S.F.E.R.A. Energia e Ambiente S.r.l.

Via Marconi, 79 - 16030 AVEGNO GE

PARCO EOLICO "FADO"
IN COMUNE DI MELE (GE)

PROGETTO PRELIMINARE - SCOPING

R04

RELAZIONE GEOLOGICA GEOTECNICA SULLA REALIZZAZIONE DEGLI AEROGENERATORI

redatta da Dott. Geol. Marco Orsi

715PPSR04_r0

Genova, 21 ottobre 2014

REGIONE LIGURIA

PROVINCIA DI GENOVA

COMUNE DI MELE

PARCO EOLICO "FADO"

Progetto Preliminare – Scoping ex L.R. 38/98

RELAZIONE GEOLOGICA GEOTECNICA
SULLA REALIZZAZIONE DEGLI AEREOGENRATORI

FASE DI PROGETTO PRELIMINARE

COMMITTENTE: S.F.E.R.A. ENERGIA E AMBIENTE SRL VIA MARCONI 79 – 16030 AVEGNO GE	per presa visione
PROGETTISTA: STUDIOELB- INGEGNERI ASSOCIATI C.SO TORINO 17/6 – 16129 GENOVA GE	per presa visione

	rif. M14BQ_3
Il Tecnico Incaricato Dott. Geol. Marco Orsi Dottore di Ricerca in Scienze Ambientali Ordine dei Geologi del Piemonte n.287 C.so Viganò 5 - 15011 Acqui Terme (AL) tel.: 0144-321225 fax 0144-980163 cell:348-5835102 *E-mail*: studio@geolorsi.it	Acqui Terme, agosto 2014

Premessa

La Società S.F.E.R.A. Energia e Ambiente Srl, ha in progetto di una piccola fattoria eolica della potenza complessiva di 5÷6 MW, proposto all'interno del territorio del comune di Mele (GE), in località Fado – Bric Aresci..

Il progetto prevede l'installazione di soltanto 2 turbine di grandi dimensioni (altezza 90 m, diametro 120 m) al fine di minimizzare gli interventi sull'ambiente a parità di potenza installata.

Tutti gli interventi sono ubicati in loc. Fado Bric Aresci nel comune di Mele (GE).

La progettazione generale dell'intervento è stata curata dallo STUDIOELB – Ingegneri Associati S.r.l. di Corso Torino 17/6 Genova.

Lo Scrivente è stato incaricato di procedere agli studi geologici e geotecnici opportuni così supportando la Progettazione Generale con le valutazioni geologico geotecniche necessarie per le varie fasi progettuali ai sensi del D.M. 14/01/2008 "T.U. sulle Costruzioni" e del D.M. 11/03/1988, nonché di fornire una valutazione sulle eventuali minimizzazioni della pericolosità geomorfologica insistente sull'area da realizzarsi contemporaneamente alla luce della classificazione dell'area di intervento contenuta nei vigenti strumenti di gestione territoriale sia a scala comunale che sovracomunale.

In questa fase di progettazione preliminare si è proceduto a un indagine articolata come segue:

- *sopralluoghi preliminari necessari a prendere visione dello stato dei luoghi e raccogliere tutta la documentazione occorrente nel mese di maggio 2013;*
- *analisi di tutta la documentazione ed i dati pregressi prodotti dallo Scrivente sull'area, su aree contigue e/o assimilabili;*
- *analisi delle riprese aeree disponibili integrata dall'analisi della documentazione geologica idrogeologica ed idraulica esistente a supporto del vigente strumento urbanistico del Comune di Mele e disponibile presso gli uffici comunali;*
- *pianificazione ed esecuzione di una campagna di indagine sui sedimi interessati costituita dal rilievo di dettaglio della caratteristiche geologiche e geomorfologiche del sito, integrata dall'esecuzione di 4 Sondaggi Sismici Verticali SSV con il metodo dell'analisi dei microtremori ambientali (H/V method) volti a ricavare una stima del dato geologico-stratigrafico sulla verticale dei sedimi di intervento ed a fornire una prima caratterizzazione elastica e sismica del sito di intervento.*

Si è infine proceduto ad una rielaborazione di tutto quanto emerso nel presente lavoro onde fornire un primo strumento di progettazione geologico geotecnica e sismica preliminare che dovrà essere poi integrato da una fase esecutiva successiva alla presente fase di scoping che contenga le definizioni di dettaglio del modello geologico, geotecnico e sismico di riferimento per il progetto.

Inquadramento generale

Geomorfologia, geologia ed idrogeologia

Inquadramento geografico

Il sito in esame si trova subito a Nord del la stazione F.S. di Mele (N.C.T. foglio e mappali suddetti), precisamente in Loc. Fado inserito in sponda idrografica sinistra del Torrente Turchino, a monte del tratto autostradale in corrispondenza del viadotto Fado.



Fig.1 – Foto aerea del sito di intervento

Le singole aree in studio sono evidenziate in rosso

Geomorfologia

L'area in esame ricade nell'entroterra di Voltri, ed è circa equidistante tra la costa del mar Ligure ed lo spartiacque appenninico, nella zona in cui quest'ultimo è caratterizzato dall'ampio giogo del passo del Turchino.

Da detto spartiacque , che qui è posto da Est a Ovest ad un'altitudine media di circa 650-700 m, si diparte verso Sud un crinale con andamento circa meridiano, il quale passando per le sommità rappresentate dal Bric Aresci (595 m), dal Bric Ronco (516 m) e dal Bric Prè di Mè (537 m) declina bruscamente verso l'abitato di Mele (160 m), separando la valle del torrente Gorsexio, più ad occidente, da quella del torrente Ceresolo, più orientale.

Il tratto di versante interessato dall'intervento,è posto ad una quota compresa tra i 300 e 480 m s.l.m sulle pendici occidentali del Bric Aresci, ricade proprio a cavallo del descritto crinale, ove questo presenta un versante occidentale molto ripido e netto, che scende verso il T. Turchino con pendenze intorno al 60-75%, mentre l'altro versante, meno acclive e più ondulato, degrada verso SSE con pendenze tra il 35 ed il 50%.

L'area, subito a valle dell'intervento, è caratterizzato da corpi franosi quiescenti di tipo complesso, denominate FQC (cfr. Tav. B del P.U.C. del comune di Mele in scala 1:10.000) comunque senza evidenze di potenziali riattivazioni a breve termine, ed una sostanziale stabilità complessiva.

Nelle aree limitrofe sono presenti anche piccoli affioramenti lentiformi di metabasiti (prasiniti), così come anche riportato dalla carta geolitogica del citato Piano di bacino della Regione Liguria; in corrispondenza della località Priaguzza, ove il versante presenta un marcato diedro allungato seconda la massima pendenza, è presente una zona di accumulo detritico grossolano, di estensione limitata; quest'ultima situazione non ha comunque alcun riflesso sull'opera in progetto.

Il versante meno acclive mostra invece solo sporadici affioramenti ed appare ricoperto da una coltre eluvio colluviale spessa presumibilmente qualche metro, dalla quale emergono blocchi rocciosi anche grossolani; lo spessore di questa coltre va comunque riducendosi verso W, per annullarsi in corrispondenza del displuvio, ove in più punti affiora il substrato roccioso.

Geologia

Il sito oggetto d'intervento si colloca in un'area caratterizzata da coltri eluvio colluviali a granulometria fine, da media a bassa consistenza e caratterizzati da una variabilità di spessore comunque inferiore ai 2 metri (cfr. Tav. A "Carta Geologica" del vigente P.R.G.C. del Comune di Mele in Fig.4)

Tali depositi giacciono su di un substrato litoide affiorante e subaffiorante con coperture detritiche discontinue fin a 1 metro di spessore, da scarsamente a molto fratturata in condizioni di di conservazione da discrete a medie.

Precisamente il corpo roccioso è rappresentato dalla Formazione dei Calcescisti del Turchino (Aquitaniano – Oligocene Sup.) in facies di marna talora siltoso-sabbiosa, grigia, grigio-nocciola o azzurra, spesso divisibile in scaglie o lamine sottili; nella parte medio superiore

localmente si alterna ad arenaria o a sabbia grigiastra, rossicce in superficie, in strati e banchi di spessore vario con impronte da corrente interne o basali.

La giacitura appare coerente con quella regionale ovvero con assetto monoclinale e debole immersione della stratificazione verso NNE configurando per i luoghi in esame un assetto di traverpoggio – reggipoggio quindi non particolarmente predisponente per i movimenti gravitativi e/o compositi.

Idrogeologia

I terreni di copertura non sono sede di una falda permanente, ma sono comunque da permeabilità medio-alta di tipo primario per porosità in cui è potenzialmente presente una saturazione temporanea degli orizzonti superficiali in seguito a precipitazioni intense e persistenti.

La soggiacenza della falda superficiale è stata verificata a livello della presente indagine ed essa appare limitata, almeno nel periodo estivo in cui si sono svolte le indagini, ad un sottile livello che permea la base delle alluvioni presenti.

Il substrato litoide a sua volta è frequentemente sede di un secondo acquifero che vi scorre per bassa permeabilità diffusa (permeabilità di tipo primario) e per una maggiore permeabilità di fratturazione di origine tettonica (permeabilità di tipo secondario).

La soggiacenza di questa seconda falda non è determinabile a priori ma è comunque da ritenersi totalmente estranea alle profondità che verranno interessate dall'opera in progetto

Documentazione cartografica

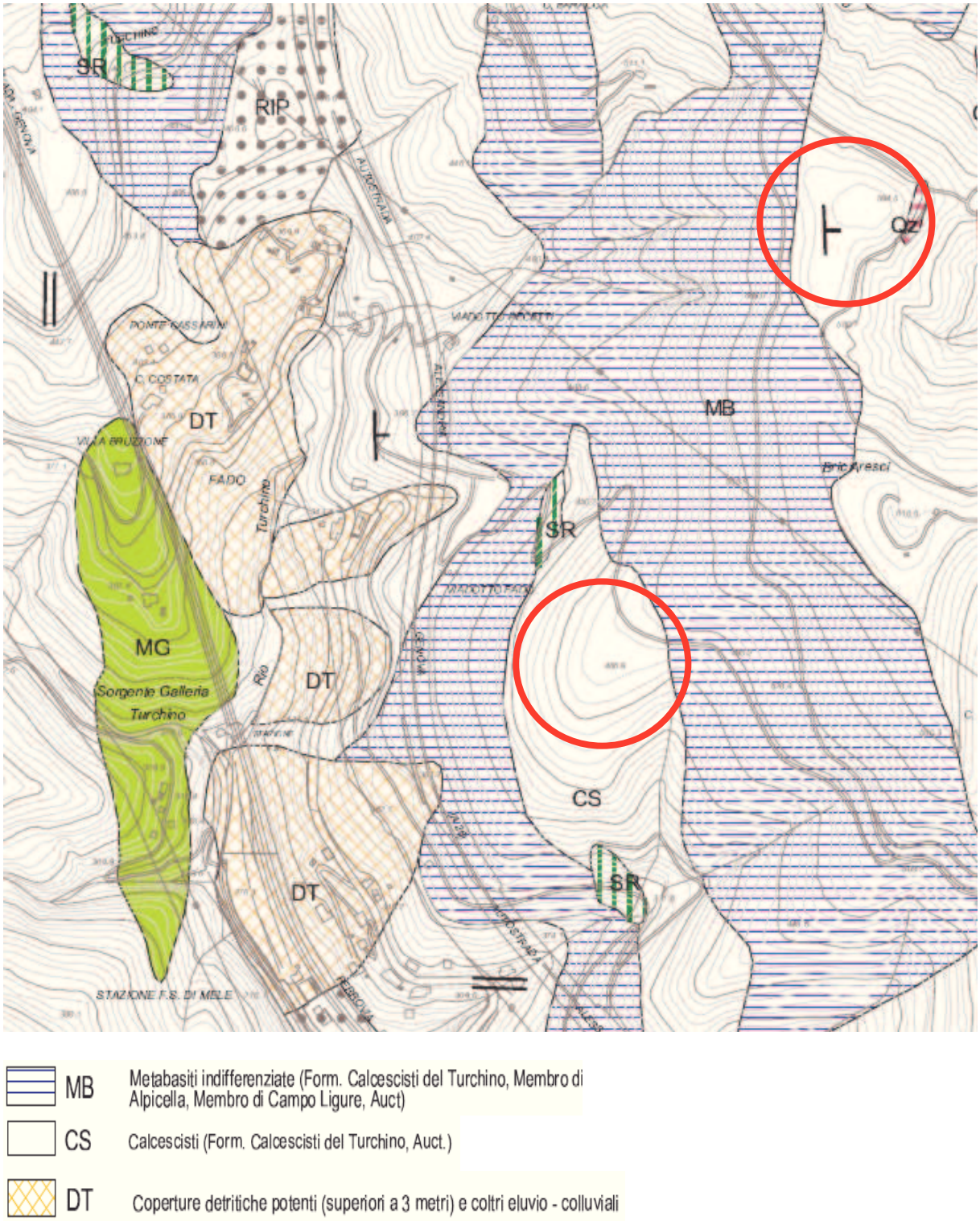
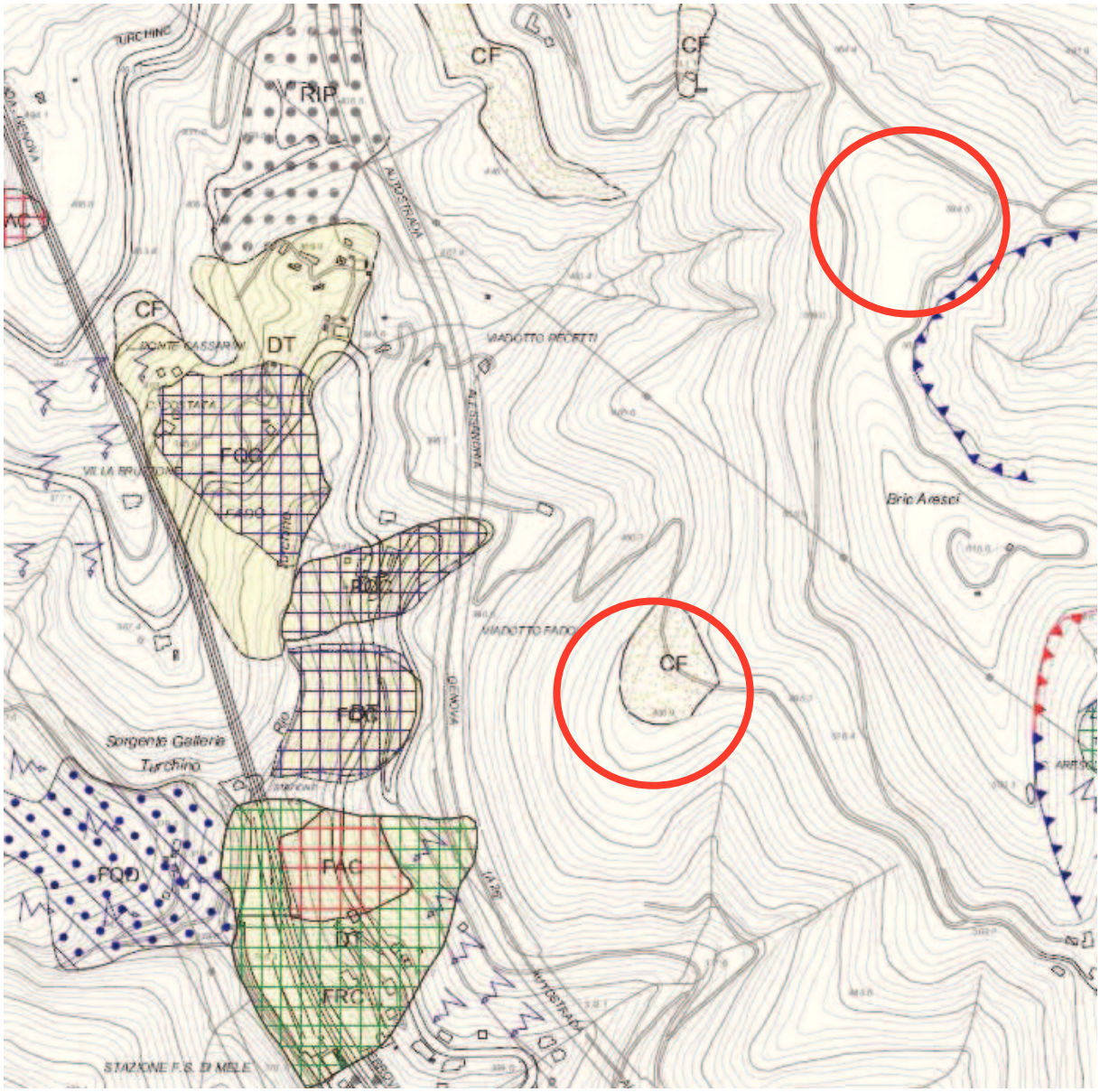


