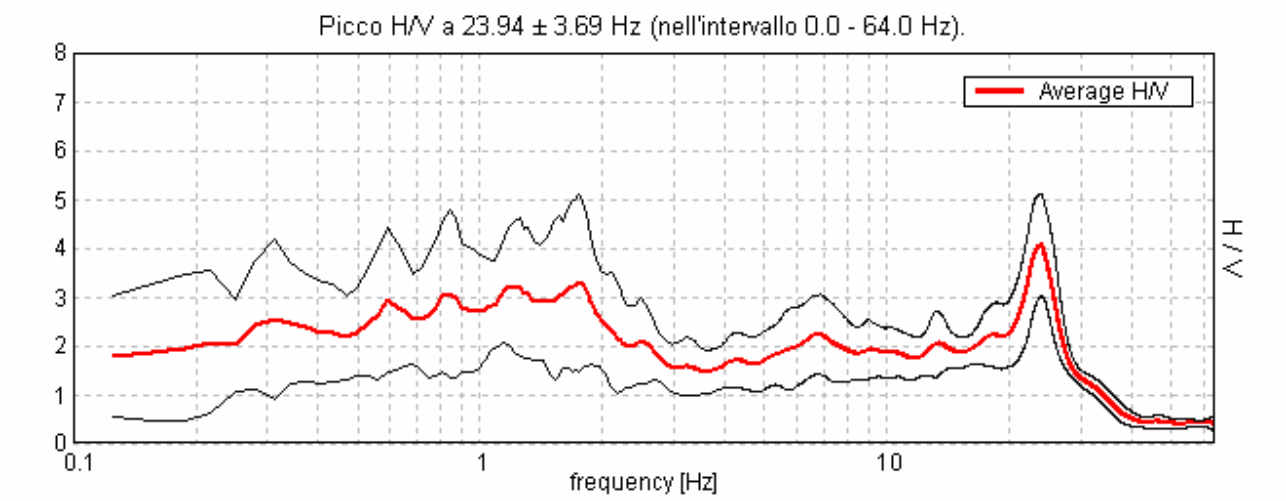
- Ackermann, H.D., Pankratz L.W.,Dansererau D., 1986. *Resolution of ambiguities of seismic refraction traveltime curves. Geophysics,Vol.51,223-235.*
- Barton, N., (2007). *Rock quality, seismic velocity, attenuation and anisotropy.*Taylor and Francis.
- Carrara, F., Rapolla, A., Roberti, N.(1992). *Le indagini geofisiche per lo studio del sottosuolo: metodi geoelettrici e sismici*. Liguori Editore.
- Lavergne, M. (1986). *Methodes sismiques*. Ed.Technip, Institut Francaise du petrole.
- Norinelli, A. (1982). *Elementi di geofisica applicata*. Patron Editore.
- Palmer, D. (1986). *Refraction seismics: the lateral resolution of structure and seismic velocity.* Geophysical Press.
- Park,C.B., Miller,R.D., Xia, J.(1999). *Multichannel analysis of surface waves*. Geophysics, Vol. 64, 800–808.
- Redpath, B. (1973). *Seismic refraction exploration for engineering site investigation.* NTIS.
- Socco, L.V., Strobbia, C. (2004). *Surface-wave method for near-surface characterization: a tutorial.* Near Surface Geophysics, 2004, 165-185.
- Xia, J., Miller, R.D., Park, C.B., (1999). *Estimation of near-surface shear-wave velocity by inversion of Rayleigh waves*. Geophysics, Vol. 64, 691-700.

VADO LIGURE, VADO LIGURE AG2

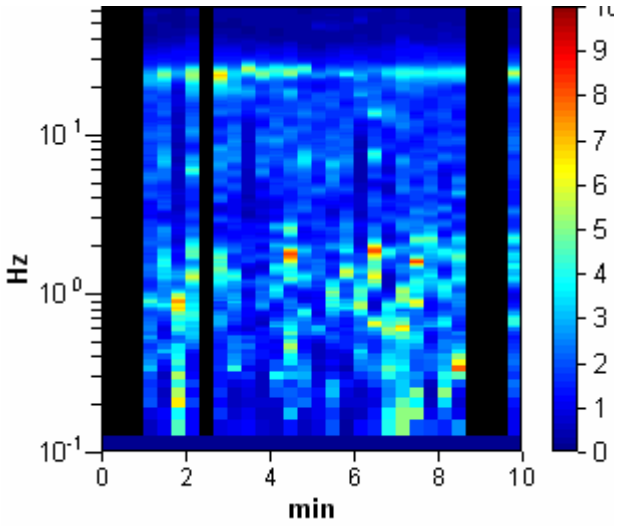
Strumento: TEP-0120/01-10
Inizio registrazione: 12/01/12 12:02:18 Fine registrazione: 12/01/12 12:12:19
Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN
Dato GPS non disponibile

