Committente:

L. ENERGIA S.r.l

Via XX Settembre 33/10 - 16121 Genova (GE)

Oggetto:

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

(accesso con interessamento del Comune di Masone)

STUDIO PRELIMINARE AMBIENTALE

Titolo elaborato:

RELAZIONE GEOLOGICA

(documento redatto da Dott. Geol. Marco Orsi)

Coordinamento progettuale:

INGEPRO Ingegneri Associati

Corso Torino 17/6 sc.A - 16129 Genova
Tel. 010.5740568 - fax : 010.4211059
e-mail: studio@ingepro.eu - PEC: studio@pec.ingepro.eu
C.F. e P. IVA: 02726060995

Revisione	Data	Redatto da:	Verificato da:	Approvato da:	Descrizione
4					
3					
2					
1					
0	02.02.2022	MO	RG	MR	

Nome file:	Scala:	Commessa:	Livello prog:	Elaborato:
P012.PP.R02.00_Rel-geologica	-	P012	PP	R02

REGIONE LIGURIA
PROVINCIA DI GENOVA
COMUNE DI MELE

PARCO EOLICO "FADO"

STUDIO PRELIMINARE AMBIENTALE

RELAZIONE GEOLOGICA

FASE DI PROGETTO PRELIMINARE

COMMITTENTE: L.ENERGIA SRL VIA XX SETTEMBRE 33/10 – 16121 GENOVA GE	per presa visione
PROGETTISTA: STUDIOELB- INGEGNERI ASSOCIATI C.SO TORINO 17/6 – 16129 GENOVA GE	per presa visione

	rif. M21AP_1
Il Tecnico Incaricato Dott. Geol. Marco Orsi Dottore di Ricerca in Scienze Ambientali Ordine dei Geologi del Piemonte n.287 via Nizza 7 - 15011 Acqui Terme (AL) tel.: 0144-321225 fax 0144-980163 cell:348-5835102 *E-mail*: studio@geolorsi.it pec geolorsi@pec.it	 Acqui Terme, gennaio 2022

Premessa

La Società L.Energia Srl, ha in progetto la realizzazione del parco eolico denominato "Fado" costituito da un singolo aerogeneratore della potenza complessiva di 4,2 MW, collocato all'interno del territorio del comune di Mele (GE), in località Fado - Bric Aresci

L'attuale proposta progettuale deriva dalla procedura di scoping presentata nel 2014 riguardante due aerogeneratori, progetto che non ha potuto avere seguito nell'immediato per l'assenza di un quadro normativo delineato sugli incentivi nazionali ed altri ostacoli normativi regionali, oggi superati (vedi paragrafo successivo).

Il progetto prevede l'installazione di 1 aerogeneratore da 4.200 kW, del più elevato livello tecnologico attualmente disponibile, con cabina di trasformazione interna alla torre al fine di minimizzare l'occupazione del suolo.

L'accesso è previsto per lo più attraverso strade comunali e subordinatamente vicinali già esistenti, che verranno adeguate per consentire il passaggio dei componenti dell'aerogeneratore e dei mezzi per la costruzione e la manutenzione dello stesso.

La soluzione di allaccio elaborata da Enel distribuzione prevede una connessione alla rete MT esistente con un collegamento interrato di circa 1100 m, la realizzazione di una cabina di consegna e di una cabina di smistamento ed interventi di rinforzo sulla rete esistente.

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. 17/01/2018 "T.U. sulle Costruzioni", 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.

Inquadramento generale

Geomorfologia, geologia ed idrogeologia

Inquadramento geografico

Il sito in esame si trova sul crinale subito a Nord della stazione F.S. di Mele in Loc. Fado Bric Aresci inserito in sponda idrografica sinistra del Torrente Gorsexio, a monte del tratto autostradale in corrispondenza del viadotto Fado.

Catastalmente le aree oggetto di interventi edificatori in esame sono così individuate:
Aero Generatore a progetto; Foglio 6 mappale 45
Cabina di Smistamento a progetto: Foglio 6 mappale 207
Cabina Consegna: a progetto F 6 mappale 203

La viabilità esistente che verrà rettificata e che consentirà l'accesso all'aerogeneratore ricade nel NCT del Comune di Mele al Foglio 6, Foglio 2 e Foglio 3 e per il suo tratto iniziale che si diparte immediatamente prima della galleria del Turchino in quello del Comune di Masone entro il Foglio 28.

Le coordinate WGS84 dell'aerogeneratore a progetto sono le seguenti:
Aerogeneratore: 44°28'34.22"N 8°44'18.10"E quota 490 m s.l.m.

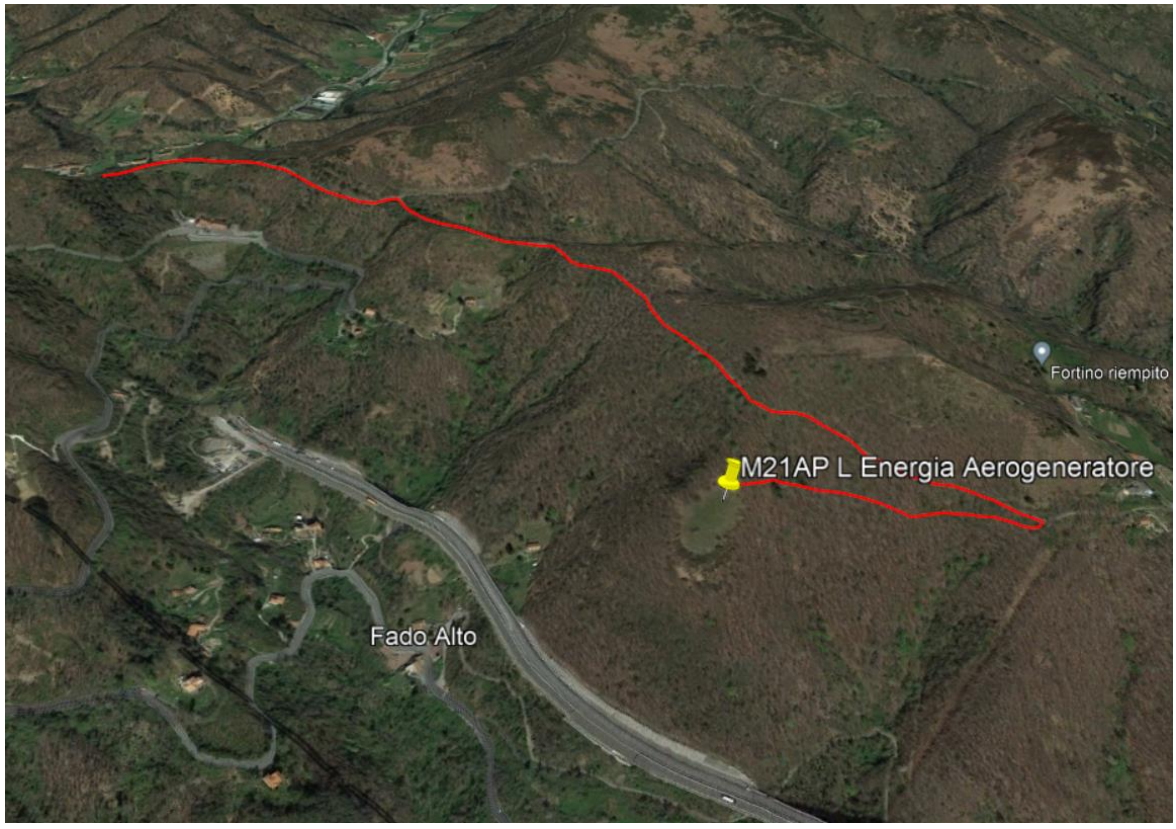


Fig.1 – Panoramica dei luoghi su DTM GoogleTile Server	L'opera in progetto e il tracciato di accesso sono evidenziate dai segnaposto NB vista non nord up