Fig.2 – Estratto della Tav. A "Carta Geologica" Del vigente P.U.C del comune di Mele In scala 1:5.000

Le singole aree in studio sono evidenziate dal circoletto rosso



RF Roccia affiorante (e subaffiorante con coperture detritiche discontinue fino a 1 metro di spessore) da scarsamente a molto fratturata in condizioni di conservazione da discrete a medie

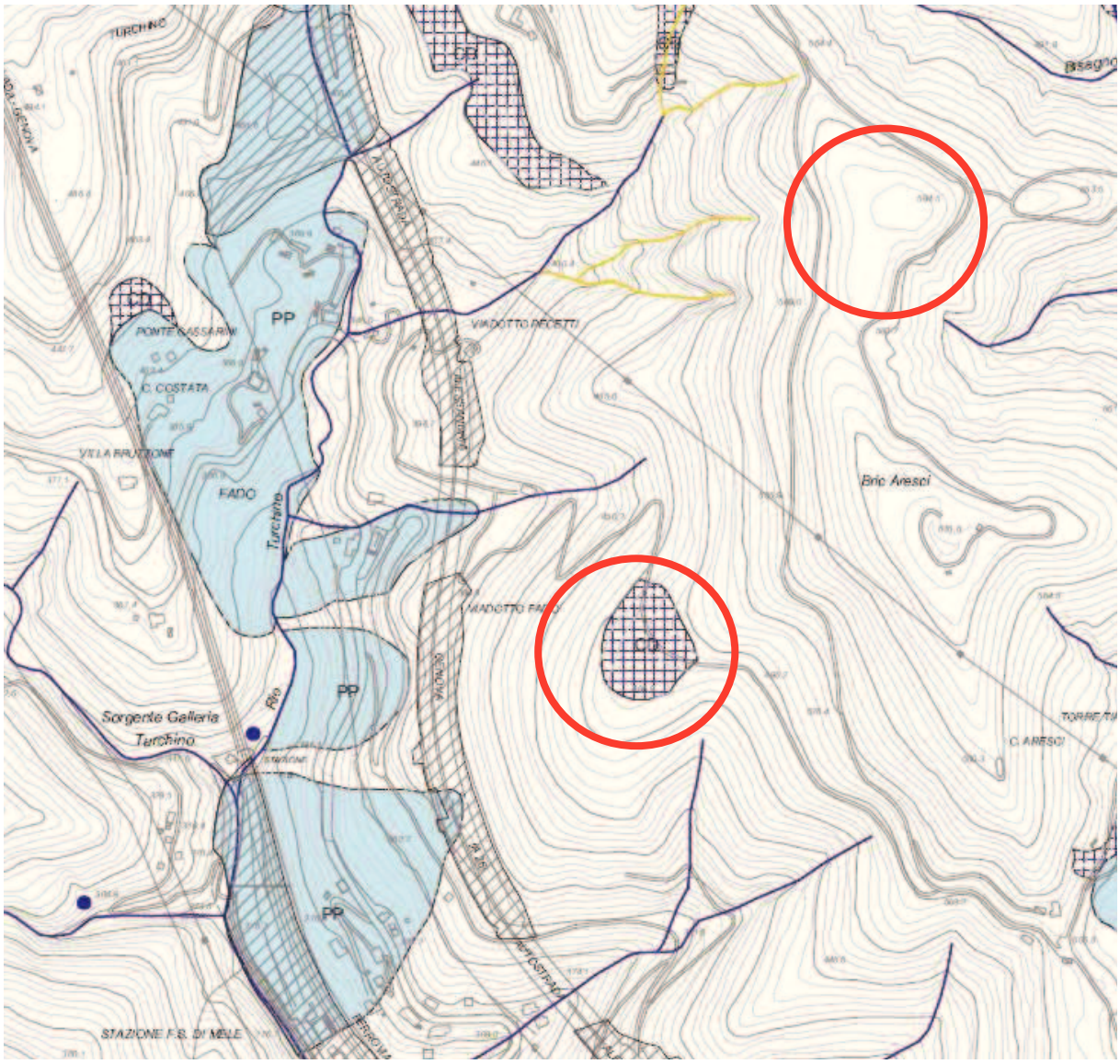
CF Coperture detritiche e depositi eluvio - colluviali da 1 a 3 metri di spessore - fini

FQC Corpo di frana quiescente complessa

DT Coperture detritiche potenti (superiori a 3 metri) e coltri eluvio - colluviali

Fig.3 – Estratto della Tav. B " Carta Geomorfologica" del vigente P.U.C. del Comune di Mele in scala 1:5.000

Le singole aree in studio sono evidenziate dal circoletto rosso



PF Terreni permeabili per fratturazione e/o fessurazione

PP Terreni permeabili per porosità

CD Coltri detritiche permeabili per porosità con relativo substrato roccioso

Fig.4 – Estratto della Tav. C " Carta Idrogeologica" del vigente P.U.C. del Comune di Mele in scala 1:5.000

Le singole aree in studio sono evidenziate dal circoletto rosso

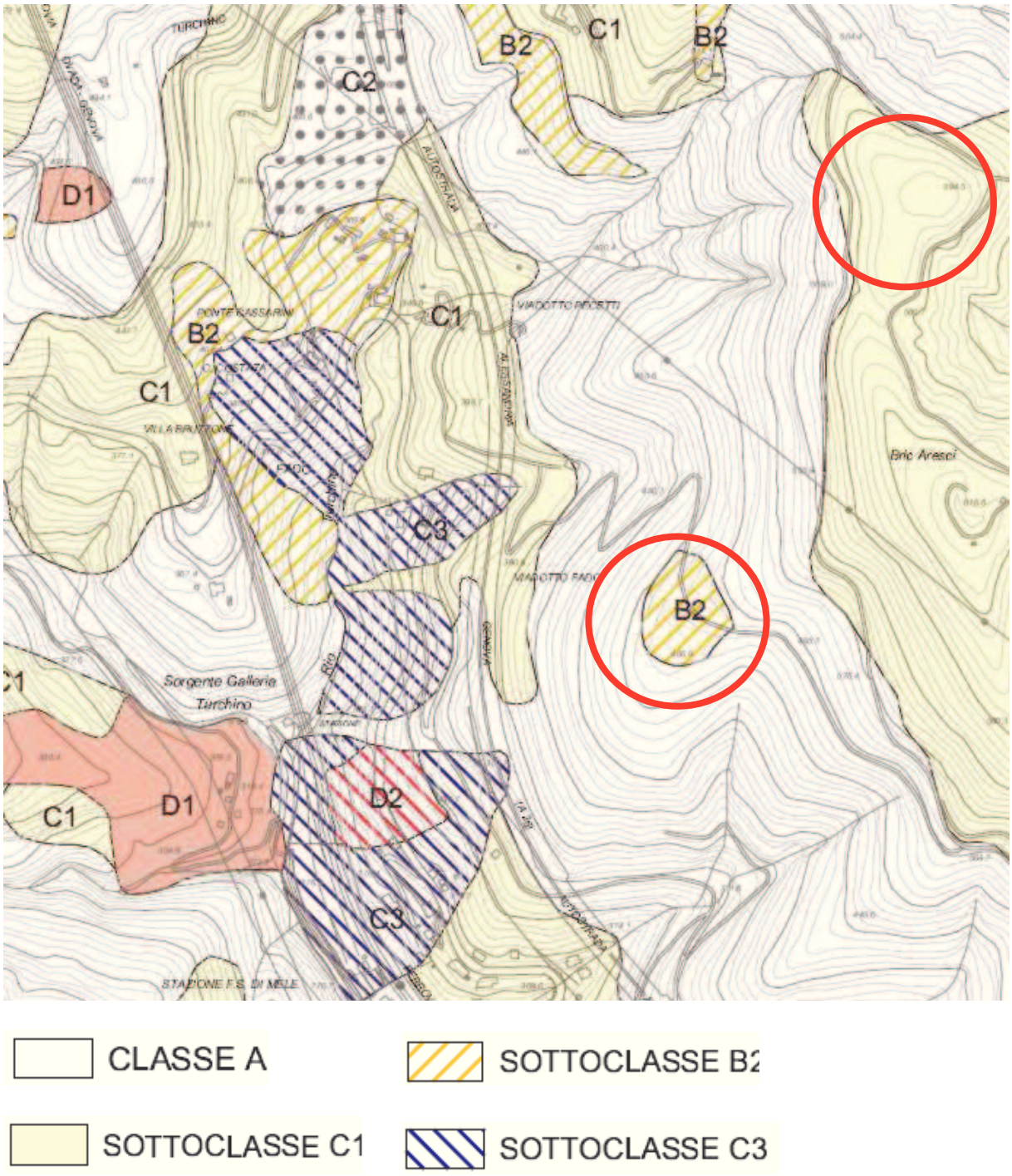
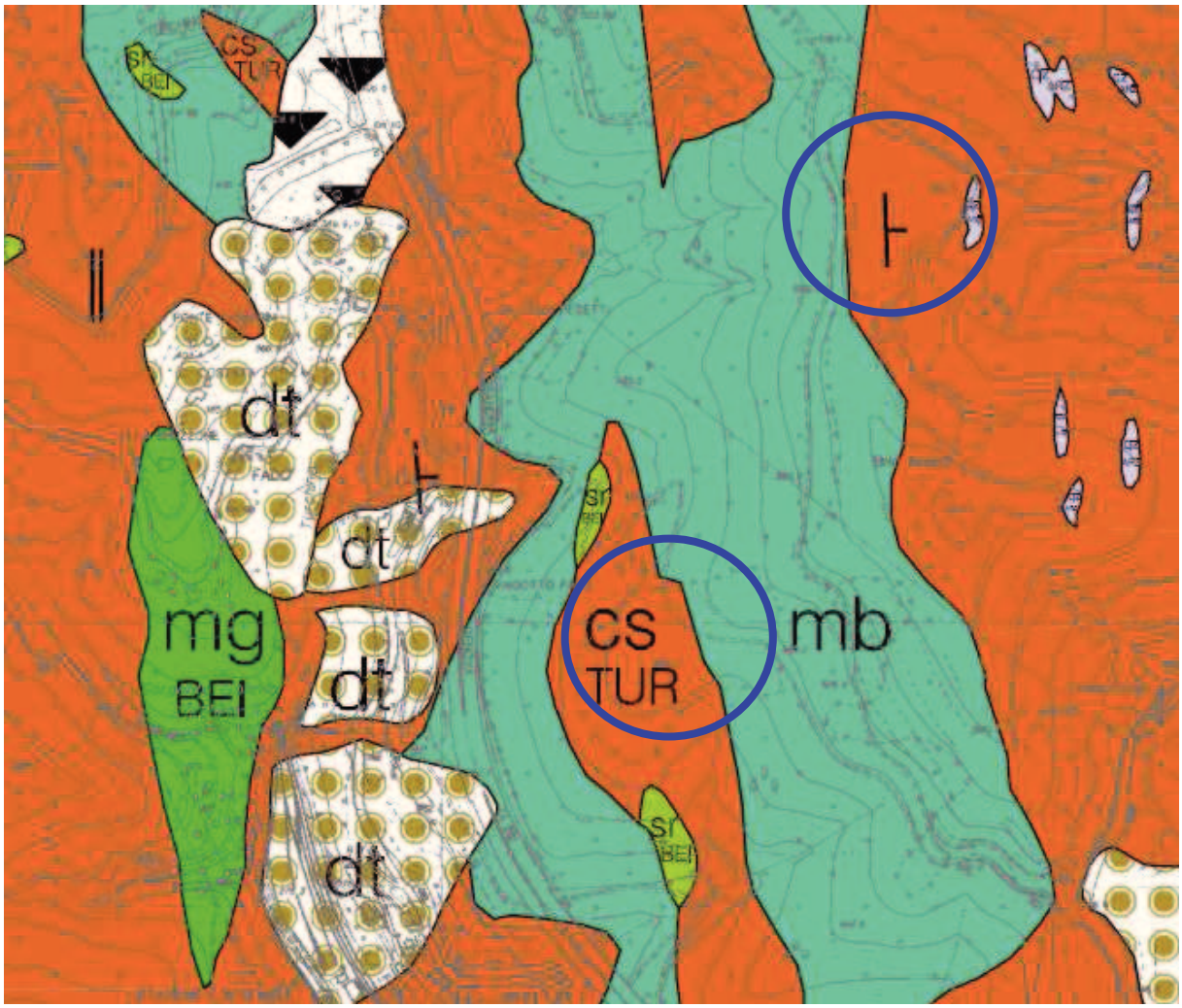
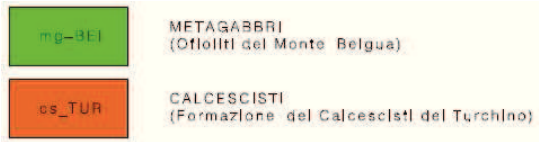


Fig.4 – Estratto della Tav.D" Carta della Zonizzazione e Suscettività d'uso del Suolo"
del vigente P.U.C. del Comune di Mele
in scala 1:5.000

Le singole aree in studio sono evidenziate dal circoletto rosso







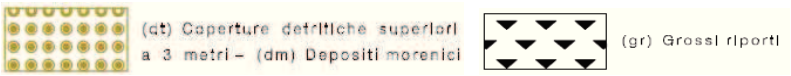


Fig.5 – Estratto del Foglio 213090
" Carta Geolitologica"
del vigente P.d.B. Ambito 12 e 13
della Provincia di Genova
in scala 1:10.000