Durata registrazione: 0h10'00''. Analizzato 77% tracciato (selezione manuale)
Freq. campionamento: 128 Hz
Lunghezza finestre: 20 s
Tipo di lisciamento: Triangular window
Lisciamento: 10%

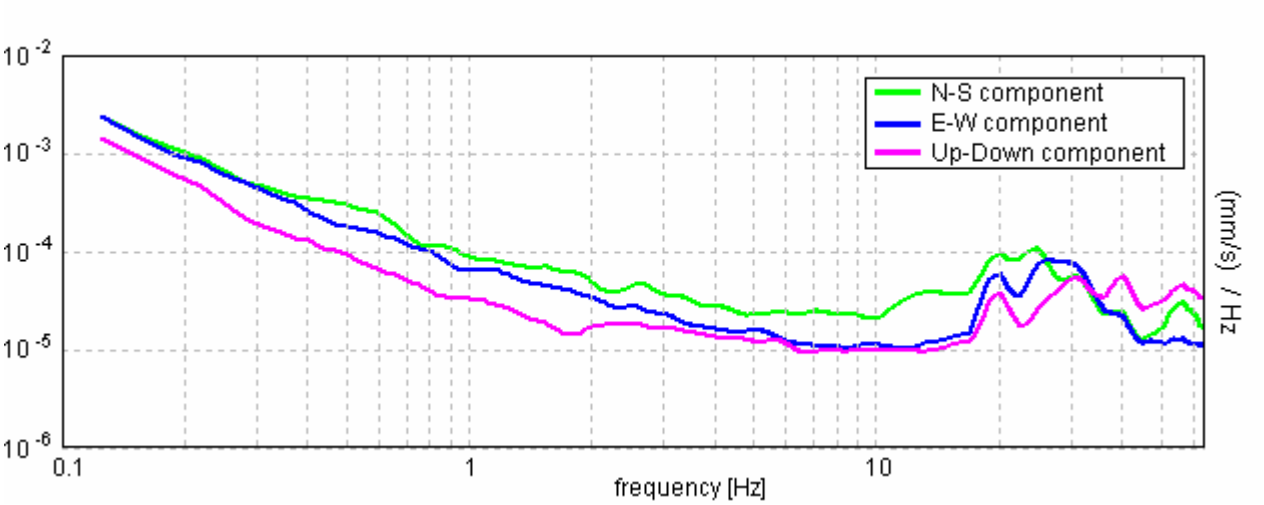
RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE



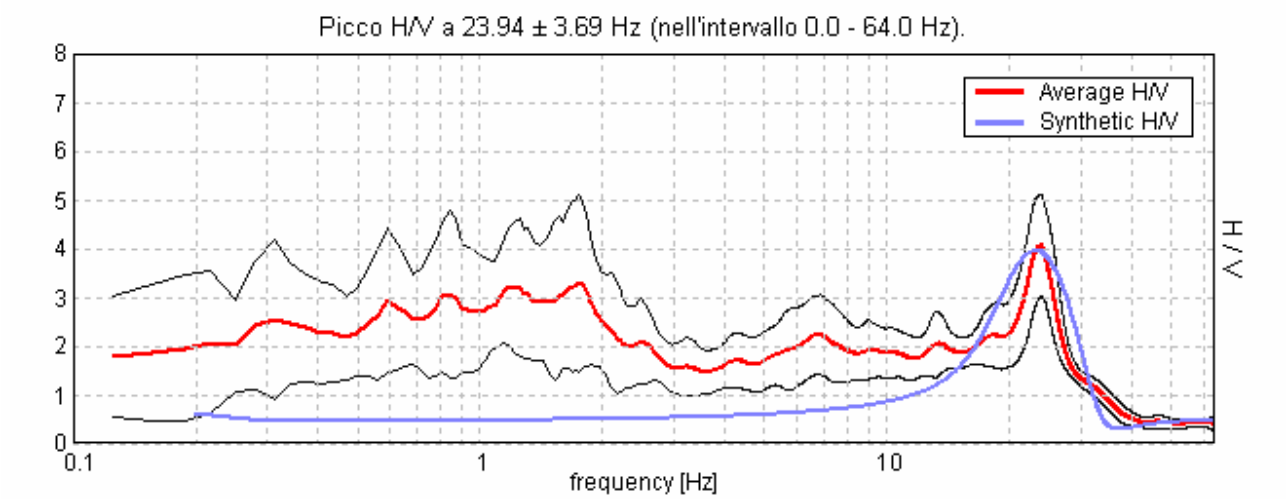
SERIE TEMPORALE H/V



SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI

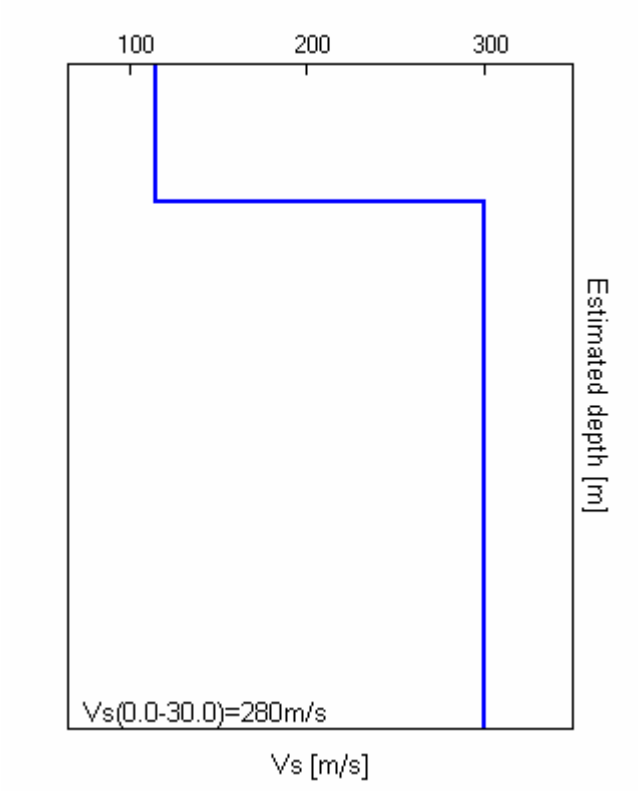


H/V SPERIMENTALE vs. H/V SINTETICO



Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Rapporto di Poisson
1.30	1.30	115	0.35
inf.	inf.	300	0.35

Vs(0.0-30.0)=280m/s



[Secondo le linee guida SESAME, 2005. **Si raccomanda di leggere attentamente il manuale di** *Grilla* **prima di interpretare la tabella seguente**].

Picco H/V a 23.94 ± 3.69 Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).

Criteri per una curva H/V affidabile [Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]			
$f_0 > 10 / L_w$	23.94 > 0.50	OK	
$n_c(f_0) > 200$	11011.3 > 200	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5$Hz **$\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5$Hz**	Superato 0 volte su 1150	OK	
Criteri per un picco H/V chiaro [Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]			
Esiste f^- in $[f_0/4, f_0]$ | $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	16.781 Hz	OK	
Esiste f^+ in $[f_0, 4f_0]$ | $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	27.281 Hz	OK	
$A_0 > 2$	4.06 > 2	OK	
$f_{picco}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	|0.07271| < 0.05		NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	1.74061 < 1.19688		NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	0.4893 < 1.58	OK	

L_w	lunghezza della finestra
n_w	numero di finestre usate nell'analisi
$n_c = L_w n_w f_0$	numero di cicli significativi
f	frequenza attuale
f_0	frequenza del picco H/V
σ_f	deviazione standard della frequenza del picco H/V
$\varepsilon(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
A_0	ampiezza della curva H/V alla frequenza f_0
$A_{H/V}(f)$	ampiezza della curva H/V alla frequenza f
f^-	frequenza tra $f_0/4$ e f_0 alla quale $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
f^+	frequenza tra f_0 e $4f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	deviazione standard di $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ è il fattore per il quale la curva $A_{H/V}(f)$ media deve essere moltiplicata o divisa
$\sigma_{logH/V}(f)$	deviazione standard della funzione log $A_{H/V}(f)$
$\theta(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Valori di soglia per σ_f e $\sigma_A(f_0)$					
Intervallo di freq. [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	0.25 f_0	0.2 f_0	0.15 f_0	0.10 f_0	0.05 f_0
$\theta(f_0)$ per $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
log $\theta(f_0)$ per $\sigma_{logH/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