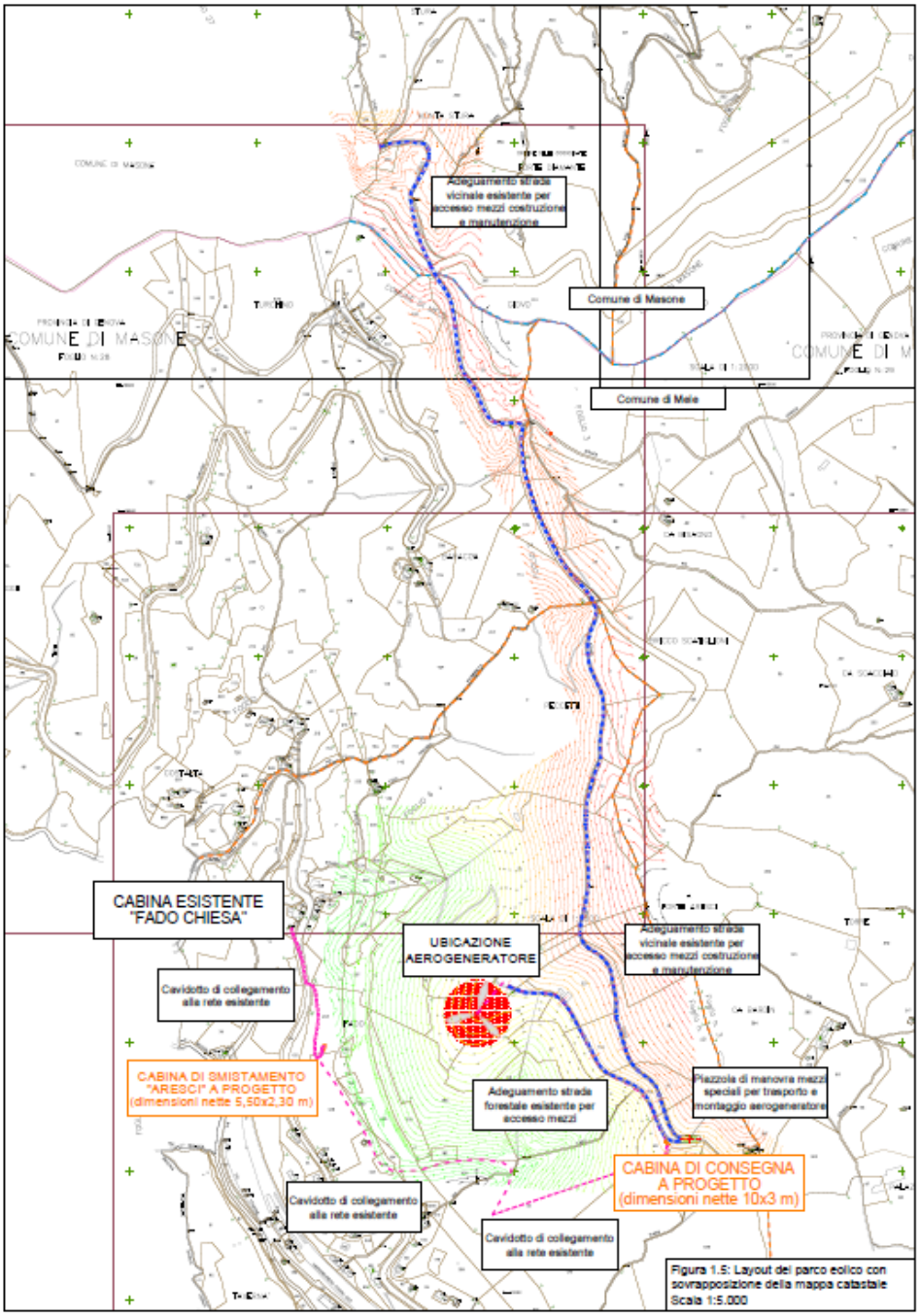


Fig.2 – Layout Generale del Parco Eolico	Estratto di progetto dalla Tav 1.5 Originale in scala 1:5.000

Geomorfologia

L'area di prevista realizzazione dell'aerogeneratore ricade nell'entroterra di Voltri, ed è posta a poco meno di un km dallo spartiacque appenninico, nella zona in cui quest'ultimo è caratterizzato dall'ampio giogo del Passo del Turchino mentre la viabilità di accesso esistente che verrà sfruttata per il cantiere si diparte proprio dal Passo del Turchino e scende verso il mare mantenendosi sostanzialmente sul crinale.

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 di ca 485 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 caratterizzata da corpi franosi quiescenti di tipo complesso, denominati 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 quindi in stato di una sostanziale stabilità complessiva, e comunque ben distanti dal sito di prevista realizzazione.

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

L'area nel complesso 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 fratturato e quindi in condizioni di conservazione da discrete a medie.

Nello specifico da un rilievo diretto effettuato nella zona di prevista realizzazione dell'Aerogeneratore queste coperture eluvio colluviali possono essere di spessore anche inferiore

al metro mentre restano possibili discontinui accumuli di coltri di maggior spessore sui versanti che verranno attraversati dal tracciato stradale.

Il corpo roccioso è rappresentato in parte dalla Formazione dei Calcescisti del Turchino (Aquitaniano – Oligocene Sup.) in facies di calcescisti, calcemicascisti e micascisti albitici e subordinatamente metabasiti indifferenziate, in facies ibride a epidoto, clorite ed anfiboli al contatto tra calcescisti e masse femiche (Formazione Calcescisti del Turchino, Membro di Alpicella, Membro di campo Ligure.

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.

Non è quindi riscontrabile una vera e propria prima falda superficiale nella zona di prevista realizzazione dell'Aerogeneratore mentre lungo il versante in cui si inserirà la strada di accesso restano possibili sporadiche emersioni di circolazione idrica dai primi livelli del substrato roccioso così come accumuli freatici in eventuali accumuli di coltri di spessore maggiore dell'usuale.

Il substrato litoide a sua volta è frequentemente sede di un secondo acquifero che vi scorre per permeabilità propria e diffusa (permeabilità di tipo primario) comunque bassa 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 dalle opere in progetto

Documentazione Cartografica - PUC Vigente

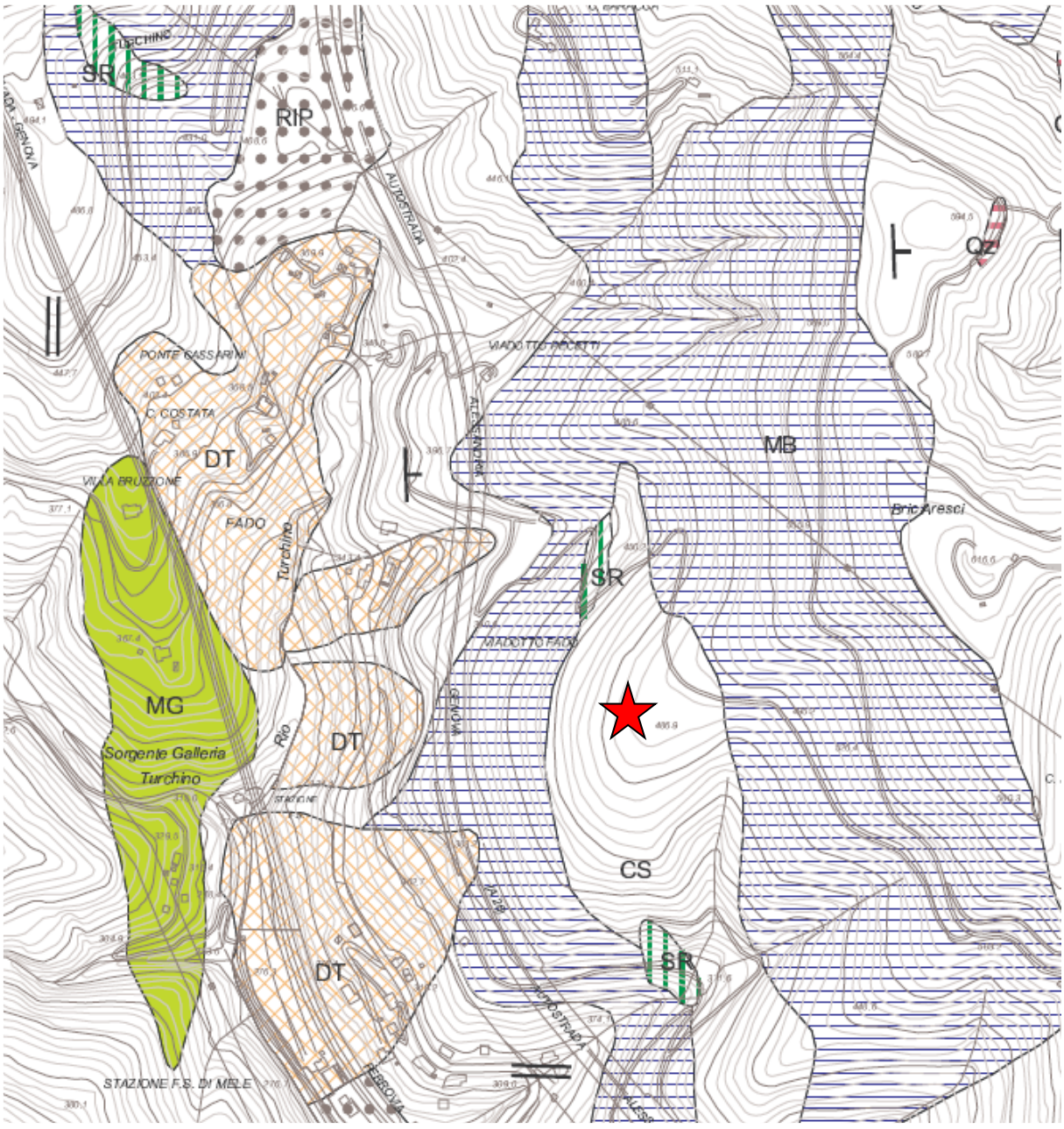


Fig.2 – Estratto della Tav. A "Carta Geologica" Del vigente P.U.C del comune di Mele In scala 1:5.000