Le singole aree in studio sono evidenziate dal circoletto blu

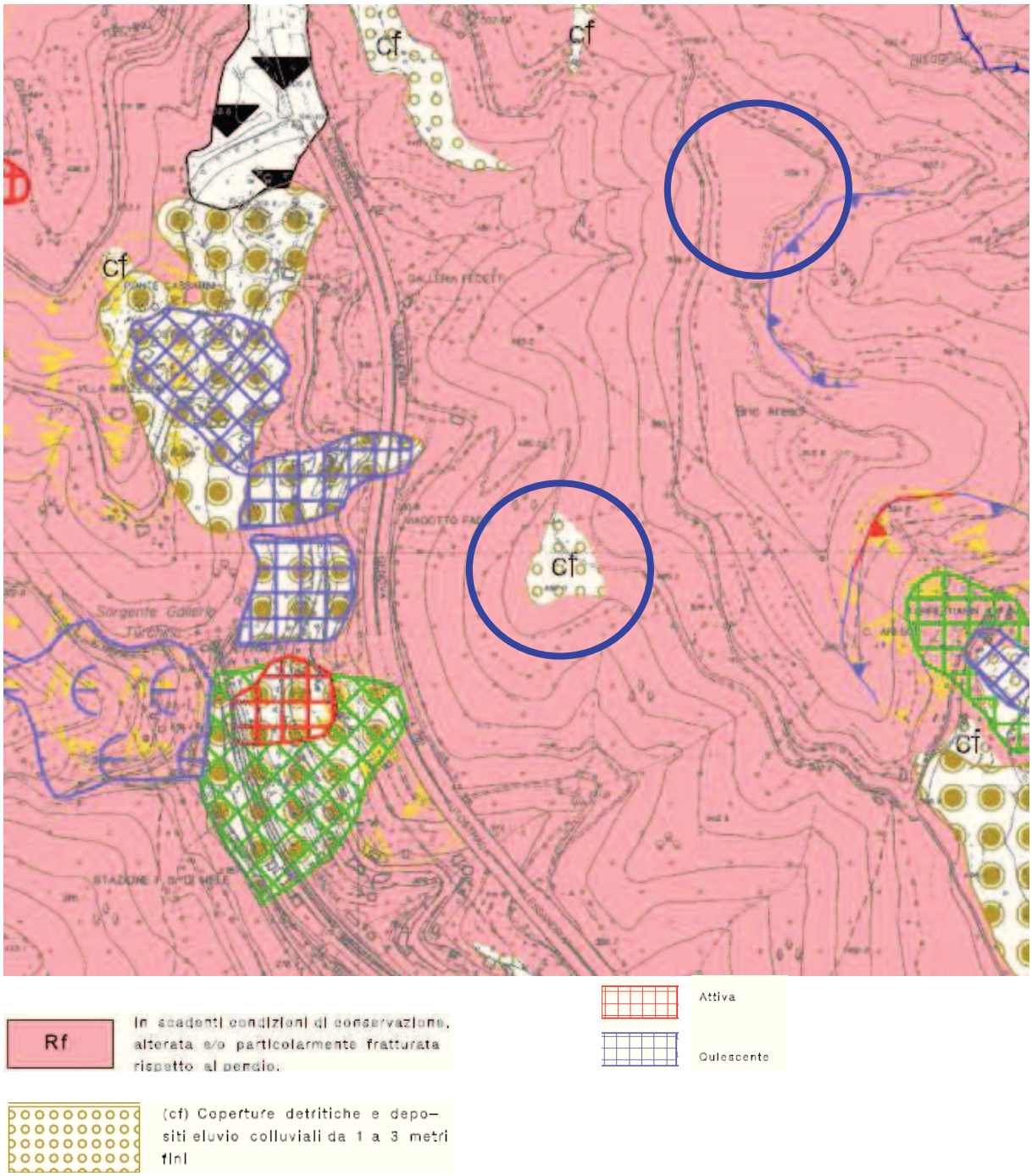


Fig.6 – Estratto del Foglio 213090
" Carta Geomorfologica"
del vigente P.d.B. Ambito 12 e 13
della Provincia di Genova
in scala 1:10.000

Le singole aree in studio sono evidenziate dal circoletto blu

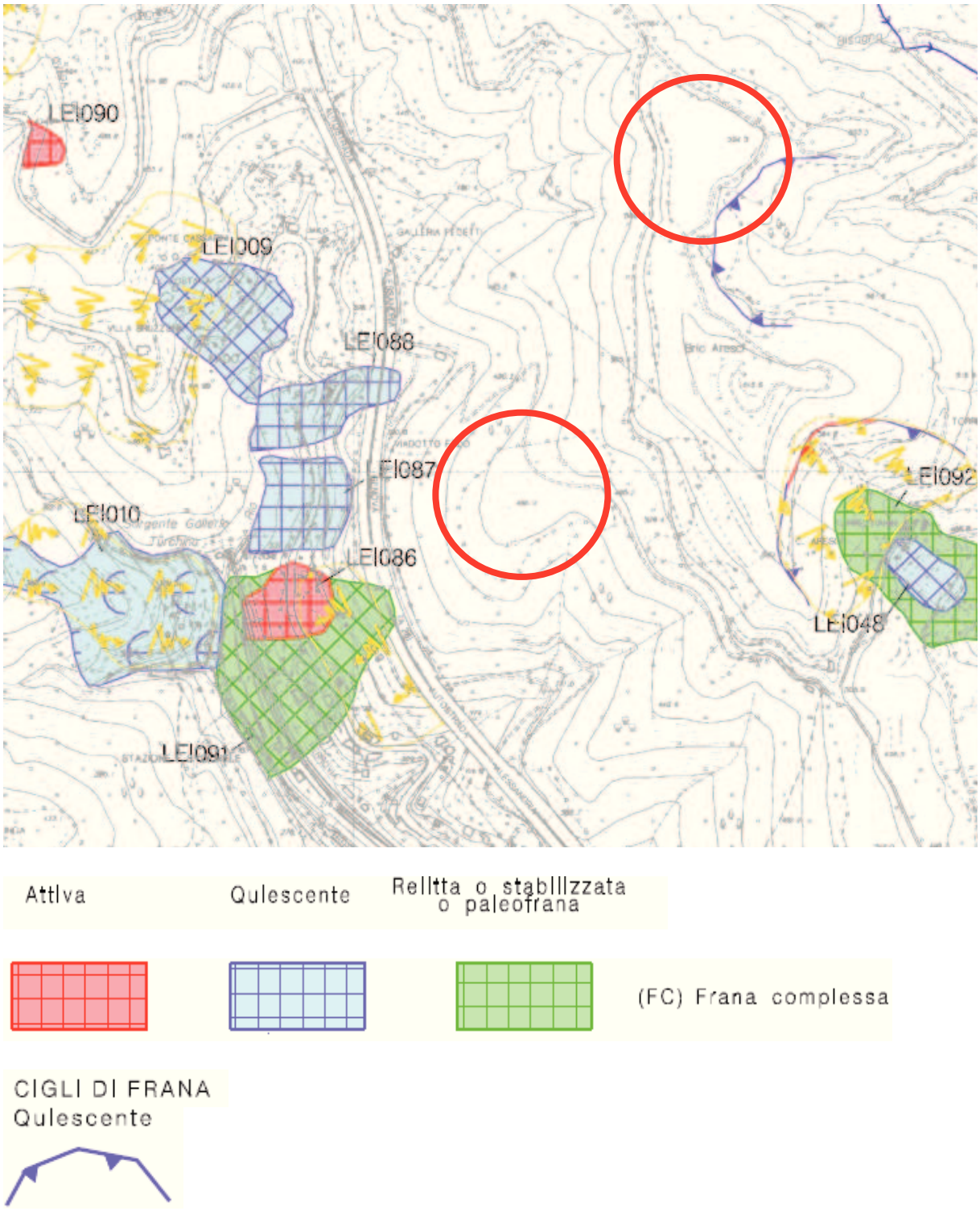
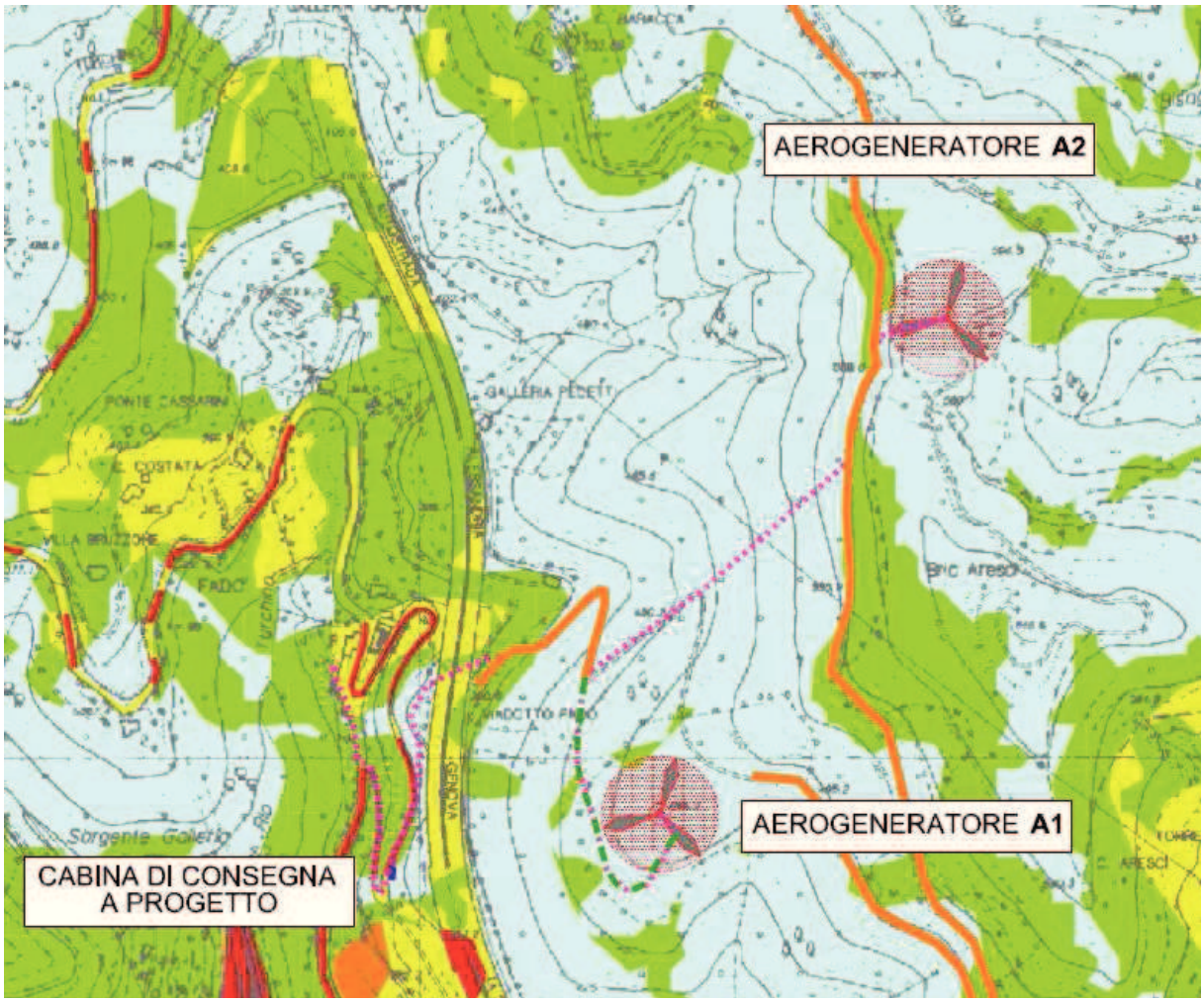


Fig.7 – Estratto del Foglio 213090
" Carta della franosità reale"
del vigente P.d.B. Ambito 12 e 13
della Provincia di Genova
in scala 1:10.000

Le singole aree in studio sono evidenziate dal circoletto rosso



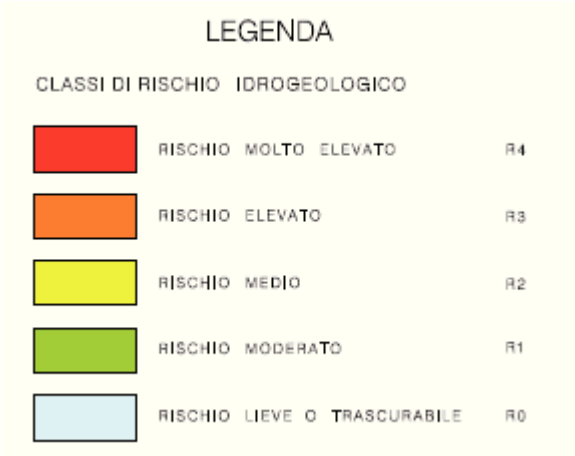


Fig.8– Estratto del Foglio 213090 " Carta del Rischio Idrogeologico" del vigente P.d.B. Ambito 12 e 13 della Provincia di Genova in scala 1:10.000

Le singole aree in studio sono evidenziate dal circoletto blu

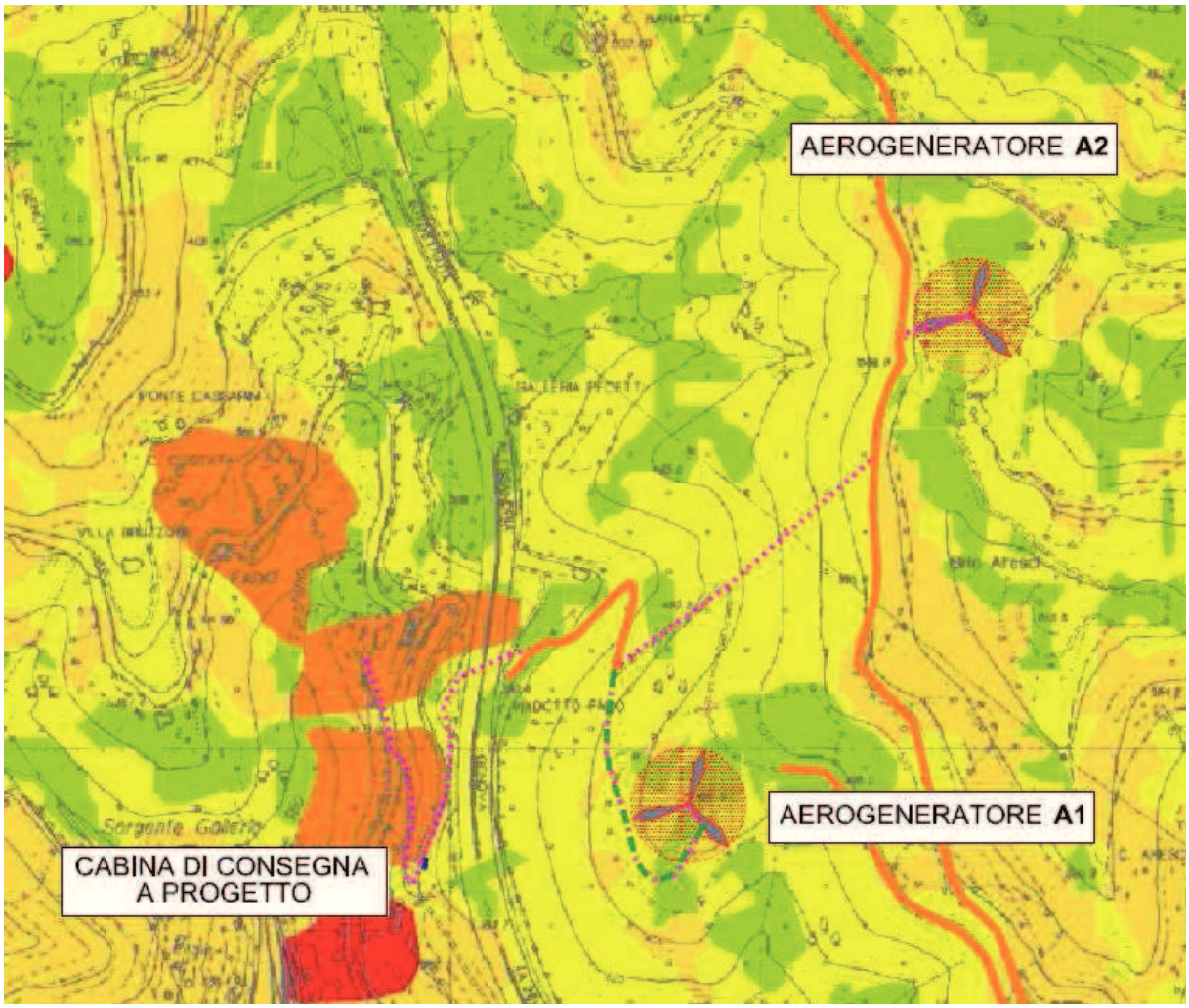




Fig.9 – Estratto del Foglio 213090
"Carta della Suscettività al Dissesto"
del vigente P.d.B. Ambito 12 e 13.
della Provincia di Genova
in scala 1:10.000