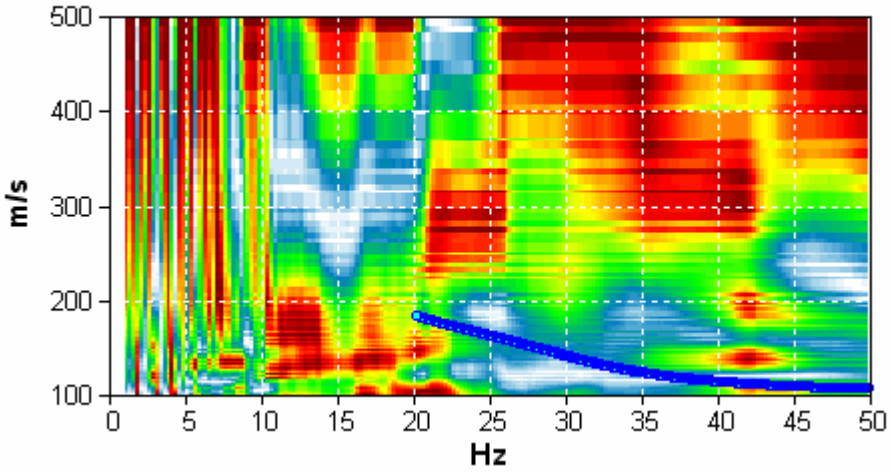
VADO LIGURE, [Z] VADO LIGURE AG2

Inizio registrazione: 12/01/12 11:56:08 Fine registrazione: 12/01/12 12:00:43
Durata registrazione: 0h04'24''.
Freq. campionamento: 512 Hz

Nomi canali: B1 ; B2 ; B3 ; B4 ; B5 ; B6 ; B7

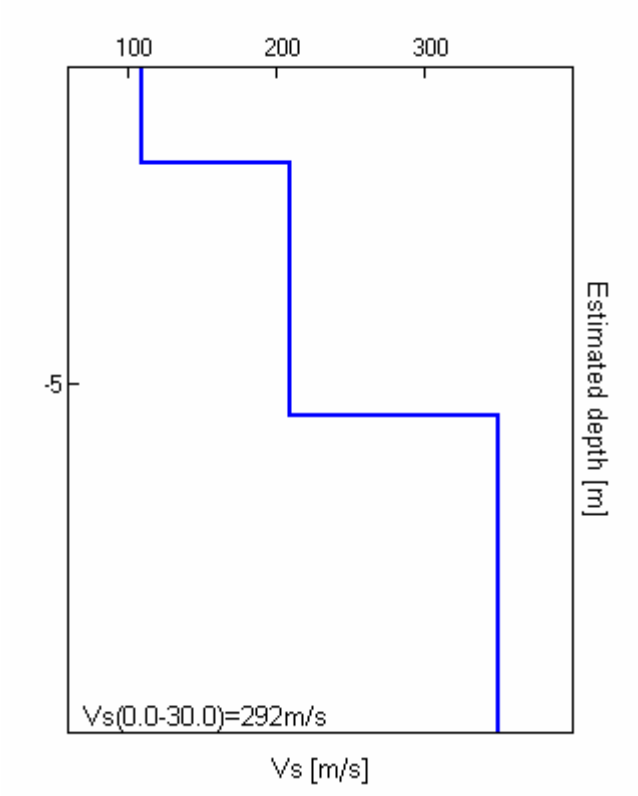
Array geometry (x): 0.0 3.0 6.0 9.0 12.0 15.0 18.0 m.

MODELLED RAYLEIGH WAVE PHASE VELOCITY DISPERSION CURVE



Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
1.50	1.50	110	0.35
5.50	4.00	210	0.35
inf.	inf.	350	0.35

Vs(0.0-30.0)=292m/s


100
200
300
-5
Estimated depth [m]
Vs(0.0-30.0)=292m/s
Vs [m/s]