L'area di prevista realizzazione è evidenziata dal segnaposto rosso

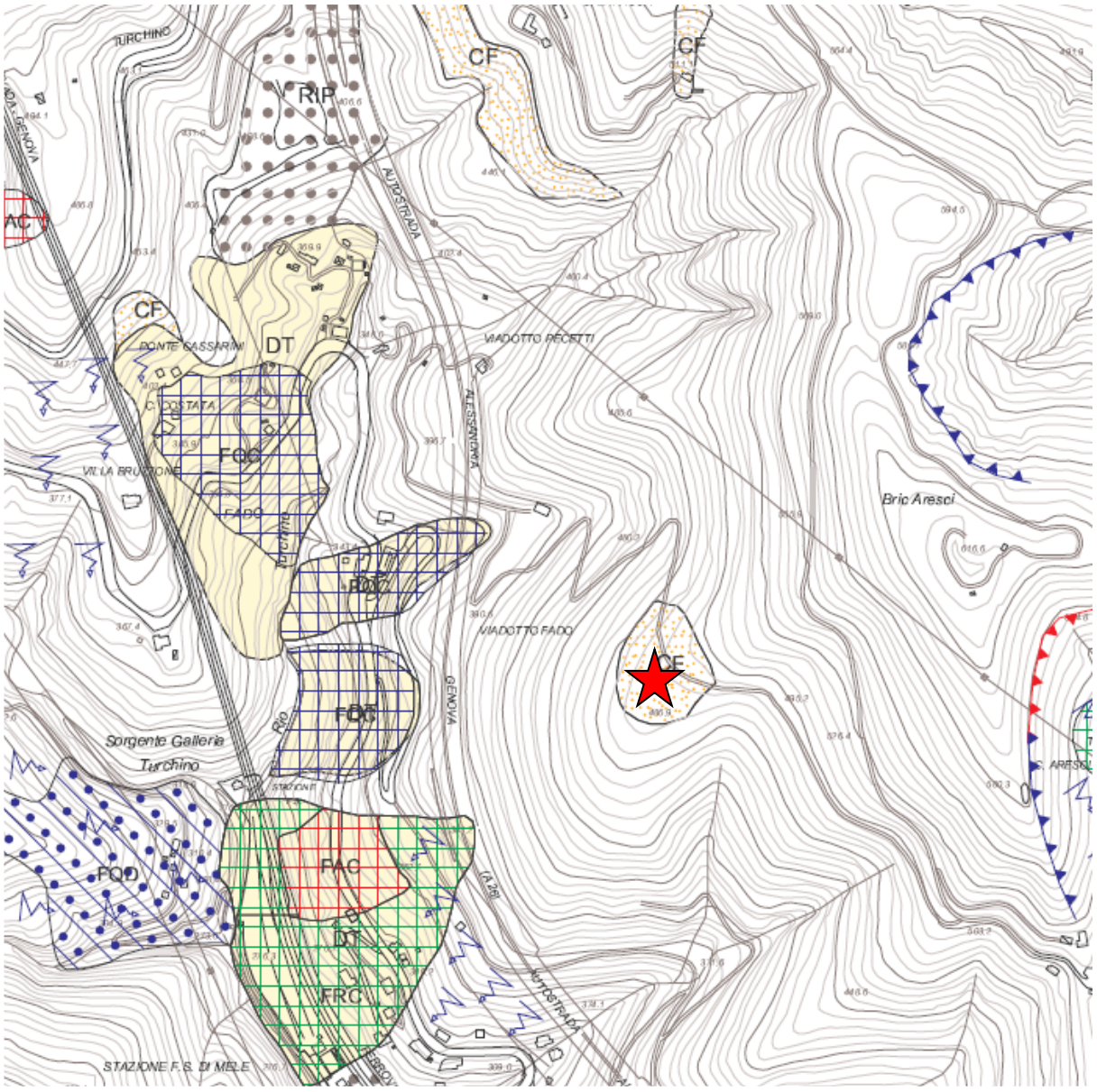
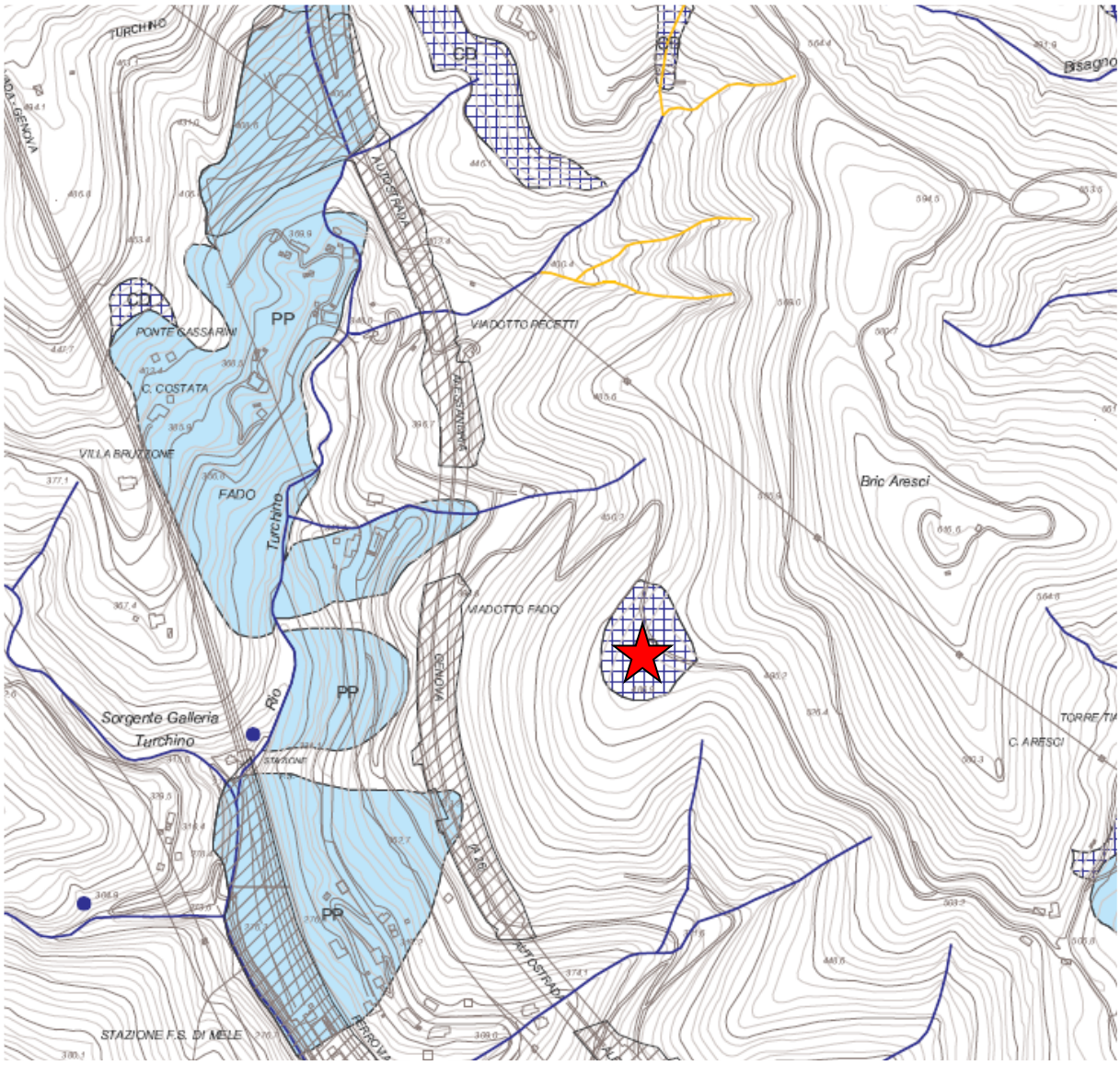


Fig.3 – Estratto della Tav.B - Carta Geomorfologica del vigente P.U.C. del Comune di Mele in scala 1:5.000

L'area di prevista realizzazione è evidenziata dal segnaposto 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