Le singole aree in studio sono evidenziate dal circoletto blu

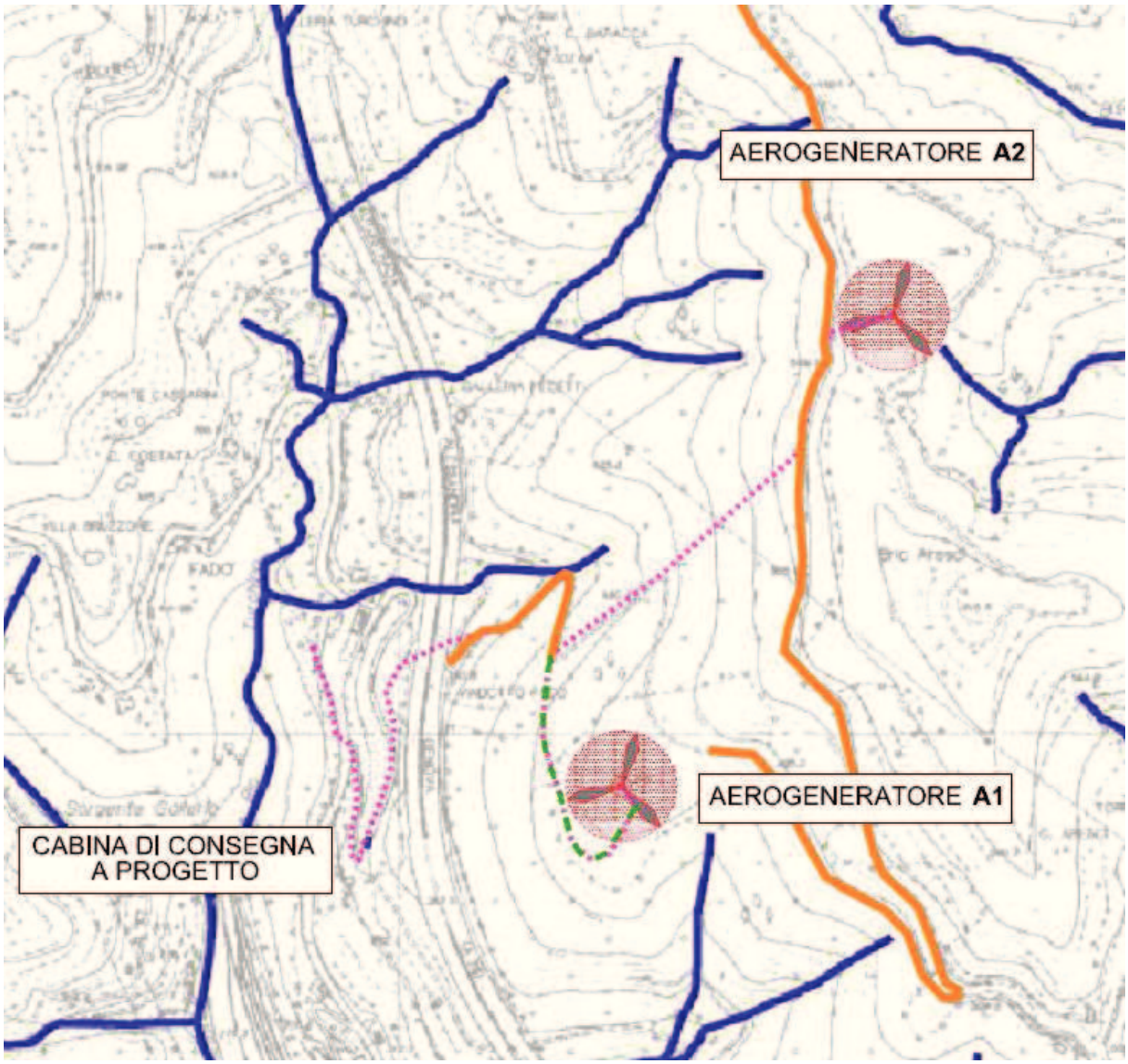


Fig.10 – Estratto del Foglio 213090
"Carta della Suscettività al Dissesto"
del vigente P.d.B. Ambito 12 e 13.
della Provincia di Genova
in scala 1:10.000

Le singole aree in studio sono evidenziate dal circoletto blu

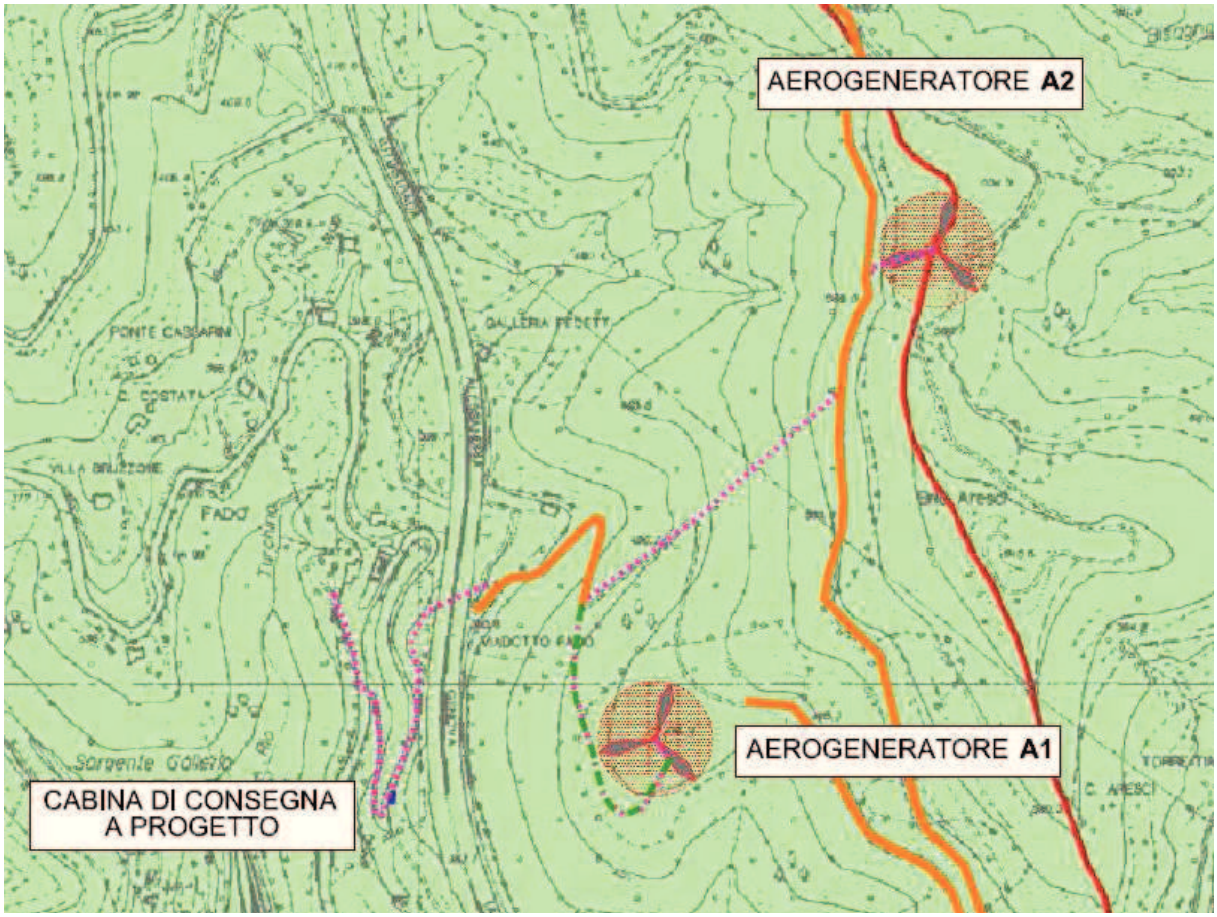


Fig.11 – Estratto del Foglio 213090
"Carta della Suscettività al Dissesto"
del vigente P.d.B. Ambito 12 e 13.
della Provincia di Genova
in scala 1:10.000

Le singole aree in studio sono evidenziate dal circoletto blu

Fattibilità normativa

Negli intendimenti della Spett.le Committenza vi è la realizzazione di piste di cantiere e adeguamento di tracciati stradali esistenti per l'accesso ai siti di installazione dei due nuovi aerogeneratori (cfr. documentazione progettuale*).*

Vincolo idrogeologico

L'area è sottoposta a Vincolo Idrogeologico ai sensi del R.D. 30/12/1923, pertanto è soggetta ad una valutazione geologico geotecnica sul corretto inserimento delle opere in progetto nel comparto geostatico in questione ai sensi della L.R. 4/99.

Normativa geologica del vigente P.R.G.C.:

L'ampia porzione di territorio in cui si svilupperà l'intervento è inserita nella Tav. D "Carta di Zonizzazione d Suscettività d'uso del suolo del territorio comunale" del vigente P.R.G.C. del comune di Mele in zone soggette a classificazione differente; la maggior parte dell'area di intervento è inserita in Classe A ovvero "*Condizionamenti limitati di ordine geologico, geomorfologico ed idrogeologico. Roccia affiorante e/o subaffiorante con coperture inferiori ai 2 metri senza particolari condizionamenti di carattere geologico".*

Aereogeneratore A1

L'aereogeneratore verrà realizzato in Classe A ovvero "*Condizionamenti limitati di ordine geologico, geomorfologico ed idrogeologico. Roccia affiorante e/o subaffiorante con coperture inferiori ai 2 metri senza particolari condizionamenti di carattere geologico".*

L'area in prossimità dell'installazione dell'aerogeneratore in progetto è invece classificata in Sottoclasse B2 ovvero *"Condizionamenti apprezzabili di ordine geologico, geomorfologico ed idrogeologico. Coltri detritiche di natura eluvio-colluviale localmente rimaneggiate con spessori superiori a 3 metri, apparentemente stabili con modesti fenomeni circoscritti".*

Pista di accesso autostradale

L'area di valle in corrispondenza della realizzazione della pista di cantiere di accesso al sito di installazione vero e proprio è classificato in parte in Sottoclasse C1 ovvero in *"Condizionamenti elevati di ordine geologico, geomorfologico e idrogeologico. Roccia affiorante in erosione o subaffiorante in stato di degrado avanzato con fenomeno di dissesto potenziale, frequentemente ricoperta da coltri di spessori inferiori ai 2 metri"* ed in parte in Sottoclasse C3 ovvero in "*condizionamenti elevati di ordine geologico, geomorfologico ed idrogeologico. Coltre detritica di natura eluvio-colluviale con spessori variabili e con latenti condizioni di instabilità".*

L'intervento in progetto risulta quindi pienamente assentibile alla luce della specifica normativa di uso del territorio contenuta nel vigente P.R.G.C. a patto della realizzazione di uno studio geologico esecutivo che seguirà il presente scritto, in cui vengono esaminati sia gli aspetti meramente geotecnici della nuova realizzazione che quelli legati alle mitigazioni del rischio idrogeologico insistente sui luoghi necessarie alle opere in progetto

Aereogeneratore A2

L'aereogeneratore verrà realizzato in una porzione di territorio classificata come Sottoclasse C1 ovvero "*Condizionamenti elevati di ordine geologico, geomorfologico e idrogeologico. Roccia affiorante in erosione o subaffiorante in stato di degrado avanzato con fenomeno di dissesto potenziale, frequentemente ricoperta da coltri di spessori inferiori ai 2 metri"*.

Occorre però notare come questa classificazione dell'area di realizzazione dell'aereogeneratore A2 non sembra coincidere con l'effettiva natura dei luoghi che dalle indagini preliminari eseguite sembrerebbe avere dei minimi condizionamenti geologici e geomorfologici tale da farle sembrare in tutto analoga a una Classe A.

Progettazione geologico geotecnica

La presente Relazione Geologica e Geotecnica si pone quindi quale strumento preliminare per la realizzazione del progetto in parola ai sensi del disposto del T.U. 14/01/2008 e del D.M 11-03-1988 e succ. NN.II.

La presente Relazione Geologica, si pone inoltre come strumento preliminare di analisi puntuale delle situazioni di rischio idrogeologico e geomorfologico connesse con la realizzazione del progetto in parola arrivando ad esprimere una valutazione sul corretto inserimento delle opere in progetto nel comparto geostatico in questione.

Piano di indagine

Per arrivare a determinare tutto quanto sopra discusso si è ritenuto di procedere ad una campagna di accertamenti geognostici così strutturata:

1. rilievo di dettaglio delle caratteristiche geologiche e geomorfologiche del sito;

2. analisi e studio di indagini di dettaglio pregresse eseguite dallo Scrivente in aree limitrofe al sito in esame o ad esso ben assimilabili;

    1) esecuzione di 4 Sondaggi Sismici Verticali, mediante una tecnica di nuovissima concezione (analisi dei microtremori ambientali H/V method) ad estendere in profondità le risultanze dei sondaggi geognostici sub 3) e a fornire una prima stima sulla caratteristiche elastiche dei terreni interessati.

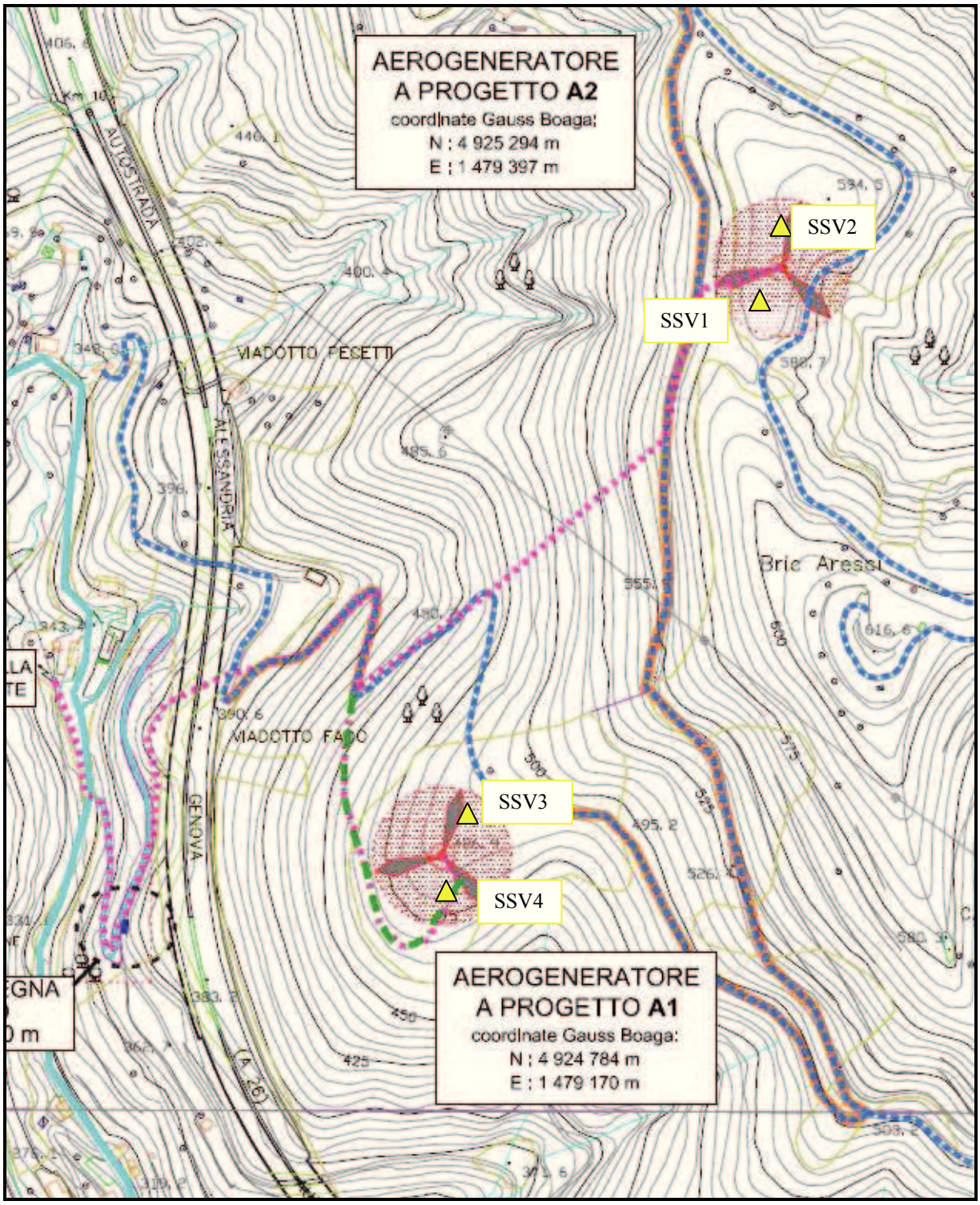


Fig.12 Estratto di progetto su CTR ed ubicazione indagini eseguite

Risultanze delle indagini eseguite

Premessa
A fornire una ricostruzione del sedime di intervento sono state eseguiti 4 Sondaggi Sismici Verticali (2 per ogni nuovo aerogeneratore), a fornire un primo dato stratigrafico di terreni di copertura e substrato litoide in posto e caratterizzarli sismicamente.