L'area di prevista realizzazione è evidenziata dal segnaposto rosso ★

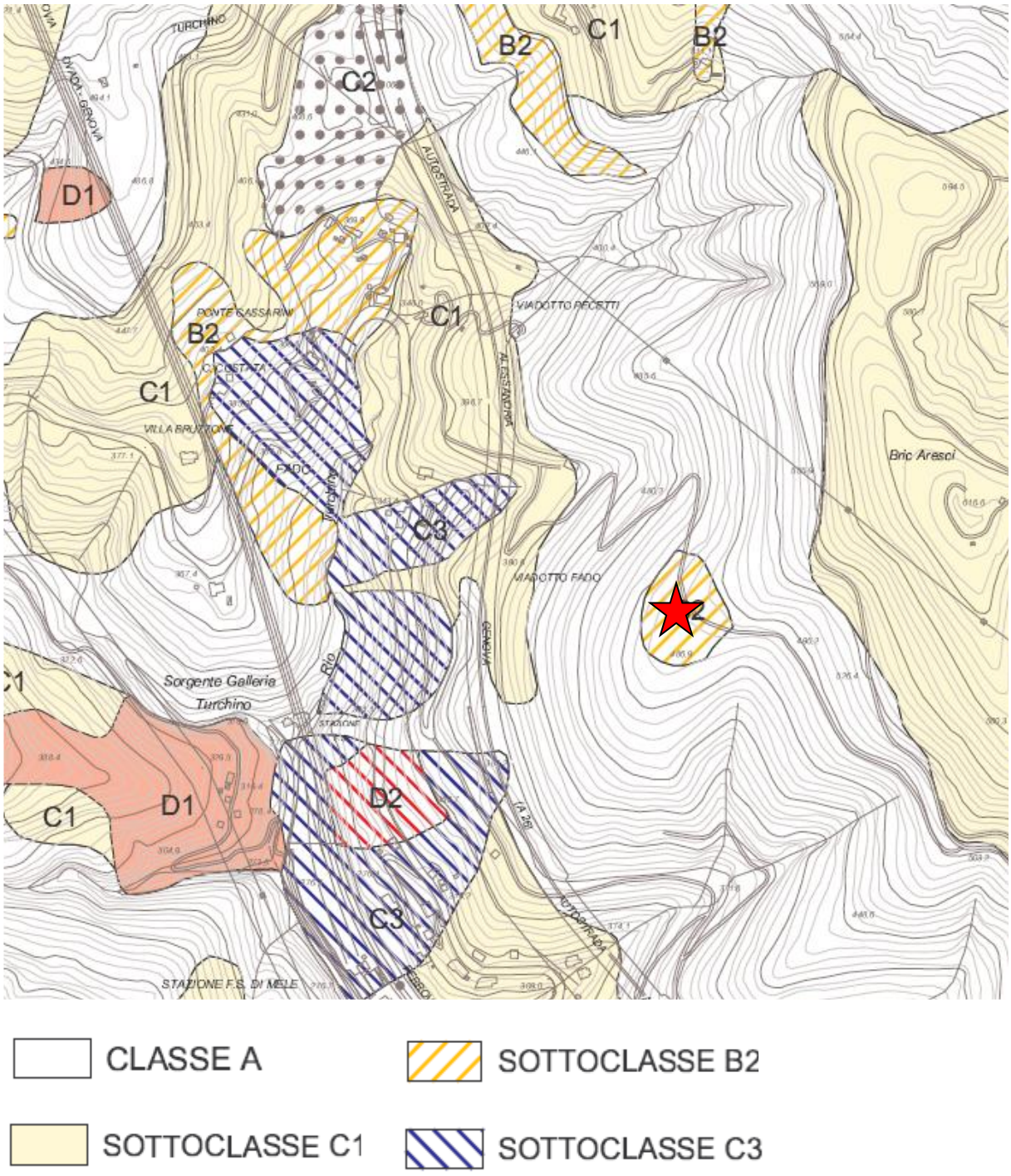
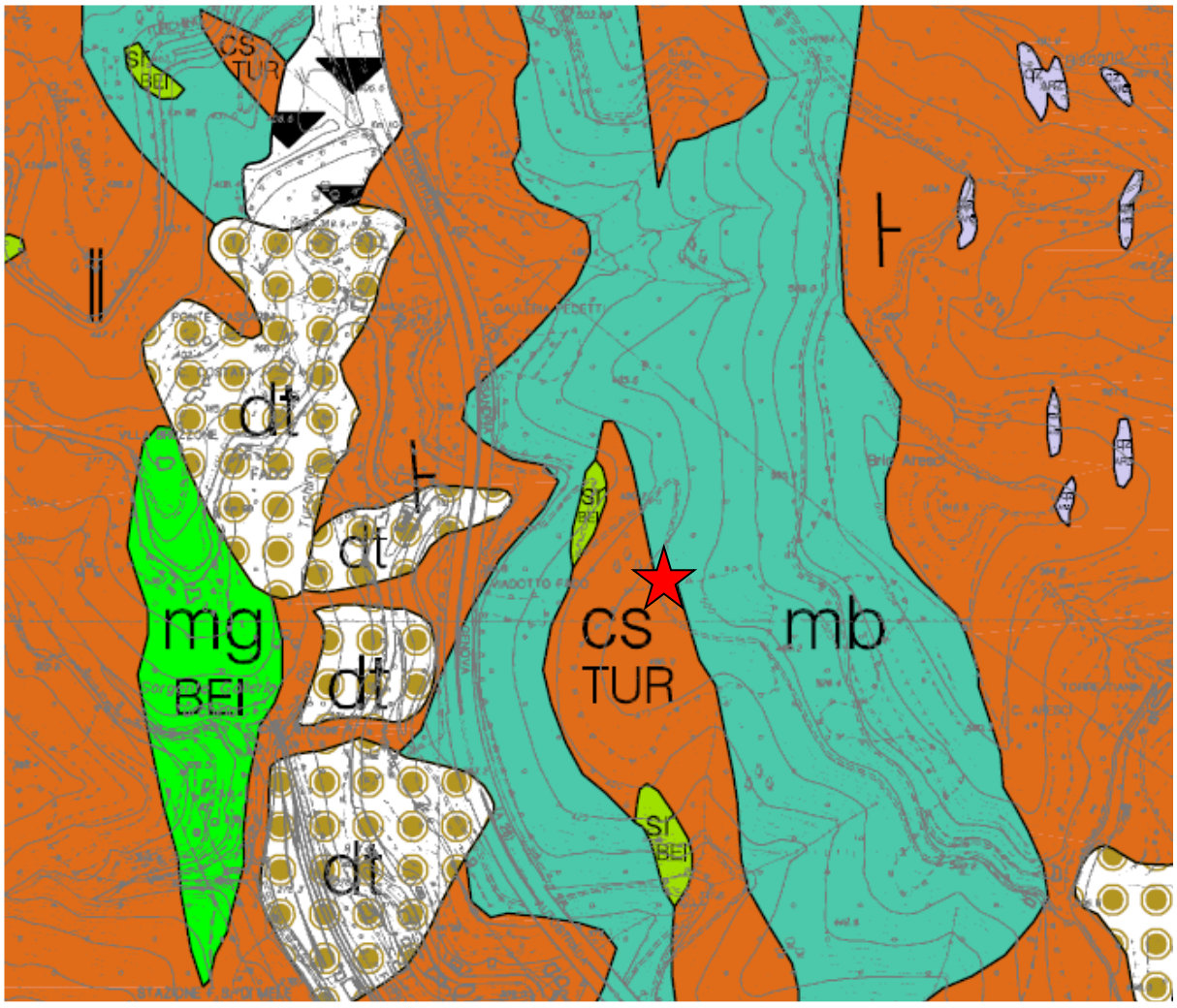


Fig.4 – Estratto della Tav.D - Carta della Zonizzazione e Suscettività d'uso del Suolo del vigente P.U.C. del Comune di Mele in scala 1:5.000

L'area di prevista realizzazione è evidenziata dal segnaposto rosso

Documentazione Cartografica – Piano di Bacino



mg–BEI — METAGABBRI (Ofioliti del Monte Beigua)

cs_TUR — CALCESCISTI (Formazione del Calcescisti del Turchino)

mb–ALP mb–TUR — METABASITI (Unita' di Alpicella) (Formazione del Calcescisti del Turchino)

(dt) Coperture detritiche superiori a 3 metri – (dm) Depositi morenici

(gr) Grossi riporti

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

L'area di prevista realizzazione è evidenziata dal segnaposto rosso ★

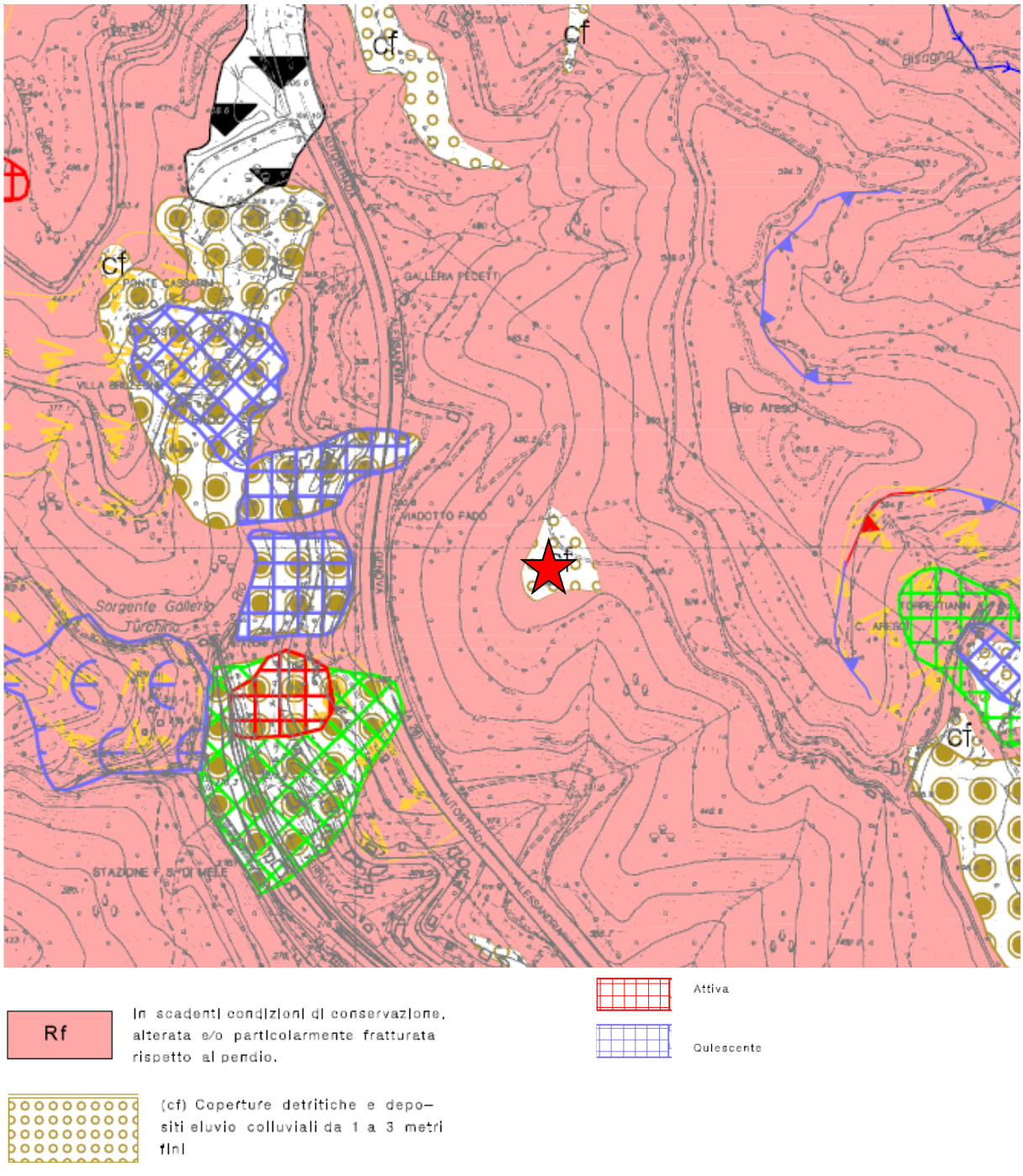


Fig.6 – Estratto del Foglio 213090 - Carta Geomorfologica del vigente P.d.B. Ambito 12 e 13 della Provincia di Genova in scala 1:10.000

L'area di prevista realizzazione è evidenziata dal segnaposto rosso

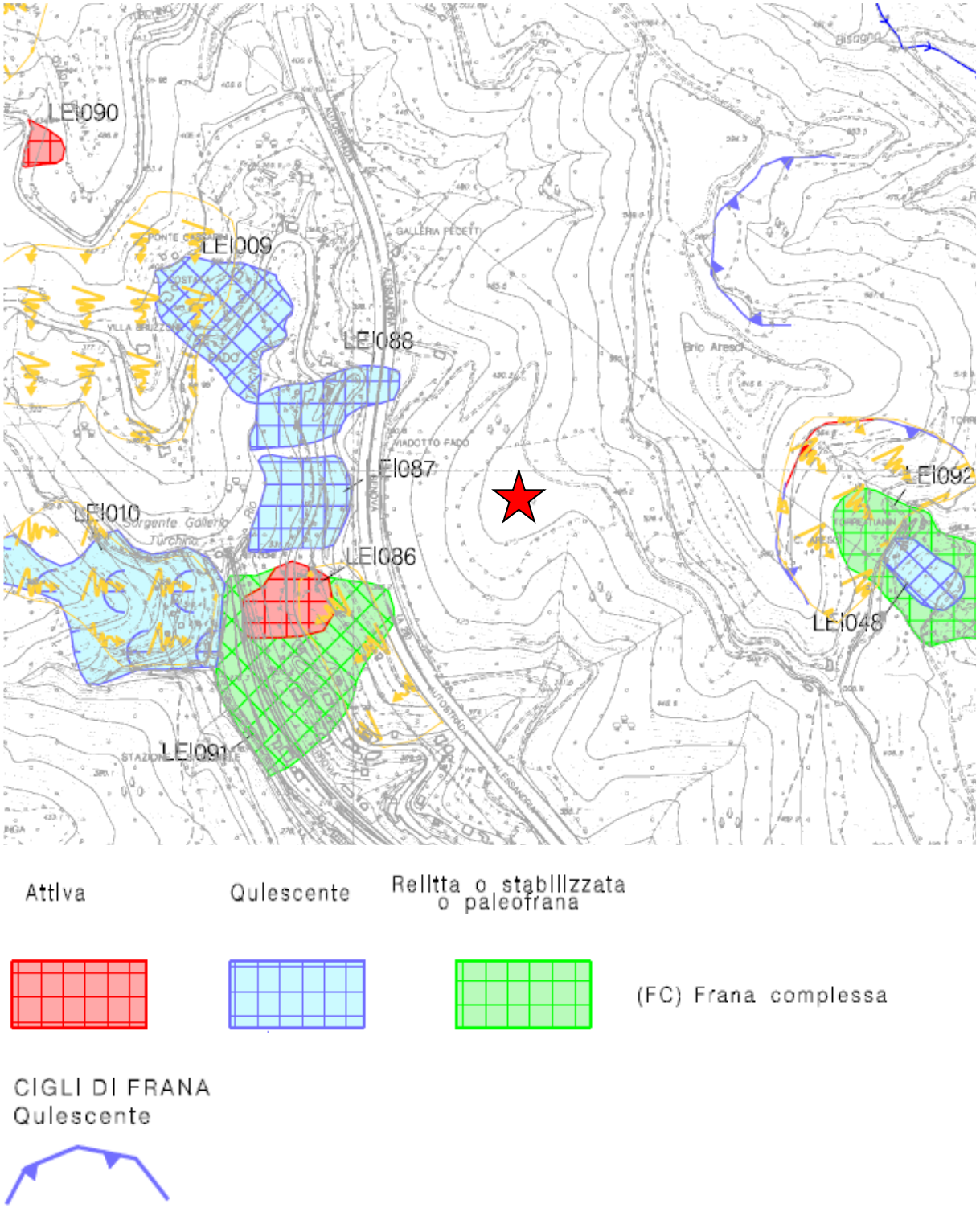
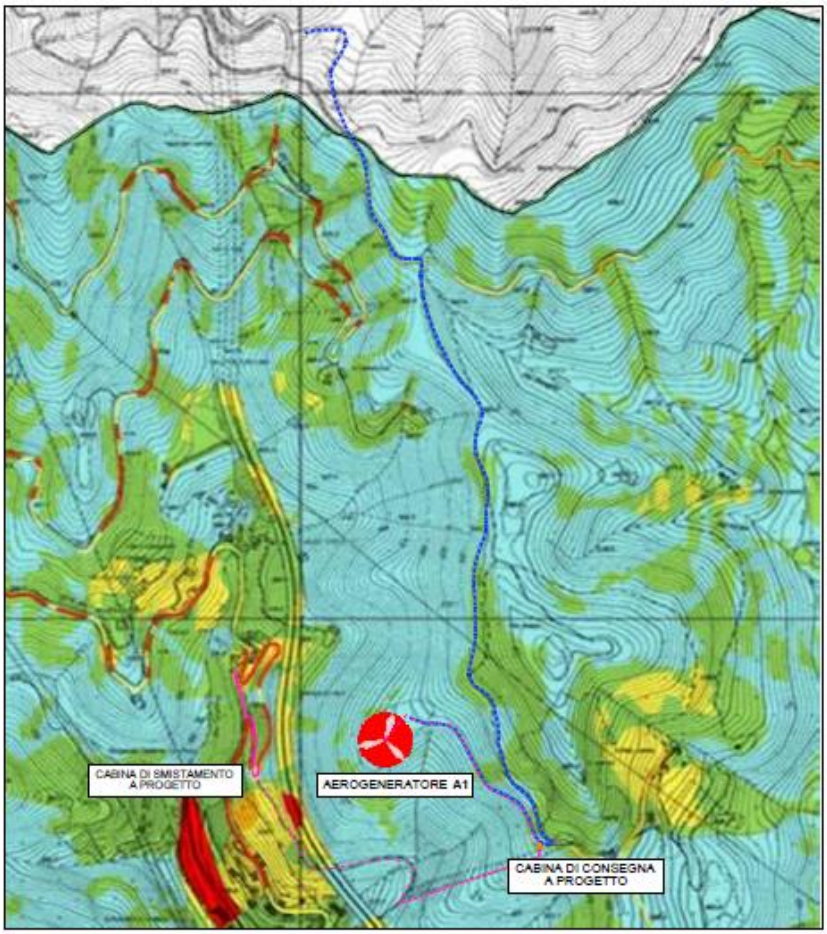


Fig.7 – Estratto del Foglio 213090 Carta della franosità reale del vigente P.d.B. Ambito 12 e 13 della Provincia di Genova in scala 1:10.000

L'area di prevista realizzazione è evidenziata dal segnaposto rosso



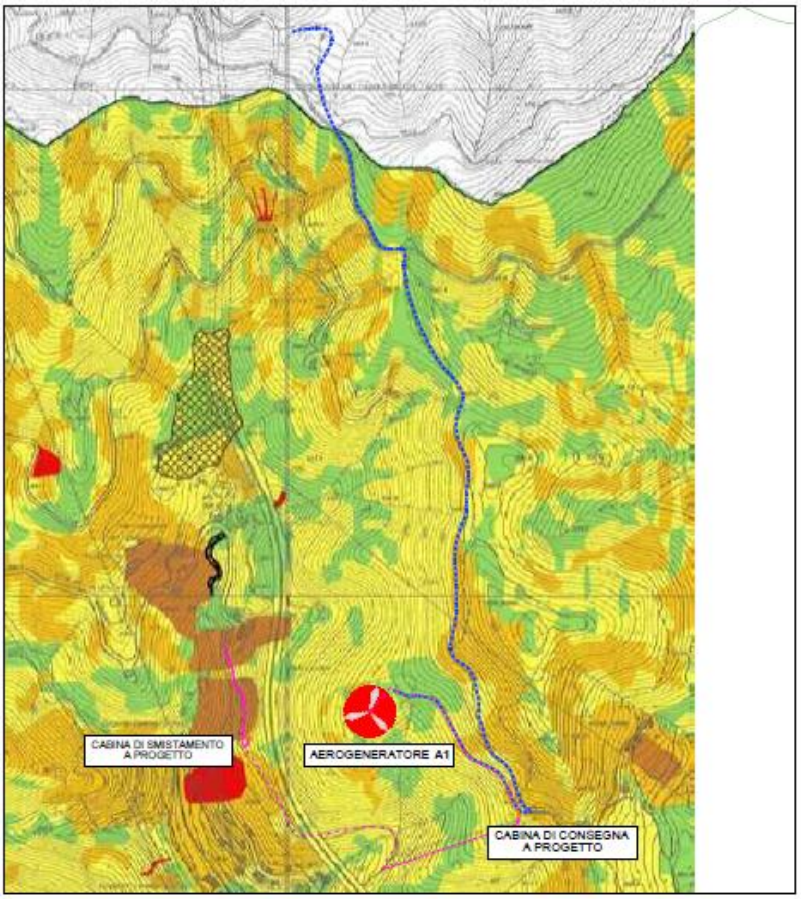
LEGENDA

CLASSI DI RISCHIO GEOLOGICO

	MOLTO ELEVATO	R4
	ELEVATO	R3
	MEDIO	R2
	MODERATO	R1
	LIEVE O TRASCURABILE	R0

Fig.9 – 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

L'area di prevista realizzazione è evidenziata dal segnaposto rosso



LEGENDA

CLASSI DI SUSCETTIVITA' AL DISSESTO			NORME DI ATTUAZIONE
	MOLTO ELEVATA	Pg4	Art. 16, c. 2 Art. 16ter
	ELEVATA	Pg3a	Art. 16, c. 3 Art. 16ter
	ELEVATA	Pg3b	Art. 16, c. 3-ter Art. 16ter
	MEDIA	Pg2	Art. 16, c. 4 Art. 16ter
	BASSA	Pg1	Art. 16, c. 4 Art. 16ter
	MOLTO BASSA	Pg0	Art. 16, c. 4 Art. 16ter
	Fenomeni idrogeologici lungo gli alvei torrentizi		Art. 16ter

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

L'area di prevista realizzazione è evidenziata dal segnaposto rosso

Fattibilità normativa

Negli intendimenti di progetto vi è la realizzazione di 1 Aerogeneratore sulla posizione indicata e dei cavidotti e delle cabine di consegna necessarie .