Tutte le schede e i diagrammi relativi alle prove eseguite sono disponibili in allegato; si tenga presente che per tutti i riferimenti di quota si è utilizzato il livello del piano campagna (p.c.) al momento dell'esecuzione delle indagini e prima di qualsiasi intervento di sbancamento e/o riporto così come rilevato nelle planimetrie di Stato di Fatto (cfr. documentazione progettuale).

Rilievo di campagna
Il sito in esame si presenta collocato in un'area subpianeggiante lungo un versante a medio elevata acclività, caratterizzata da una certa pericolosità geomorfologia dovuta ad instabilità locali.

Il rilievo della situazione alla microscala tramite rilievo diretto di campagna permesso di evidenziare come non vi siano indizi di dissesti attivi insistenti sul sito che costituiscano pregiudiziale per le realizzazioni in progetto;

Inoltre dal rilievo strutturale eseguito sugli affioramenti visibili, lungo la strada a valle del sito in esame, si evidenzia la giacitura favorevole delle serie litoidi rispetto al pendio e lo stato di discreta conservazione della roccia affiorante e subaffiorante.

Sondaggi Sismici Verticali SSV - metodo
I rilievi sismostratigrafici eseguiti hanno utilizzato una tecnica di nuovissima concezione e di ancor più recente applicazione in Italia, che è quella dell'analisi dei microtremori ambientali (cfr scheda esplicativa sul metodo in allegato).

Nello specifico si tratta di eseguire una misura delle minime oscillazioni naturali sempre presenti nella crosta terrestre perché indotte dall'azione di vento, maree ecc., e di andarne a studiare il rapporto tra le componenti orizzontali e verticali di tale moto.

Tale misura è tutt'altro che semplice complice le ridottissime energie e i minimi spostamenti da misurare, ed a tale scopo si utilizza un tromografo digitale ad altissima sensibilità appositamente progettato.

In estrema sintesi la tecnica H/V mette in relazioni le variazioni del rapporto alle varie frequenze tra la componente orizzontale e verticale dei microtremori ambientali, con le variazioni litostratigrafiche che si incontrano nel sottosuolo al di sotto del punto di misura e fornisce così un indicazione litostratigrafica al di sotto del punto di misura.

Laddove il rapporto H/V ha un picco si ha una variazione di litologia che è tanto più marcata tanto più grande è il picco in questione.

Il passo ulteriore è mettere in rapporto la frequenza a cui avviene questo passaggio con la sua profondità (inversione) operazione questa usualmente eseguita o tramite punti di taratura noti nelle vicinanze del sito di indagine o tramite programmi appositi che sfruttano tecniche di regressione matematica.

Sondaggi Sismici Verticali SSV - risultati

I grafici della misura eseguita in SSV1 sono riportati nelle Fig.13,14,15,16, ove è possibile vedere sia lo spettro delle 3 componenti X, Y e Z dei microtremori misurati sia l'analisi del rapporto H/V alle varie frequenze di interesse, mentre le schede di prova in esteso secondo le linee guida del progetto europeo Sesame sono riportate in allegato.

Si noti bene che in presenza di un punto di taratura diretta in situ le profondità che verranno qui di seguito esposte sono suscettibili di un errore di ± 7 %.

SSV1

La prima misura (SSV1) eseguita all'interno dell'area di realizzazione dell'aerogeneratore 2, non mostra una netta struttura di risonanza principale, segno evidente della presenza di roccia affiorante o sub affiorante.

Il grafico comunque mostra ma una serie di strutture di minore entità ascrivibili alla presenza di discontinuità litologiche e/o tettoniche dell'ammasso roccioso, o stato di conservazione alterato o degradato del substrato.

Tali caratteristiche geomeccaniche del corpo litoide andranno investigate in fase di progettazione esecutiva dell'intervento.

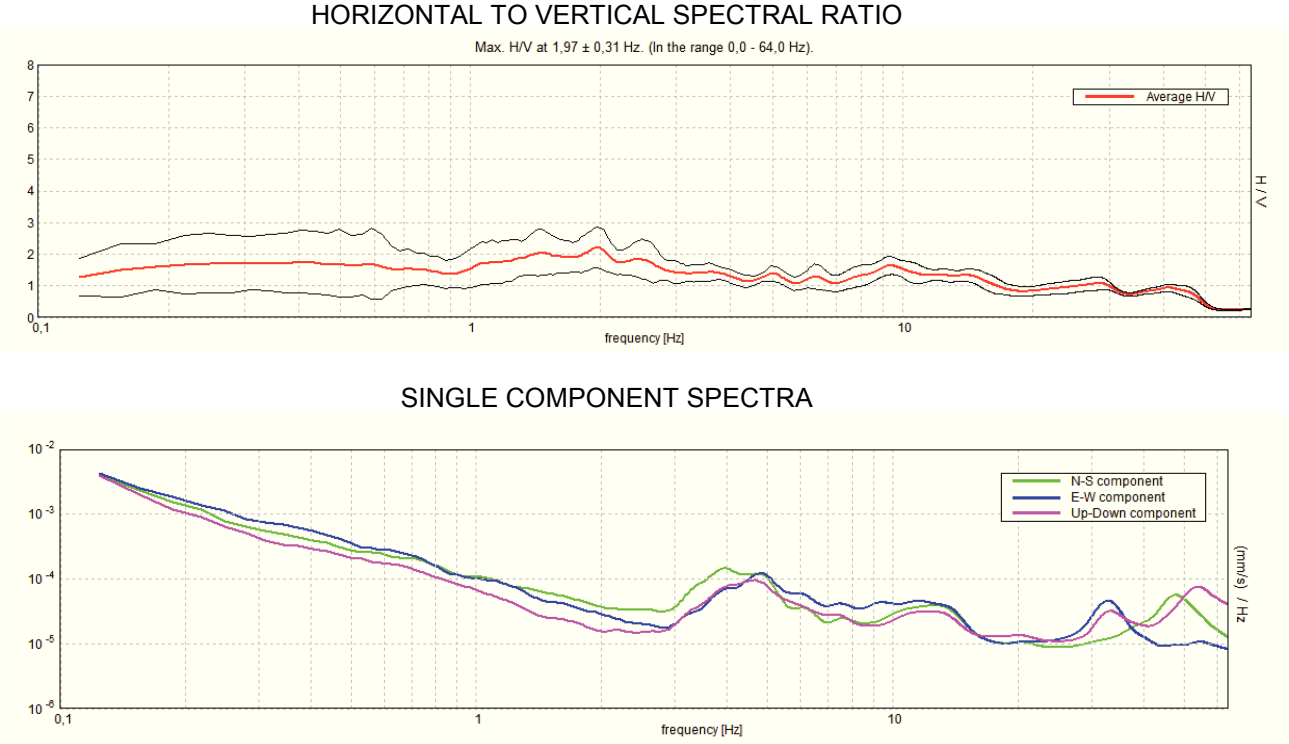


Fig. 13– SSV1 - Grafico delle 3 componenti dei moti misurati e rapporto H/V alle frequenze d interesse. Le frecce nera indicano le frequenza di risonanza principali discusse nel testo

SSV2

La seconda misura (SSV1) eseguita all'interno dell'area di realizzazione dell'aerogeneratore 2, non mostra una netta struttura di risonanza principale, segno evidente della presenza di roccia affiorante o sub affiorante.

Il grafico comunque mostra ma una serie di strutture di minore entità ascrivibili alla presenza di discontinuità litologiche e/o tettoniche dell'ammasso roccioso, o stato di conservazione alterato o degradato del substrato.

alla presenza di discontinuità litologiche e/o tettoniche dell'ammasso roccioso.

Tali caratteristiche geomeccaniche del corpo litoide andranno investigate in fase di progettazione esecutiva dell'intervento.

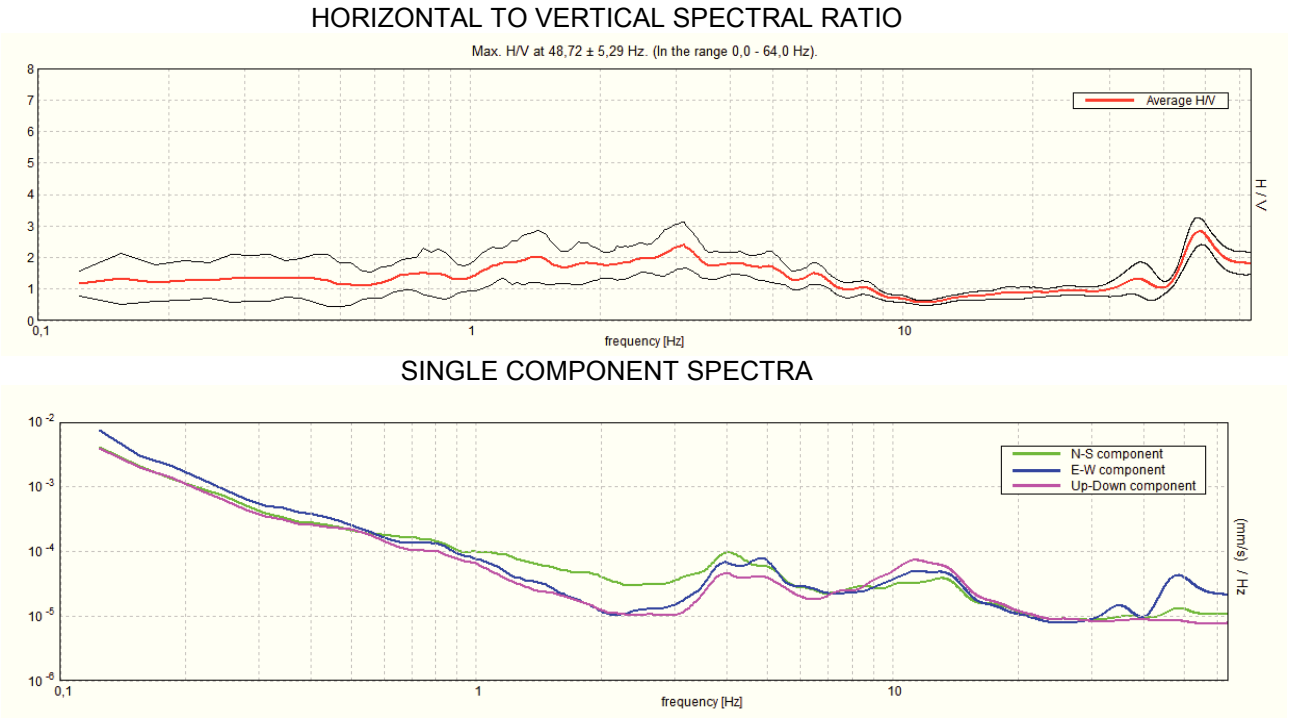


Fig.14– SSV2 - Grafico delle 3 componenti dei moti misurati e rapporto H/V alle frequenze d interesse. Le frecce nera indicano le frequenza di risonanza principali discusse nel testo

SSV3

La terza misura (SSV3) eseguita invece all'interno dell'area di realizzazione dell'aerogeneratore 1, mostra una serie di strutture minori sino ad una frequenza di 3,5 Hz ovvero a profondità comunque maggiori di 7,00 m, identificabile come il passaggio dalle coltri detritiche esistenti frammiste al substrato disarticolato e talora disgregato, al bedrock vero e proprio.

Tuttavia al momento dell'esecuzione delle indagini, le condizioni atmosferiche (vento) potrebbero aver disturbato la registrazione, ipotesi confermata dal grafico in allegato (cfr. H/V Time History).

Pertanto, la stratigrafia e le caratteristiche geomeccaniche del substrato in posto, saranno oggetto di studio geologico e geotecnico approfondito in fase di progettazione esecutiva dell'opera.

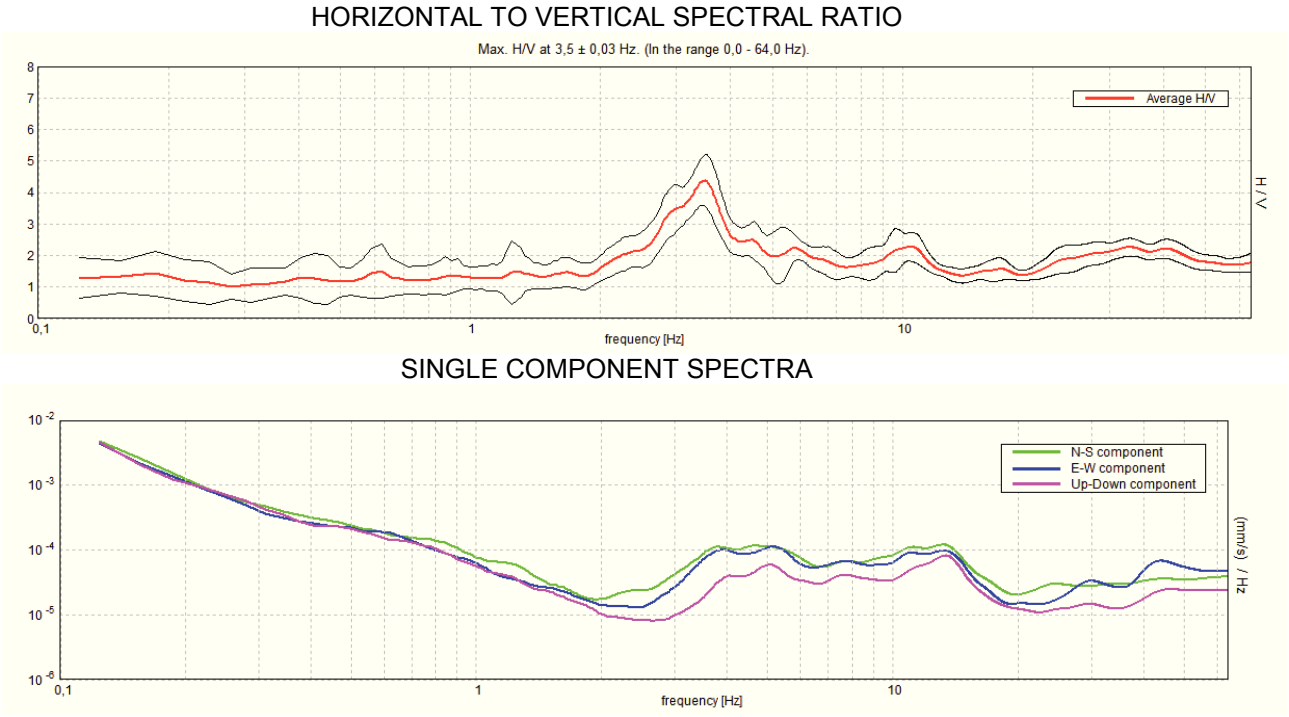


Fig.15– SSV3- Grafico delle 3 componenti dei moti misurati e rapporto H/V alle frequenze d interesse. Le frecce nera indicano le frequenza di risonanza principali discusse nel testo

SSV4

L'ultima misura (SSV4) eseguita invece all'interno dell'area di realizzazione dell'aerogeneratore 1, mostra una serie di strutture minori sino ad una frequenza di 3,8 Hz ovvero a profondità comunque maggiori di 6,50 m, identificabile come il passaggio dalle coltri detritiche esistenti frammiste al substrato disarticolato e talora disgregato, al bedrock vero e proprio.

Tuttavia al momento dell'esecuzione delle indagini, le condizioni atmosferiche (vento) potrebbero aver disturbato la registrazione, ipotesi confermata dal grafico in allegato (cfr. H/V Time History).

Pertanto, la stratigrafia e le caratteristiche geomeccaniche del substrato in posto, saranno oggetto di studio geologico e geotecnico approfondito in fase di progettazione esecutiva dell'opera.

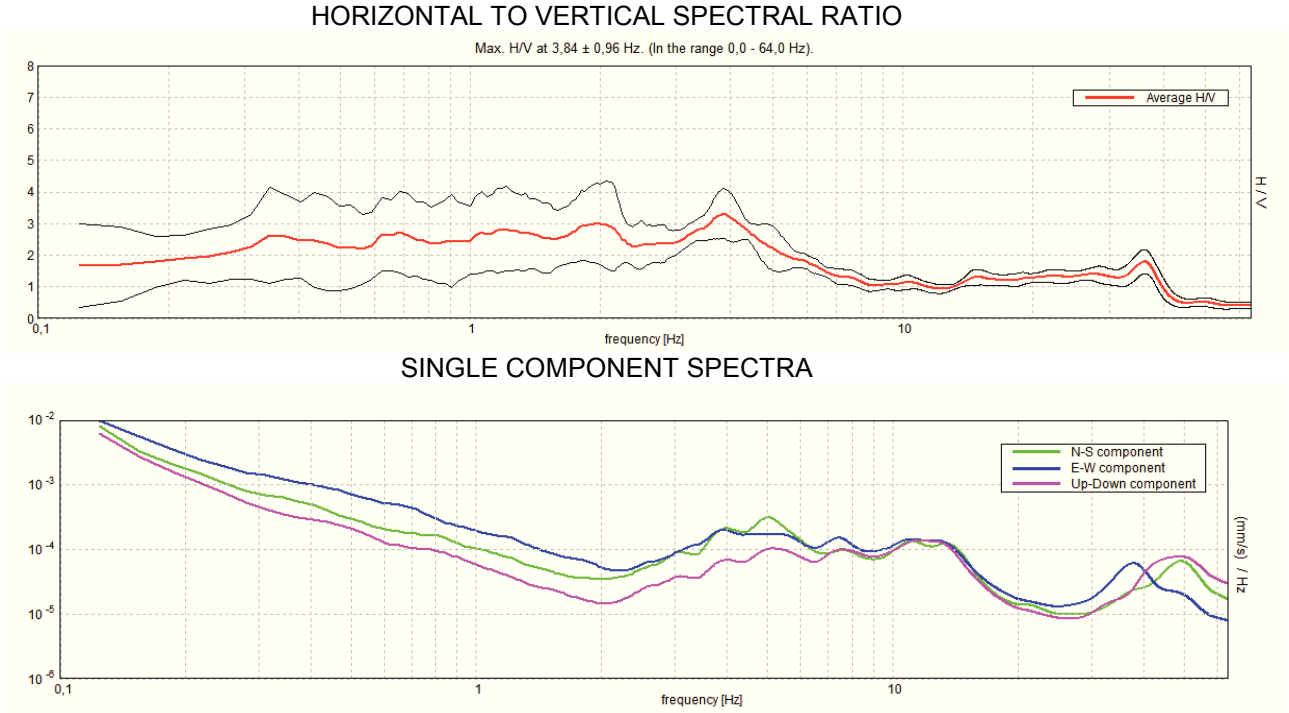


Fig.16– SSV4 - Grafico delle 3 componenti dei moti misurati e rapporto H/V alle frequenze d interesse. Le frecce nera indicano le frequenza di risonanza principali discusse nel testo

.

Caratterizzazione litostratigrafica, geotecnica ed idrogeologica dei terreni

Suddivisione litostratigrafica
MODELLO GEOLOGICO ex T.U. 14/01/2008

SSV1	SSV2	SSV3	SSV4
	0.00 m	**0,00 m**	
Unità Litostratigrafica 1 Coltri detritiche			
-0.10 m	**-0.10 m**	**> 7,00 m**	**> 7,00 m**
Unità Litostratigrafica 2 Bedrock roccioso			
>30.0 m	**> 30.0 m**	**>30.0 m**	**> 30.0 m**

Tab.1 Modello Geologico

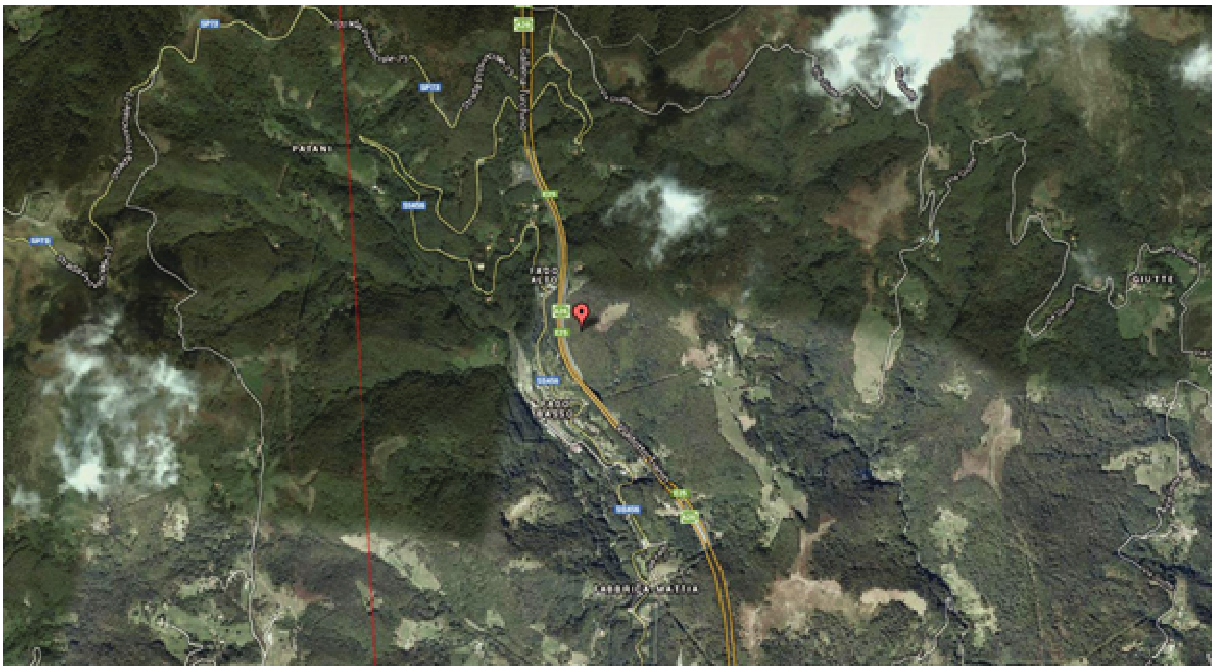
Situazione piezometrica dei luoghi
Non è apparsa evidenza di falde superficiali potenzialmente interferenti con le fondazioni degli aereogeneratori ma tale aspetto dovrà essere verificato in sede di progettazione geologico geotecnica esecutiva tramite un opportuna campagna di accertamenti diretti in situ.

Caratterizzazione Geotecnica degli orizzonti attraversati
MODELLO GEOTECNICO ex T.U. 14/01/2008 in termini di parametri caratteristici Fk

Sulla base dei dati qui raccolti non si può arrivare alla produzione di un modello geotecnico di sottosuolo.

Tale aspetto dovrà essere verificato in sede di progettazione geologico geotecnica esecutiva tramite un opportuna campagna di accertamenti diretti in situ e di prove di laboratorio.

PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE



Opcm 3274/03
Il Comune di Mele ai sensi dell'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n.3274 del 20/03/2003 viene classificato **sismico in Zona 4**.

Il 24/10/2008 la Giunta Regionale ha approvato con delibera n. 1308 di aggiornamento ed adeguamento delle zone sismiche della Liguria. Pertanto la nuova mappatura sismica classifica l'area in esame in **Zona Sismica 3B.**

Ai Comuni classificati attualmente in Classe 3 si mantengono le procedure di deposito del progetto controllo e le modalità operative in atto, variando le percentuali di applicazione dei controlli, ai fini del rispetto della normativa tecnica per le costruzioni, campionando una percentuale non inferiore al 40% delle le opere da realizzarsi in zona sismica 3 e non inferiore al 5% per quelle in zona 4.

Opcm 3519/06
la seguente dell'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n.3519 del 24/04/2006 individua i valori di pericolosità sismica dell'intero territorio nazionale su di apposita cartografia prodotta dall'INGV -griglia di riferimento pari a 0.05° poi infittita a 0.02°- espressi in termini di accelerazione massima del suolo a_g con probabilità di superamento del 10% in 50 anni, riferita a suoli rigidi.

Tale cartografia per il sito in esame fornisce il seguente valore:
Accelerazione del suolo, riferita a suoli rigidi ***<0.10 g*** con probabilità di eccedenza pari al 10% in 50 anni

Vita nominale (Vn):	50	[anni]
Classe d'uso:	IV	
Coefficiente d'uso (Cu):	2	
Periodo di riferimento (Vr):	100	[anni]

Periodo di ritorno (Tr) SLO:	60	[anni]
Periodo di ritorno (Tr) SLD:	101	[anni]
Periodo di ritorno (Tr) SLV:	949	[anni]
Periodo di ritorno (Tr) SLC:	1950	[anni]

Tipo di interpolazione: Media ponderata

Coordinate geografiche del punto	
Latitudine (WGS84):	44,4753500 [°]
Longitudine (WGS84):	8,7363190 [°]
Latitudine (ED50):	44,4763100 [°]
Longitudine (ED50):	8,7373700 [°]

Coordinate dei punti della maglia elementare del reticolo di riferimento che contiene il sito e valori della distanza rispetto al punto in esame

Punto	ID	Latitudine (ED50) [°]	Longitudine (ED50) [°]	Distanza [m]
1	16471	44,489370	8,724830	1760,24
2	16472	44,492160	8,794727	4879,54
3	16694	44,442240	8,798568	6159,76
4	16693	44,439450	8,728745	4155,50

Parametri di pericolosità sismica per TR diversi da quelli previsti nelle NTC08, per i nodi della maglia elementare del reticolo di riferimento

Punto 1

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	60	0,029	2,528	0,208
SLD	101	0,036	2,545	0,228
SLV	949	0,079	2,558	0,296
SLC	1950	0,101	2,539	0,308

Punto 2

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	60	0,031	2,522	0,211
SLD	101	0,038	2,546	0,240
SLV	949	0,088	2,509	0,292
SLC	1950	0,113	2,499	0,296

Punto 3

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	60	0,030	2,529	0,209
SLD	101	0,036	2,550	0,238
SLV	949	0,079	2,566	0,298
SLC	1950	0,100	2,557	0,311

Punto 4

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	60	0,029	2,537	0,206
SLD	101	0,035	2,548	0,227
SLV	949	0,073	2,586	0,310
SLC	1950	0,090	2,636	0,321

Punto d'indagine

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	60	0,030	2,529	0,208
SLD	101	0,036	2,546	0,231
SLV	949	0,080	2,556	0,298
SLC	1950	0,101	2,555	0,309

Conclusioni

La Società S.F.E.R.A. Energia e Ambiente Srl, ha in progetto la realizzazione di una piccola fattoria eolica della potenza complessiva di 5÷6 MW, proposto all'interno del territorio del comune di Mele (GE), in località Fado – Bric Aresci..

Il progetto prevede l'installazione di soltanto 2 turbine di grandi dimensioni (altezza 90 m, diametro 120 m) al fine di minimizzare gli interventi sull'ambiente a parità di potenza installata.

Tutti gli interventi sono ubicati in loc. Fado Bric Aresci nel comune di Mele (GE).

Ad opera dello Scrivente, ai sensi del vigente disposto normativo, è stato quindi effettuato uno studio sui luoghi teso alla valutazione sul corretto inserimento delle opere in progetto, nel comparto geostatico in questione ai sensi del disposto della normativa di utilizzo del territorio contenuta nel vigente P.R.G.C. ed una modellizzazione geologico del sottosuolo dell'intervento ai sensi dalla vigente normativa (N.T.C. 14/01/2008 e del D.M. 11/03/1988).

- L'ampia porzione di territorio in cui si svilupperà l'intervento è inserita nella Tav. D "Carta di Zonizzazione di Suscettività d'uso del suolo del territorio comunale" del vigente P.R.G.C. del comune di Mele in zone soggette a classificazione differente; la maggior parte dell'area di intervento è inserita in Classe A; le aree dei nuovi aerogeneratori rispettivamente in Classe B2 (torre A1) e Classe C1 (torre A2) sebbene quest'ultima classificazione sembri chiaramente sovrastimare i condizionamenti geologico geomorfologici locali; la porzione di territorio della nuova cabina di consegna e dei nuovi collegamenti MT in parte sono in Classe C1 ed in parte C3;
- la cartografia geologica prodotta a supporto del vigente Piano di Bacino Ambito 12 e 13, Piano Stralcio per la tutela del rischio idrogeologico di cui all'art. 1 comma 1, del D.L. 11/06/98 n.180 convertito in legge 03/08/98 n.267 e s.m.i. con riferimento alla Carta della Suscettività al dissesto Foglio CTR 213090, colloca l'area di intervento al limitare tra classe Pg1 e Pg2 ovvero a suscettività compresa tra lieve o trascurabile e media;
- la cartografia del Rischio Idrogeologico inserisce l'area al passaggio tra classe R0 ed R1 ovvero porzioni di territorio a rischio basso a medio;
- della situazione stratigrafica dei luoghi interessati dagli scavi e dalle nuove realizzazioni è schematizzabile come roccia affiorante e sub-affiorante a calcescisti in condizioni piuttosto alterate e/o fratturate con copertura detritica discontinua fino ad a ca 2,00 m di spessore;
- non è apparso alcun riscontro della presenza di una falda superficiale a quote interferenti con le realizzazioni in progetto;
- le peculiarità stratigrafiche e giaciturali del corpo litoide e la collocazione dei siti in esame su aree sommitali, pongono comunque l'area in condizioni di sicurezza accettabili per quanto riguarda eventuali instabilità dei versanti (cfr. Capitolo Specifico);
- le caratterizzazioni sismiche generali secondo le NTC08 sono state derivate dalle indagini eseguite e dalle banche dati disponibili;

Si ritiene quindi la realizzazione del progetto esaminato pienamente compatibile con le comunque basse condizioni di pericolosità geomorfologica locali e correttamente inserito con comparto geostatico di pertinenza.

Al presente lavoro di analisi generale dovrà poi ovviamente seguire una progettazione geologico geotecnica esecutiva ai sensi del D.M. 14/01/2008 contenente i modelli geologico geotecnici di riferimento e la caratterizzazione sismica sito specifica per ciascun aereogeneratore.