L'accesso al cantiere è previsto da strade comunali e vicinali già esistenti, che verranno adeguate per consentire il passaggio dei componenti dell'aerogeneratore e dei mezzi per la costruzione e la manutenzione dello stesso. (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.U.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".*

Aerogeneratore
L'Aerogeneratore 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".*

Viabilità di accesso
L'accesso è previsto per lo più attraverso strade comunali e subordinatamente vicinali già esistenti, che verranno adeguate per consentire il passaggio dei componenti dell'aerogeneratore e dei mezzi per la costruzione e la manutenzione dello stesso.

Il tracciato si dipanerà prima per un breve tratto sul versante padano dello spartiacque ligure in Comune di Masone per poi svalicarlo e proseguire integralmente sul versante Mar Ligure in Comune di Mele.

Il punto di accesso della viabilità dedicata è immediatamente a Nord del confine Mele/Masone, a margine del vecchio tracciato della SS 456 del Turchino, in prossimità dello sbocco Nord della vecchia galleria del Turchino.

Di lì si procederà sfruttando appunto le viabilità esistenti che verranno solo parzialmente rettificate e consolidate in alcuni limitati tratti.

I vigenti strumenti di gestione territoriale sia comunale che sovraordinati (PdB e PUC) sul lato ligure del tracciato non segnalano alcuna criticità geomorfologica a carico del tracciato che verrà interessato dal transito dei mezzi specialmente per il tratto di strada bianca vicinale Mele Ciculo ne per il sovrastante tratto di strada asfaltata comunale convenzionata delle Giutte.

Tutto il tratto viene classificato come *R0 Rischio Lieve o Trascurabile* o *R1 Rischio Moderato* (cfr Documentazione Progettuale

Norme Tecniche di Attuazione N.T.A. del PAI
Per quanto riguarda il breve tratto di viabilità ubicato sul versante padano quindi in Comune di Masone che si svilupperà su una strada vicinale che verrà opportunamente adeguata (cfr Documentazione Progettuale) il PAI (Piano di Assetto Idrogeologico del bacino del Po) segnala immediatamente a valle la presenza di una porzione di territorio classificata come *Fs Frana Stabilizzata*.

Tale classificazione non comporta assolutamente una pregiudiziale per le previste realizzazioni di allargamento ed adeguamento della viabilità vicinale esistente in quanto tali opere porteranno con se una diminuzione della pericolosità geomorfologica in ragione della contestuale realizzazione di una miglior regimazione delle acque alloro intorno.

Inoltre la norma di riferimento (cfr N.T.A. del Pai Art.9 e Art.38 nonché L.R. 3/13 in sostituzione del Art.31 L.R. 56/77) prevede che siano ubicabili in aree di ben maggiore pericolosità geomorfologica di quella in esame quali fin anche le *Fa Frane Attive*, "*opere infrastrutturali non altrimenti realizzabili*" quali appunto una viabilità.

L'intervento in progetto risulta quindi pienamente assentibile alla luce della specifica normativa di uso del territorio contenuta nei vigenti strumenti di gestione territoriale sia Liguri che Padani (PAI, PdB e P.U.C.) a patto della realizzazione di uno studio geologico esecutivo che seguirà il presente scritto, in cui vengono esaminati nel dettaglio sia gli aspetti meramente geotecnici della nuova realizzazione che quelli legati alle mitigazioni del rischio idrogeologico eventualmente insistente sui luoghi e sulle necessarie opere in progetto.

Normativa geologica del vigente Piano di Bacino Ambiti 12-13

L'area di prevista realizzazione dell'Aerogeneratore e della pista di accesso viene classificata come

Rischio Idrogeologico Lieve o Trascurabile R0

Suscettività al Dissesto Bassa Pg1 o Media Pg2 di cui alle norme di Attuazione (Art.16c.4 e Art.16 ter)

Progettazione geologico geotecnica ex N.T.C.18

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. 17/01/2018 NTC18.

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.

Sondaggi Sismici Verticali SSV — metodo

Si sono eseguiti 2 Sondaggi Sismici Verticali (SSV1 SSV2), in prossimità della prova penetrometrica eseguita ed ubicati in planimetria.

Tali indagini hanno consentito di fornire una prima stima sulle caratteristiche in profondità del substrato litoide e sulle caratteristiche elastiche dei materiali investigati.

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 delle misure eseguite sono riportati nelle figure a seguire 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 assenza di un punto di taratura diretta in situ le profondità che verranno qui di seguito esposte sono suscettibili di un errore di ± 10%. Considerato il minimo spessore delle coltri, il grafico non mostra contrasti di impedenza rilevanti.

M21AP MELE L. ENERGIA LOC FADO, SSV1

Tutte le 2 misure effettuate si mostrano ben coerenti con le prove penetrometriche mostrando una sostanziale omogeneità della verticale indagata.

Si rilevano infatti, dopo alcuni picchi superficiali (50Hz) verosimilmente legati alle lavorazioni in corso, alcune deboli strutture di risonanza poste sui 15Hz e sui 7.5 Hz e poi una sostanziale omogeneità del segnale H/V fino a profondità ben maggiori di quelle prescritte da normativa quando in bassissima frequenza si rileva forse un substrato profondo (1Hz).

Tali segnali pongono queste strutture oltre la profondità prescritta per il calcolo del profilo di dispersione delle Vs (VS30) dato che entro quella profondità non si rilevano importanti contrasti di impedenza acustica ma consentono lo stesso di fornire una indicazione progettuale utile agli strutturisti in quanto le frequenze di risonanza di sito non dovranno coincidere con le frequenze fondamentali delle strutture in progetto.

Il segnale di SSV1 è stato poi invertito secondo le usuali metodologie per ottenere una ulteriore misura oltre la MASW del profilo di dispersione delle onde di taglio nei primi 30 m Vs30

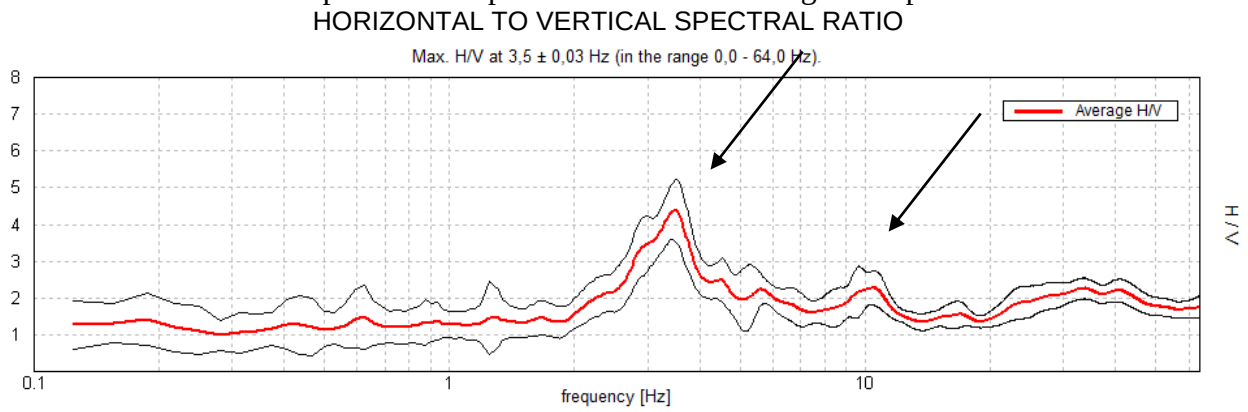
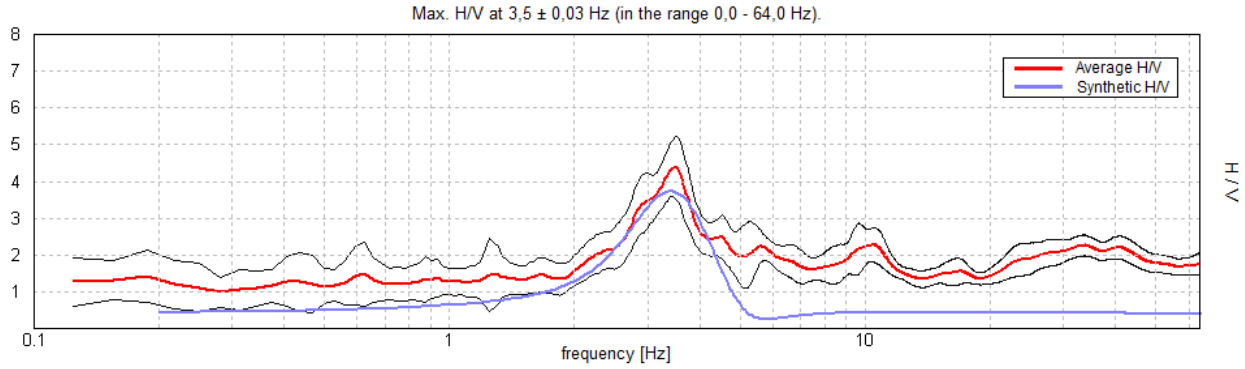


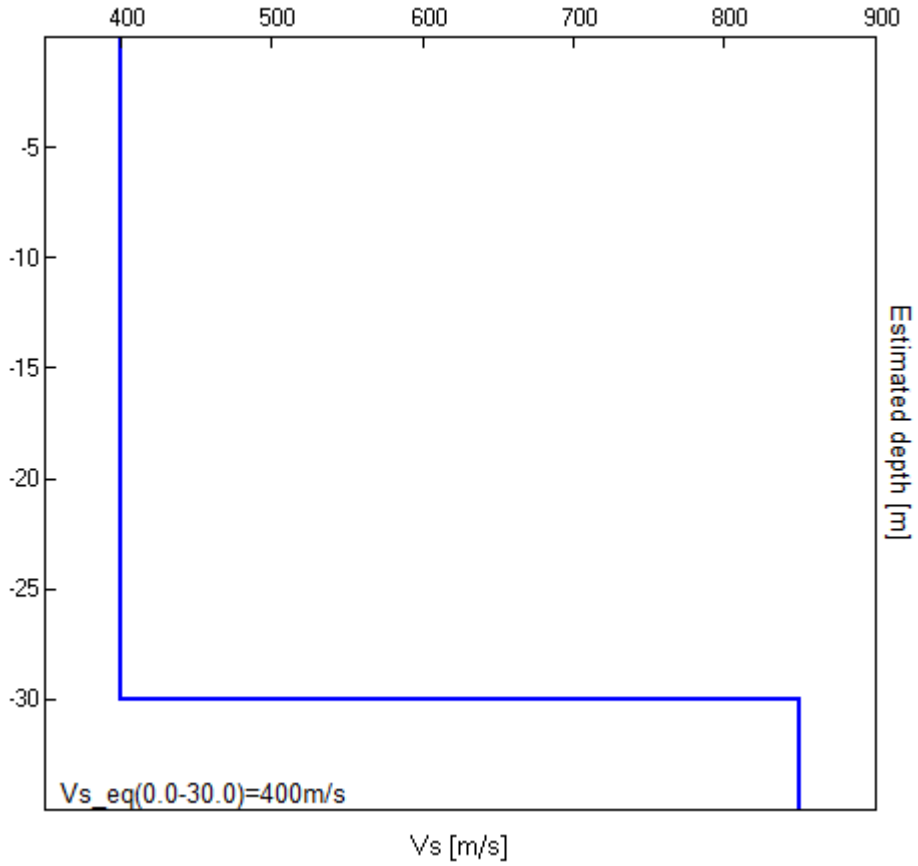
Fig.15 – SSV1—rapporto H/V alle frequenze di interesse.
Le frecce nere indicano le frequenze di risonanza principali discusse

EXPERIMENTAL vs. SYNTHETIC H/V



Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
30.00	30.00	400	0.42
inf.	Inf.	850	0.42

Vs_eq(0.0-0.0)=m/s



Caratterizzazione litostratigrafica, geotecnica ed idrogeologica dei terreni

Suddivisione litostratigrafica
MODELLO GEOLOGICO ex T.U. 17/01/2018

	0.00 m	
Unità Litostratigrafica 1 *Sottili Coltri Subsuperficiali*		
	- 1/2 m	
Unità Litostratigrafica 2 *Substrato Litoide*		
	> 30 m	

Tab.1 Modello Geologico

N.B. Modello Geologico preliminare ricavato esclusivamente dalle indagini sismiche eseguite

Situazione piezometrica dei luoghi
I dati e le misurazioni pregresse eseguite nelle captazioni all'intorno del sito così come nei fori di prova eseguiti non hanno riscontrato la presenza di alcun livello piezometrico a quote interferenti con le strutture fondazionali in progetto.

Restano ovviamente possibili fenomeni di saturazione transitoria dei terreni superficiali in caso di precipitazioni intense e persistenti.

Sismicità dell'area

Classificazione Generale in zone ai sensi Opcm 3274/03 e SS.NN.II:

Il Comune in esame ai sensi dell'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n.3274 del 20/03/2003 viene classificato sismico in Zona 3.

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 ***0.025-0.050 g*** con probabilità di eccedenza pari al 10% in 50 anni

Classificazione sismica di sito preliminare ex N.T.C. 18

Vs30
Dalle indagini eseguite si è potuta misurare una
Vs30 ≈ 400 m/s ± 40 m/s

<Vs> media coltri
Dalle indagini eseguite si è potuta calcolare una Vs media riferita al pacco di sedimento superficiali.
<Vs> = 120 m/s

Frequenza di risonanza specifica dei terreni
L'analisi del tracciato della curva H/V e del profilo MASW mostra solo debolissime deboli strutture di risonanza di cui la principale posizionata attorno ai 3 Hz e poi una minore a 10 Hz più una serie di picchi minori a più basse frequenze in rapporto alle caratteristiche sismostratigrafiche dei terreni investigati.

Dati tali frequenze principali di risonanza dovrà essere cura degli strutturisti evitare l'insorgenza di fenomeni di doppia risonanza terreno/struttura potenzialmente assai pericolosi e distruttivi.

Controllo Stratigrafico e Topografico ex NTC18
Nelle NTC18 la definizione dell'azione sismica è valutata in primis in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido (cat. A) e superficie orizzontale (Cat. T1) così come ricavabile dalla Opcm 3519/06.

Viene poi introdotta la necessità di valutare sia la categoria stratigrafica di sottosuolo che le condizioni stratigrafiche di sito (Tab. 3.2.II, III e IV NTC18) intesi come modificatori della risposta sismica orizzontale mentre per le Zone 3 e 4 quali quelle in esame si esclude esplicitamente l'esame delle componenti verticali.

Dal punto di vista del profilo stratigrafico la zona oggetto di intervento può essere classificata come

Categoria B

NTC18 - Tabella 3.2.II *Categorie di sottosuolo e massimo valore corrispondente di Ss*

Categoria	**Descrizione**	Max coef. di Amplificazione Stratigrafica **Ss**
A	*Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi* caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.	1.0
B	*Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti*, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Velocità Equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.	1.20
C	*Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m*, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Velocità Equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.	1.50
D	*Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m*, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 m/s e 180 m/s.	1.80
E	*Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D*, con profondità del substrato non superiore a 30m. (con V_s > 800 m/s).	1.60

Per Velocità Equivalente di propagazione delle onde di taglio si intende la media pesata delle velocità delle onde S negli strati nei primi metri di profondità dal piano di posa della fondazione, secondo la relazione:

$$Vs,eq = \frac{H}{\sum_{strato=1}^{N} \frac{h(strato)}{Vs(strato)}}$$

Dove N è il numero di strati individuabili nei primi metri di suolo, ciascuno caratterizzato dallo spessore h(strato) e dalla velocità delle onde S Vs(strato); per H si intende la profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da Vs non inferiore a 800 m/s.

Per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio Vs,eq è definita dal parametro Vs30 , ottenuto ponendo H=30 m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

Mentre considerate le Caratteristiche Topografiche l'area può essere classificata **Categoria T2**

NTC18 - Tabella 3.2.IV e VI – *Categorie topografiche e Valore del coef. di amplificazione*

Categoria	**Descrizione**	Coef. di Amplificazione Topografica **St**
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media i ≤ 15°	1.0
T2	Pendii con inclinazione media i > 15°	1.2
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media 15° ≤ i ≤ 30°	1.2
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media i > 30°	1.4
Note applicative		
a)	le suesposte categorie topografiche si riferiscono a configurazioni geometriche prevalentemente bidimensionali, creste o dorsali allungate e devono essere considerate nella definizione dell'azione sismica se di altezza maggiore di 30 m	
b)	le suesposte categorie topografiche si riferiscono a ubicazioni in prossimità della sommità o della cresta mentre il coef. di amplificazione topografica decresce linearmente con l'altezza del pendio fino a diventare pari all'unità alla base dello stesso	

Liquefazione dei terreni
Ai sensi della vigente normativa la verifica della possibilità di liquefazione dei terreni in condizione sismica può essere omessa, in alcuni casi tra cui caso di accelerazione massima attesa in condizioni di campo libero a_g < 0.1 g quale quella del sito in esame (cfr. NTC 18 § 7.11.3.4.2).

Analisi Sismica Pseudostatica
La valutazione dell'azione sismica equivalente può essere condotta in condizioni pseudostatiche (cfr. NTC 18 § 7.11.3.5.2) secondo le equazioni seguenti

$$P_{sismica\ h} = W\ K_h \qquad \text{e} \qquad P_{sismica\ v} = W\ K_v$$

con dati i due coef. di spinta orizzontale e verticale K_h e K_v

$$K_h = B_m \frac{a_{max}}{g} \qquad \text{con} \qquad a_{max} = a_g\ S_S\ S_T$$

$$B_m = 0.2\ per\ a_g \leq 0.1$$

e

$$K_v = \pm \frac{1}{2} K_h$$

Con contributo di spinta verticale comunque da trascurarsi all'interno delle Zone 3 e 4 (cfr. NTC 18 § 7.11.3.5.2)

Parametri Sismici

Stati limite

Classe Edificio

III. Affollamento significativo...

Vita Nominale 50

Interpolazione Media ponderata

CU = 1.5

Stato Limite	Tr [anni]	a_g [g]	Fo	Tc^* [s]
Operatività (SLO)	45	0.025	2.518	0.192
Danno (SLD)	75	0.032	2.507	0.217
Salvaguardia vita (SLV)	712	0.079	2.495	0.278
Prevenzione collasso (SLC)	1462	0.105	2.485	0.281
Periodo di riferimento per l'azione sismica:	75			

Coefficienti sismici

Tipo: Stabilità dei pendii e fondazioni

☐ Muri di sostegno che non sono in grado di subire spostamenti.