Il presente lavoro si compone di 31 pagine compresa la presente e di un allegato contenente le schede delle prove eseguite

Acqui Terme, agosto 2014 *Dott. Geol. Marco ORSI*

REGIONE LIGURIA

PROVINCIA DI GENOVA

COMUNE DI MELE

PARCO EOLICO "FADO"

Progetto Preliminare – Scoping ex L.R. 38/98

RELAZIONE GEOLOGICA GEOTECNICA
SULLA REALIZZAZIONE DEGLI AEREOGENRATORI

FASE DI PROGETTO PRELIMINARE

Allegato 1 – Sondaggi Sismici Verticali – schede di prova

Allegato 2 – Sondaggi Sismici Verticali - metodologia

COMMITTENTE: S.F.E.R.A. ENERGIA E AMBIENTE SRL VIA MARCONI 79 – 16030 AVEGNO GE	per presa visione
PROGETTISTA: STUDIOELB- INGEGNERI ASSOCIATI C.SO TORINO 17/6 – 16129 GENOVA GE	per presa visione

	rif. M14BQ_3
Il Tecnico Incaricato Dott. Geol. Marco Orsi Dottore di Ricerca in Scienze Ambientali Ordine dei Geologi del Piemonte n.287 C.so Viganò 5 - 15011 Acqui Terme (AL) tel.: 0144-321225 fax 0144-980163 cell:348-5835102 *E-mail*: studio@geolorsi.it	Acqui Terme, agosto 2014

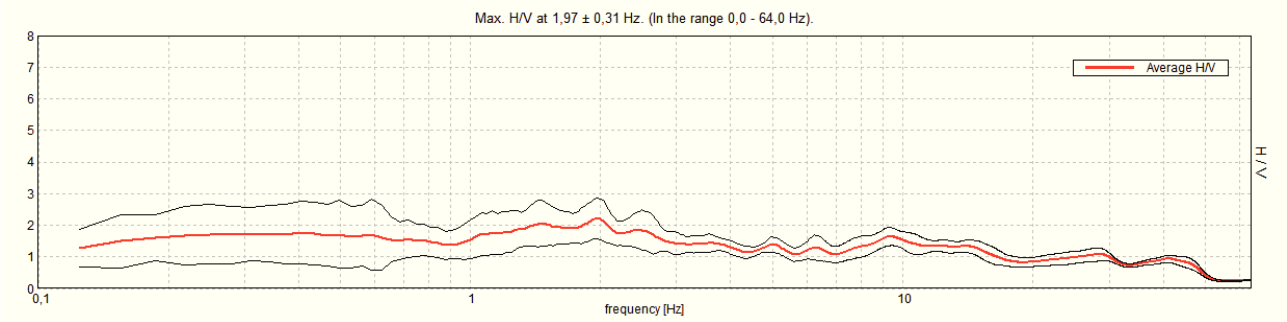
Allegato 1 – sondaggi sismici verticali – schede di prova

M14BQ MELE LIGURE EOLICA LOC FADO, SSV1

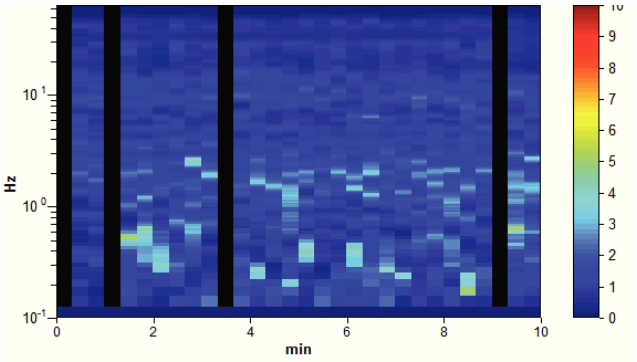
Instrument: TRS-0010/00-06
Start recording: 11/08/14 18:38:53 End recording: 11/08/14 18:48:54
Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN
GPS data not available

Trace length: 0h10'00". Analyzed 87% trace (manual window selection)
Sampling rate: 128 Hz
Window size: 20 s
Smoothing type: Triangular window
Smoothing: 10%

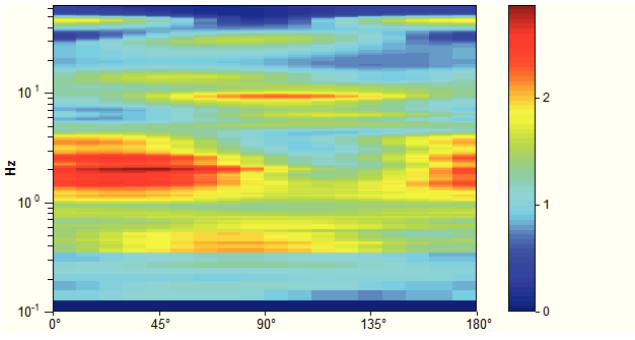
HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO



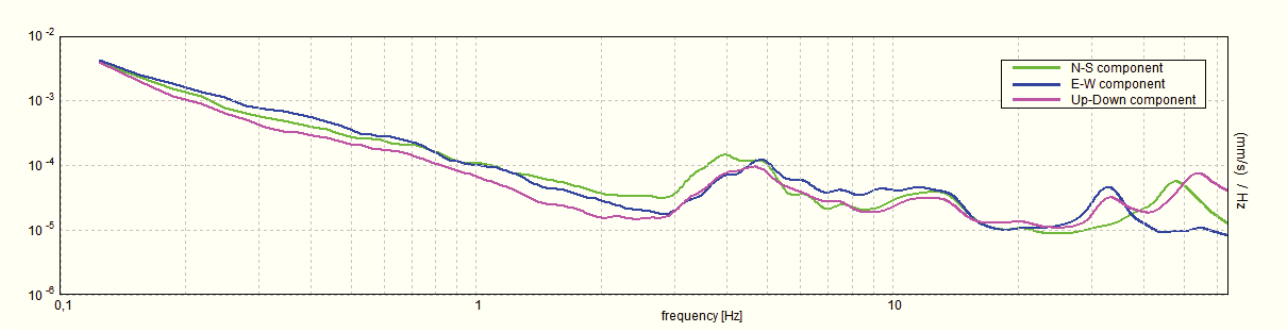
H/V TIME HISTORY



DIRECTIONAL H/V



SINGLE COMPONENT SPECTRA



[According to the SESAME, 2005 guidelines. **Please read carefully the *Grilla* manual before interpreting the following tables**.]

Max. H/V at 1,97 ± 0,31 Hz (in the range 0,0 - 64,0 Hz).

Criteria for a reliable H/V curve [All 3 should be fulfilled]			
$f_0 > 10 / L_w$	1,97 > 0,50	OK	
$n_c(f_0) > 200$	1023,8 > 200	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5$Hz **$\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5$Hz**	Exceeded 0 out of 96 times	OK	
Criteria for a clear H/V peak [At least 5 out of 6 should be fulfilled]			
Exists f^- in $[f_0/4, f_0]$ | $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$			NO
Exists f^+ in $[f_0, 4f_0]$ | $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	5,531 Hz	OK	
$A_0 > 2$	2,20 > 2	OK	
$f_{peak}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	|0,07611| < 0.05		NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	0,14984 < 0,19688	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	0,3081 < 1,78	OK	

L_w	window length
n_w	number of windows used in the analysis
$n_c = L_w n_w f_0$	number of significant cycles
f	current frequency
f_0	H/V peak frequency
σ_f	standard deviation of H/V peak frequency
$\varepsilon(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
A_0	H/V peak amplitude at frequency f_0
$A_{H/V}(f)$	H/V curve amplitude at frequency f
f^-	frequency between $f_0/4$ and f_0 for which $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
f^+	frequency between f_0 and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	standard deviation of $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided
$\sigma_{logH/V}(f)$	standard deviation of log $A_{H/V}(f)$ curve
$\theta(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

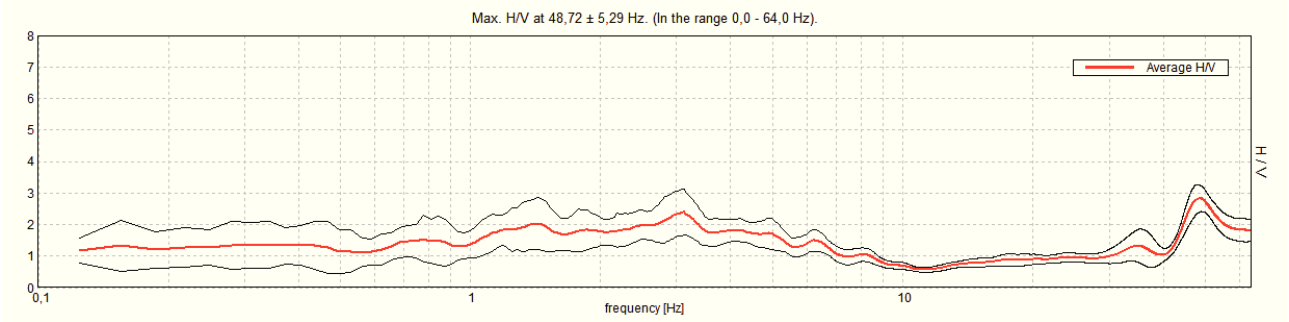
Threshold values for σ_f and $\sigma_A(f_0)$					
Freq. range [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	0.25 f_0	0.2 f_0	0.15 f_0	0.10 f_0	0.05 f_0
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
log $\theta(f_0)$ for $\sigma_{logH/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

M14BQ MELE LIGURE EOLICA LOC FADO, SSV2

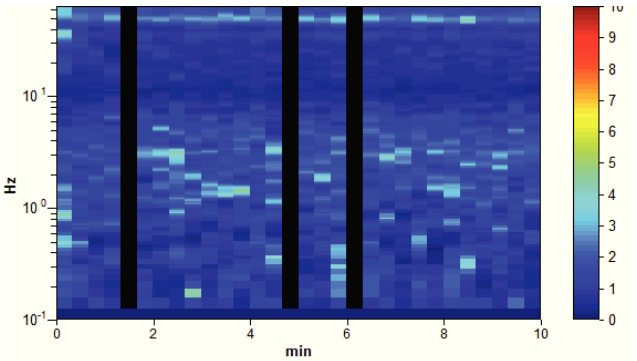
Instrument: TRS-0010/00-06
Start recording: 11/08/14 18:52:07 End recording: 11/08/14 19:02:08
Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN
GPS data not available

Trace length: 0h10'00". Analyzed 90% trace (manual window selection)
Sampling rate: 128 Hz
Window size: 20 s
Smoothing type: Triangular window
Smoothing: 10%

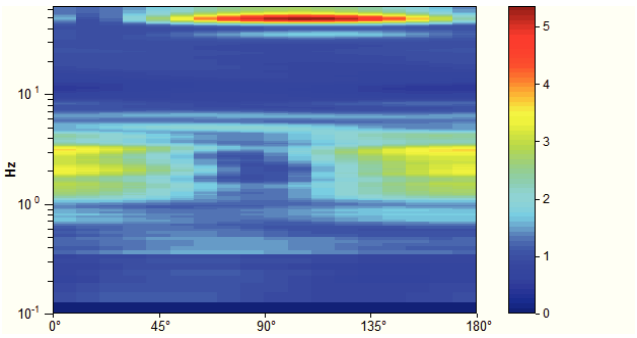
HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO



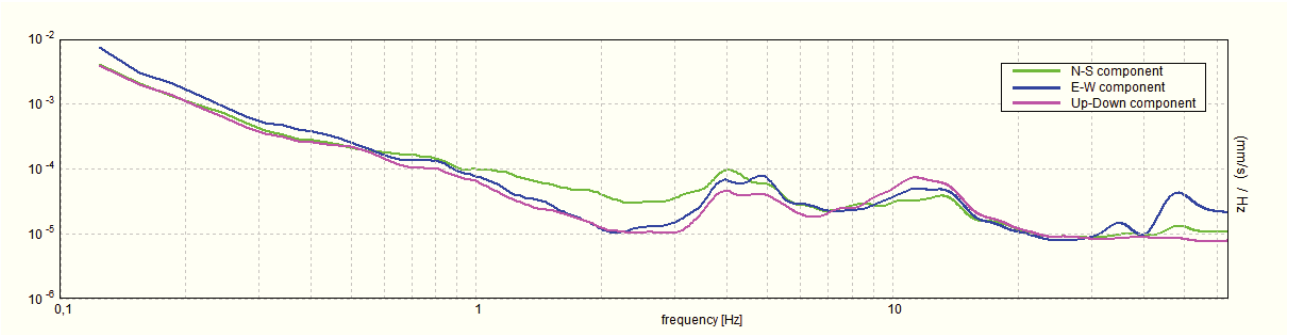
H/V TIME HISTORY



DIRECTIONAL H/V



SINGLE COMPONENT SPECTRA



[According to the SESAME, 2005 guidelines. **Please read carefully the *Grilla* manual before interpreting the following tables**.]

Max. H/V at 48,72 ± 5,29 Hz (in the range 0,0 - 64,0 Hz).

Criteria for a reliable H/V curve [All 3 should be fulfilled]			
$f_0 > 10 / L_w$	48,72 > 0,50	OK	
$n_c(f_0) > 200$	26308,1 > 200	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5$Hz **$\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5$Hz**	Exceeded 0 out of 1270 times	OK	
Criteria for a clear H/V peak [At least 5 out of 6 should be fulfilled]			
Exists f^- in $[f_0/4, f_0]$ | $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	42,75 Hz	OK	
Exists f^+ in $[f_0, 4f_0]$ | $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$			NO
$A_0 > 2$	2,83 > 2	OK	
$f_{peak}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	|0,0518| < 0.05		NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	2,52342 < 2,43594		NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	0,2 < 1,58	OK	

L_w	window length
n_w	number of windows used in the analysis
$n_c = L_w n_w f_0$	number of significant cycles
f	current frequency
f_0	H/V peak frequency
σ_f	standard deviation of H/V peak frequency
$\varepsilon(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
A_0	H/V peak amplitude at frequency f_0
$A_{H/V}(f)$	H/V curve amplitude at frequency f
f^-	frequency between $f_0/4$ and f_0 for which $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
f^+	frequency between f_0 and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	standard deviation of $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided
$\sigma_{logH/V}(f)$	standard deviation of log $A_{H/V}(f)$ curve
$\theta(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

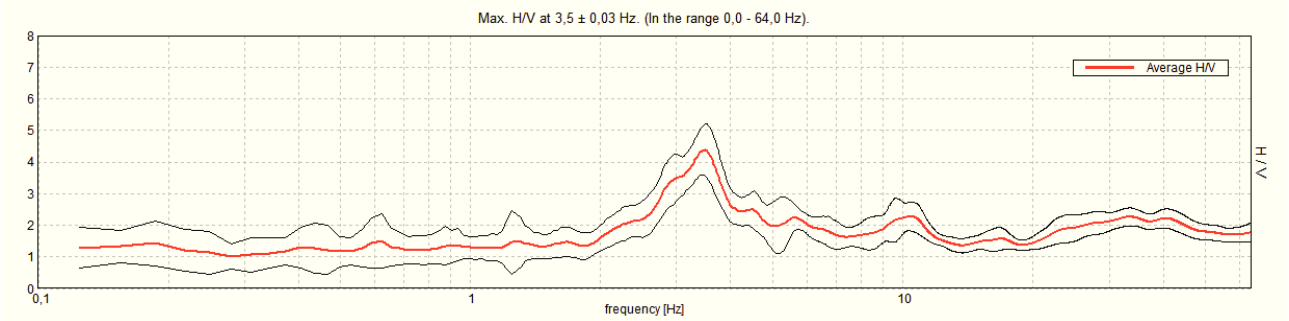
Threshold values for σ_f and $\sigma_A(f_0)$					
Freq. range [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	0.25 f_0	0.2 f_0	0.15 f_0	0.10 f_0	0.05 f_0
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
log $\theta(f_0)$ for $\sigma_{logH/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

M14BQ MELE LIGURE EOLICA LOC FADO, SSV3

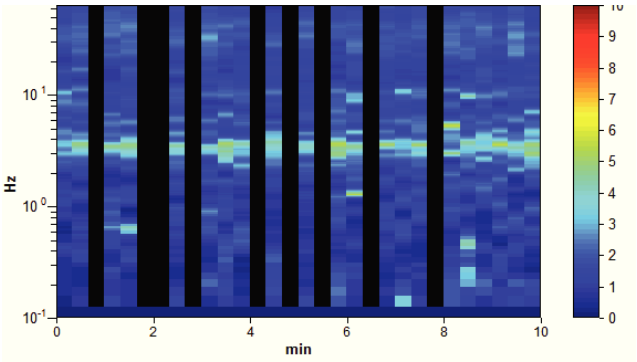
Instrument: TRS-0010/00-06
Start recording: 11/08/14 19:29:46 End recording: 11/08/14 19:39:47
Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN
GPS data not available

Trace length: 0h10'00". Analyzed 70% trace (manual window selection)
Sampling rate: 128 Hz
Window size: 20 s
Smoothing type: Triangular window
Smoothing: 10%

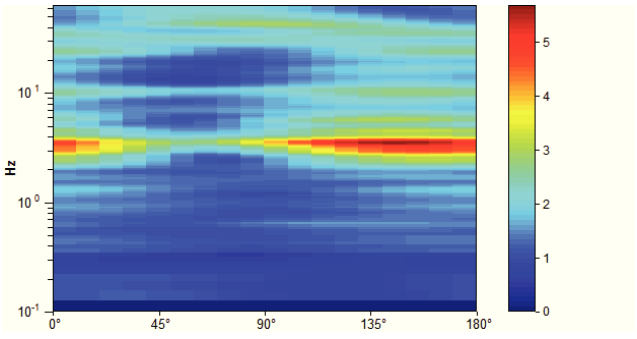
HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO



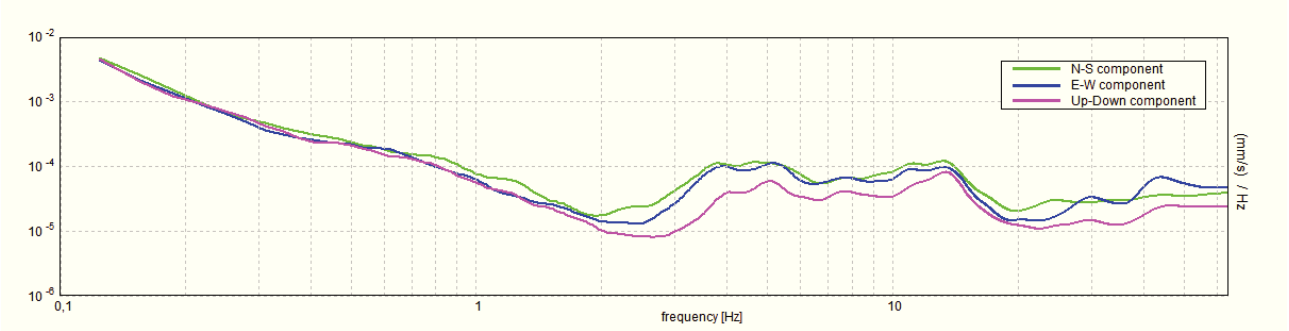
H/V TIME HISTORY



DIRECTIONAL H/V



SINGLE COMPONENT SPECTRA



[According to the SESAME, 2005 guidelines. **Please read carefully the *Grilla* manual before interpreting the following tables**.]

Max. H/V at 3,5 ± 0,03 Hz (in the range 0,0 - 64,0 Hz).

Criteria for a reliable H/V curve [All 3 should be fulfilled]			
$f_0 > 10 / L_w$	3,50 > 0,50	OK	
$n_c(f_0) > 200$	1470,0 > 200	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5$Hz **$\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5$Hz**	Exceeded 0 out of 169 times	OK	
Criteria for a clear H/V peak [At least 5 out of 6 should be fulfilled]			
Exists f^- in $[f_0/4, f_0]$ | $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	2,5 Hz	OK	
Exists f^+ in $[f_0, 4f_0]$ | $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	4,75 Hz	OK	
$A_0 > 2$	4,37 > 2	OK	
$f_{peak}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	|0,00366| < 0.05	OK	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	0,0128 < 0,175	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	0,3899 < 1,58	OK	

L_w	window length
n_w	number of windows used in the analysis
$n_c = L_w n_w f_0$	number of significant cycles
f	current frequency
f_0	H/V peak frequency
σ_f	standard deviation of H/V peak frequency
$\varepsilon(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
A_0	H/V peak amplitude at frequency f_0
$A_{H/V}(f)$	H/V curve amplitude at frequency f
f^-	frequency between $f_0/4$ and f_0 for which $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
f^+	frequency between f_0 and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	standard deviation of $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided
$\sigma_{logH/V}(f)$	standard deviation of log $A_{H/V}(f)$ curve
$\theta(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

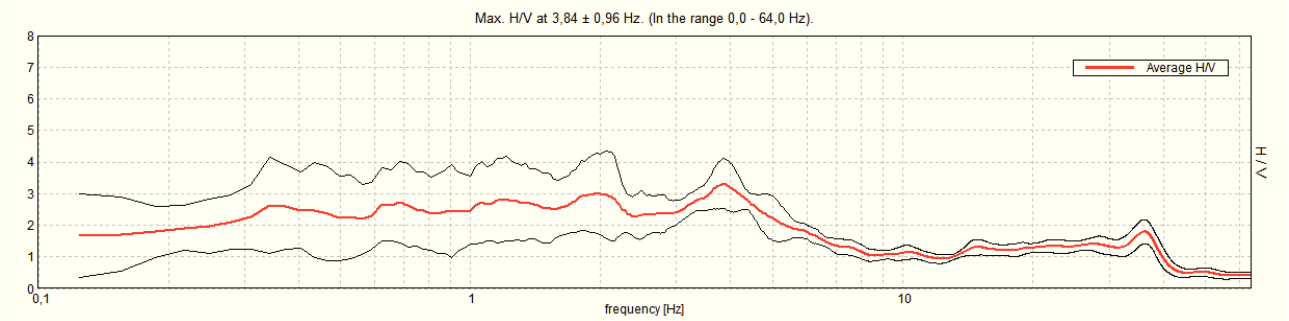
Threshold values for σ_f and $\sigma_A(f_0)$					
Freq. range [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	0.25 f_0	0.2 f_0	0.15 f_0	0.10 f_0	0.05 f_0
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
log $\theta(f_0)$ for $\sigma_{logH/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

M14BQ MELE LIGURE EOLICA LOC FADO, SSV4

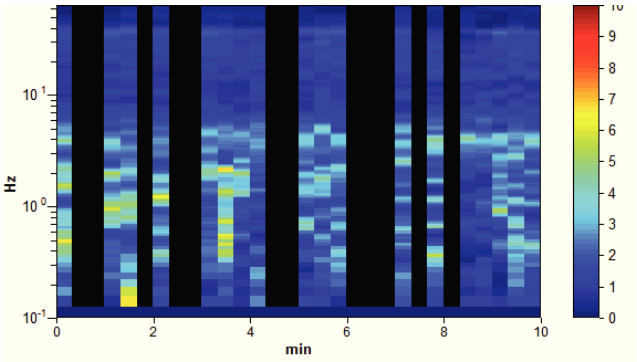
Instrument: TRS-0010/00-06
Start recording: 11/08/14 19:42:57 End recording: 11/08/14 19:52:58
Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN
GPS data not available

Trace length: 0h10'00". Analyzed 60% trace (manual window selection)
Sampling rate: 128 Hz
Window size: 20 s
Smoothing type: Triangular window
Smoothing: 10%

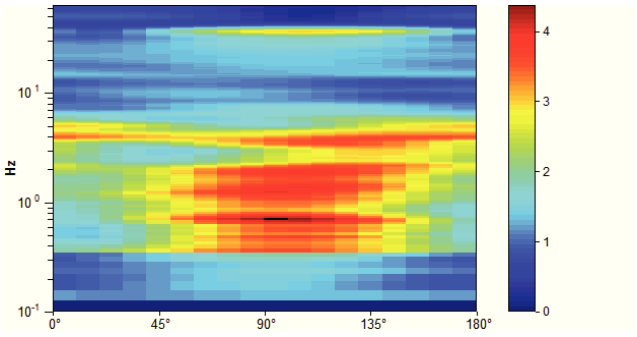
HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO



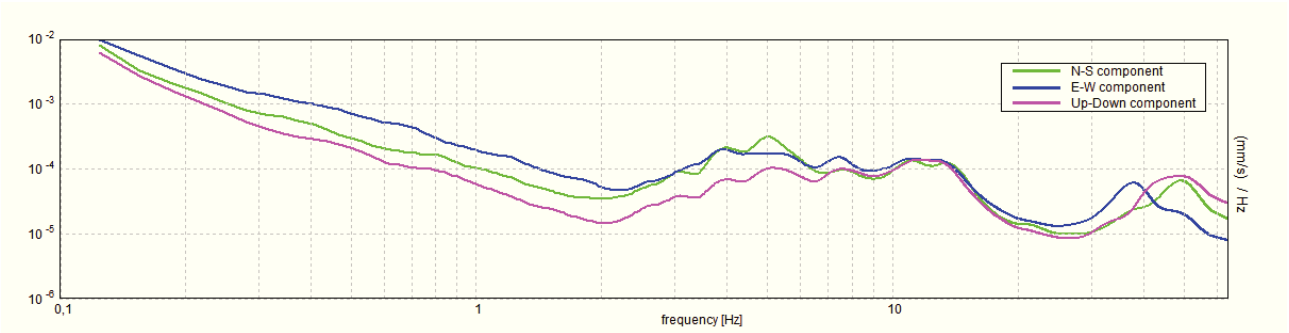
H/V TIME HISTORY



DIRECTIONAL H/V



SINGLE COMPONENT SPECTRA



[According to the SESAME, 2005 guidelines. **Please read carefully the *Grilla* manual before interpreting the following tables**.]

Max. H/V at 3,84 ± 0,96 Hz (in the range 0,0 - 64,0 Hz).

Criteria for a reliable H/V curve [All 3 should be fulfilled]			
$f_0 > 10 / L_w$	3,84 > 0,50	OK	
$n_c(f_0) > 200$	1383,8 > 200	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5$Hz $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5$Hz	Exceeded 0 out of 186 times	OK	
Criteria for a clear H/V peak [At least 5 out of 6 should be fulfilled]			
Exists f^- in $[f_0/4, f_0]$ | $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$			NO
Exists f^+ in $[f_0, 4f_0]$ | $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	6,313 Hz	OK	
$A_0 > 2$	3,31 > 2	OK	
$f_{peak}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	|0,1148| < 0.05		NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	0,44127 < 0,19219		NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	0,3649 < 1,58	OK	

L_w	window length
n_w	number of windows used in the analysis
$n_c = L_w n_w f_0$	number of significant cycles
f	current frequency
f_0	H/V peak frequency
σ_f	standard deviation of H/V peak frequency
$\varepsilon(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
A_0	H/V peak amplitude at frequency f_0
$A_{H/V}(f)$	H/V curve amplitude at frequency f
f^-	frequency between $f_0/4$ and f_0 for which $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
f^+	frequency between f_0 and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	standard deviation of $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided
$\sigma_{logH/V}(f)$	standard deviation of log $A_{H/V}(f)$ curve
$\theta(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Threshold values for σ_f and $\sigma_A(f_0)$					
Freq. range [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
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
log $\theta(f_0)$ for $\sigma_{logH/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

Allegato 2 – Sondaggi Sismici Verticali - metodologia

Modalità di indagine.
Nei siti indicati in relazione e negli allegati cartografici sono state effettuate altrettante misure di microtremore ambientale della durata di 14 minuti ciascuna utilizzando un tromografo digitale progettato specificatamente per l'acquisizione del rumore sismico ambientale.

Lo strumento è dotato di tre sensori elettrodinamici (velocimetri) orientati N-S, E-W e verticalmente ed è fornito di GPS interno.

I dati di rumore, amplificati e digitalizzati a 24 bit equivalenti, sono stati acquisiti alla frequenza di campionamento di 128 Hz che è quella più risolutiva possibile per le profondità investigate.

Definizioni.
Il tipo di stratigrafia che le tecniche di sismica passiva possono restituire si basa sul concetto di *contrasto di impedenza*.

Per *strato* si intende cioè un'unità distinta da quelle sopra e sottostanti per un contrasto di impedenza, ossia per il rapporto tra i prodotti di velocità delle onde sismiche nel mezzo e densità del mezzo stesso.

La tecnica impiegata.
Dai primi studi di Kanai (1957) in poi, diversi metodi sono stati proposti per estrarre l'informazione relativa al sottosuolo a partire dagli spettri del rumore sismico registrati in un sito. Tra questi, la tecnica che si è maggiormente consolidata nell'uso è la tecnica dei rapporti spettrali tra le componenti del moto orizzontale e quella verticale (HVSR), applicata da Nogoshi e Igarashi (1970).

Il metodo fu in seguito reso popolare principalmente da Nakamura (1989) come strumento per la determinazione dell'amplificazione sismica locale; sebbene su questo punto non sia ancora stato raggiunto consenso, è invece ampiamente riconosciuto che l'HVSR è in grado di fornire stime affidabili delle frequenze principali di risonanza dei sottosuoli.

Riconosciuta questa capacità e dato che, se è disponibile una stima delle velocità delle onde elastiche, le frequenze di risonanza possono essere convertite in stratigrafia, ne risulta che il metodo HVSR può essere in linea di principio usato come strumento stratigrafico.

Le basi teoriche dell'HVSR sono relativamente semplici in un sistema stratificato in cui i parametri variano solo con la profondità (1-D). Consideriamo il sistema di Fig.a in cui gli strati 1 e 2 si distinguono per le diverse densità ($\rho 1$ e $\rho 2$) e le diverse velocità delle onde sismiche (V_1 e V_2).

Un'onda che viaggia nel mezzo 1 viene (parzialmente) riflessa dall'orizzonte che separa i due strati; l'onda così riflessa interferisce con quelle incidenti, sommandosi e raggiungendo le ampiezze massime (condizione di risonanza) quando la lunghezza dell'onda incidente (λ) è 4 volte (o suoi multipli dispari) lo spessore *H* del primo strato.

In altre parole la frequenza fondamentale di risonanza (*fr*) dello strato 1 relativa alle onde P è pari a

$$fr = V_{P1}/(4\ H) \qquad [1]$$

mentre quella relativa alle onde S è

$$fr = V_{S1}/(4\ H). \qquad [2]$$

Teoricamente questo effetto è sommabile cosicché la curva HVSR mostra come massimi relativi le frequenze di risonanza dei vari strati. Questo, insieme ad una stima delle velocità, è in grado di fornire previsioni sullo spessore *H* degli strati.

Questa informazione è per lo più contenuta nella componente verticale del moto ma la prassi di usare il rapporto tra gli spettri orizzontali e quello verticale, piuttosto che il solo spettro verticale, deriva dal fatto che il rapporto fornisce un'importante normalizzazione del segnale per *a)* il contenuto in frequenza, *b)* la risposta strumentale e *c)* l'ampiezza del segnale quando le registrazioni vengono effettuate in momenti con rumore di fondo più o meno alto.

La normalizzazione, che rende più semplice l'interpretazione del segnale, è alla base della popolarità del metodo. Rileviamo inoltre come i microtremori siano solo in parte costituiti da onde di volume, P o S, e in misura molto maggiore da onde superficiali, in particolare da onde di Rayleigh (Lachet e Bard, 1994).

Tuttavia ci si può ricondurre a risonanza delle onde di volume poiché le onde di superficie sono prodotte da interferenza costruttiva di queste ultime è poiché la velocità dell'onda di Rayleigh è molto prossima a quella delle onde S.

L'applicabilità pratica della semplice formula [2] è stata già dimostrata in molti studi sia nell'ambito della prospezione geofisica che nell'ambito ingegneristico (per un riassunto cf. Gallipoli *et al.*, 2000; Mucciarelli e Gallipoli, 2001; Castellaro *et al.*, 2005]. Poiché la situazione illustrata è tipica delle coltri sedimentarie sovrastanti basamenti rocciosi, il metodo HVSR è parso immediatamente applicabile alla determinazione dello spessore delle coltri sedimentarie (per un esempio magistrale si veda Ibs-Von Seht e Wohlenberg, 1999).

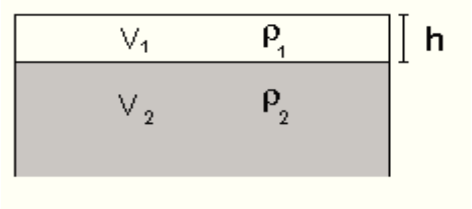


Fig.α - Modello di suolo costituito da due strati a diverse velocità delle onde sismiche e densità.

In questo lavoro i segnali sono stati analizzati non solo attraverso i rapporti spettrali HVSR ma anche attraverso gli spettri delle singole componenti, come in Mulargia e Castellaro (2006).

Procedura di analisi dati.

Dalle registrazioni del rumore sismico sono state ricavate e analizzate due serie di dati:

1. le curve HVSR desunta dalle misure in sito e ricavate, secondo la procedura descritta in Castellaro *et al.* (2005), con parametri:

- ⇒ larghezza delle finestre d'analisi 20 s,
- ⇒ lisciamento secondo finestra triangolare con ampiezza pari al 10% della frequenza centrale,
- ⇒ rimozione delle finestre con rapporto STA/LTA (media a breve termine / media a lungo termine) superiore ad 2,
- ⇒ rimozione manuale di eventuali transienti ancora presenti.

2. le curve dello spettro di velocità delle tre componenti del moto (ottenute dopo analisi con gli stessi parametri del punto 1).

Le profondità *H* delle discontinuità sismiche sono state ricavate tramite la formula [3] in cui V_0 è la velocità al tetto dello strato, *a* un fattore che dipende dalle caratteristiche del sedimento (granulometria, coesione ecc.) e ν la frequenza fondamentale di risonanza (cf. ad esempio Ibs-Von Seht e Wohlenberg, 1999).

[3] $$H = \left[\frac{V_0(1-a)}{4\hat{\nu}_1} + 1\right]^{1/(1-a)} - 1$$