H (m): 1 us (m): 0.1

Cat. Sottosuolo: B

Cat. Topografica: T1

	SLO	SLD	SLV	SLC
SS Amplificazione stratigrafica	1,20	1,20	1,20	1,20
CC Coeff. funz categoria	1,53	1,49	1,42	1,42
ST Amplificazione topografica	1,00	1,00	1,00	1,00

☐ Acc.ne massima attesa al sito [m/s²] 0.6

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0.006	0.008	0.019	0.030
kv	0.003	0.004	0.010	0.015
Amax [m/s²]	0.290	0.372	0.935	1.235
Beta	0.200	0.200	0.200	0.240

Conclusioni

La Società L.Energia Srl, ha in progetto la realizzazione del parco eolico denominato "Fado" costituito da un singolo aerogeneratore della potenza complessiva di 4,2 MW, collocato all'interno del territorio del comune di Mele (GE), in località Fado - Bric Aresci

L'attuale proposta progettuale deriva dalla procedura di scoping presentata nel 2014 riguardante due aerogeneratori, progetto che non ha potuto avere seguito nell'immediato per l'assenza di un quadro normativo delineato sugli incentivi nazionali ed altri ostacoli normativi regionali, oggi superati (vedi paragrafo successivo).

Il progetto prevede l'installazione di 1 aerogeneratore da 4.200 kW, del più elevato livello tecnologico attualmente disponibile, con cabina di trasformazione interna alla torre al fine di minimizzare l'occupazione del suolo.

L'accesso è previsto per lo più attraverso strade comunali e subordinatamente vicinali già esistenti, che verranno adeguate per consentire il passaggio dei componenti dell'aerogeneratore e dei mezzi per la costruzione e la manutenzione dello stesso.

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 di incidenza ai sensi del disposto della normativa di utilizzo del territorio contenuta nei vigenti strumenti di gestione territoriale (PAI, PdB e PUC) ed una modellizzazione geologico del sottosuolo dell'intervento ai sensi dalla vigente normativa (D.M 17/01/2018 N.T.C.18).

- 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;;
- 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;
- Per quanto riguarda il breve tratto di viabilità ubicato sul versante padano quindi in Comune di Masone che si svilupperà su una strada vicinale che verrà opportunamente adeguata (cfr Documentazione Progettuale) il PAI (Piano di Assetto Idrogeologico del bacino del Po) segnala immediatamente a valle la presenza di una porzione di territorio classificata come *Fs Frana Stabilizzata*; tale classificazione non comporta assolutamente una pregiudiziale per le previste realizzazioni di allargamento ed adeguamento della viabilità vicinale esistente in quanto tali opere porteranno con se una diminuzione della pericolosità geomorfologica in ragione della contestuale realizzazione di una miglior regimazione delle acque alloro intorno;
- inoltre la norma di riferimento (cfr N.T.A. del Pai Art.9 e Art.38 nonché L.R. 3/13 in sostituzione del Art.31 L.R. 56/77) prevede che siano ubicabili in aree di ben maggiore

pericolosità geomorfologica di quella in esame quali fin anche le *Fa Frane Attive*, "*opere infrastrutturali non altrimenti realizzabili*" quali appunto una viabilità.

- la 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 più che soddisfacenti per quanto riguarda eventuali instabilità dei versanti (cfr. Capitolo Specifico);
- la caratterizzazione sismica preliminare delle aree di intervento secondo le NTC18 è stata derivata 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. 17/01/2018 contenente i modelli geologico geotecnici di riferimento e la caratterizzazione sismica sito specifica per ciascun intervento puntuale.

Il presente lavoro si compone di 27 pagine compresa la presente

Acqui Terme, gennaio 2022 *Dott. Geol. Marco ORSI*



REGIONE LIGURIA
PROVINCIA DI GENOVA
COMUNE DI MELE

PARCO EOLICO "FADO"

STUDIO PRELIMINARE AMBIENTALE

RELAZIONE GEOLOGICA

FASE DI PROGETTO PRELIMINARE

COMMITTENTE: L.ENERGIA SRL VIA XX SETTEMBRE 33/10 – 16121 GENOVA GE	per presa visione
PROGETTISTA: STUDIOELB- INGEGNERI ASSOCIATI C.SO TORINO 17/6 – 16129 GENOVA GE	per presa visione

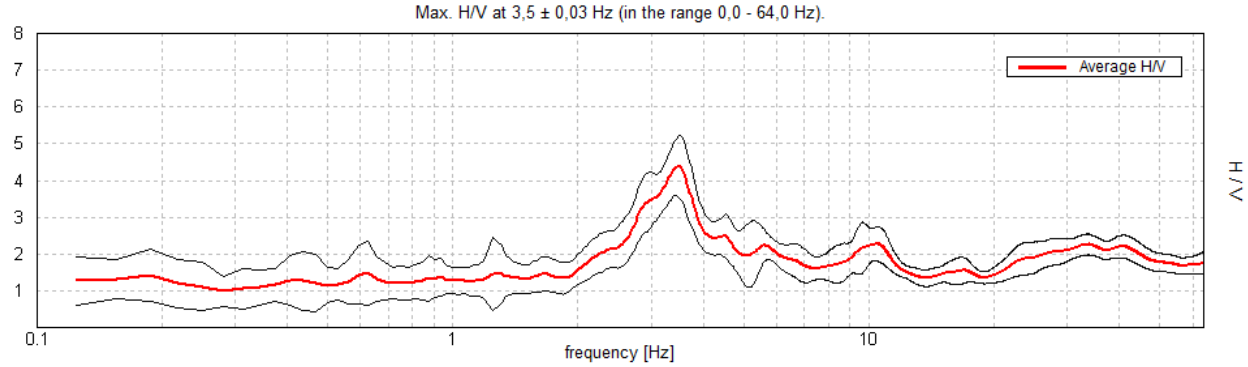
	rif. M21AP_1
Il Tecnico Incaricato Dott. Geol. Marco Orsi Dottore di Ricerca in Scienze Ambientali Ordine dei Geologi del Piemonte n.287 via Nizza 7 - 15011 Acqui Terme (AL) tel.: 0144-321225 fax 0144-980163 cell:348-5835102 *E-mail*: studio@geolorsi.it pec geolorsi@pec.it	 Acqui Terme, gennaio 2022

Allegato 1 – Sondaggi Sismici Verticali Schede di Prova

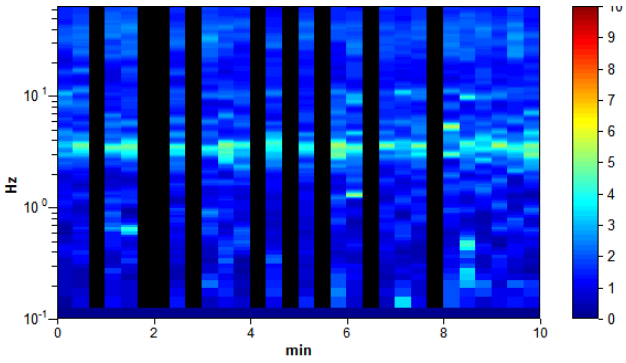
M21AP MELE L. ENERGIA LOC FADO, SSV1

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%

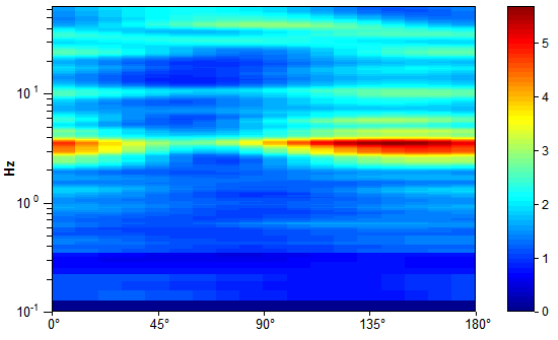
HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO



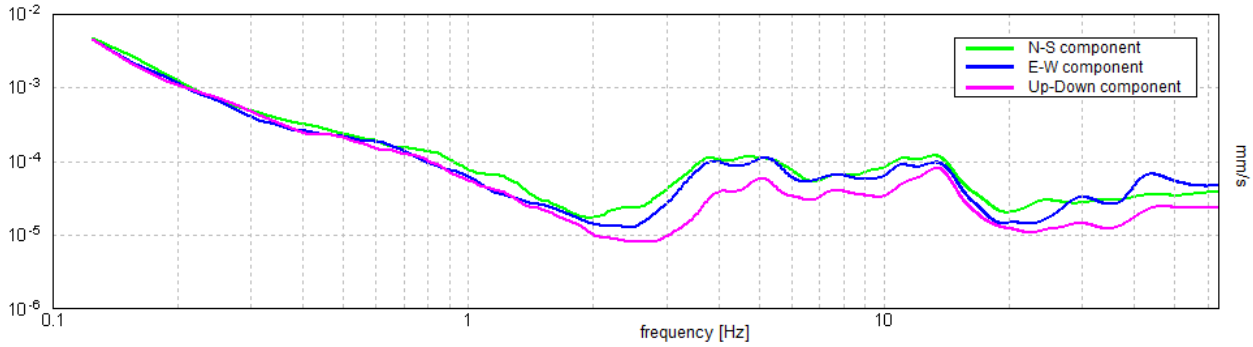
H/V TIME HISTORY



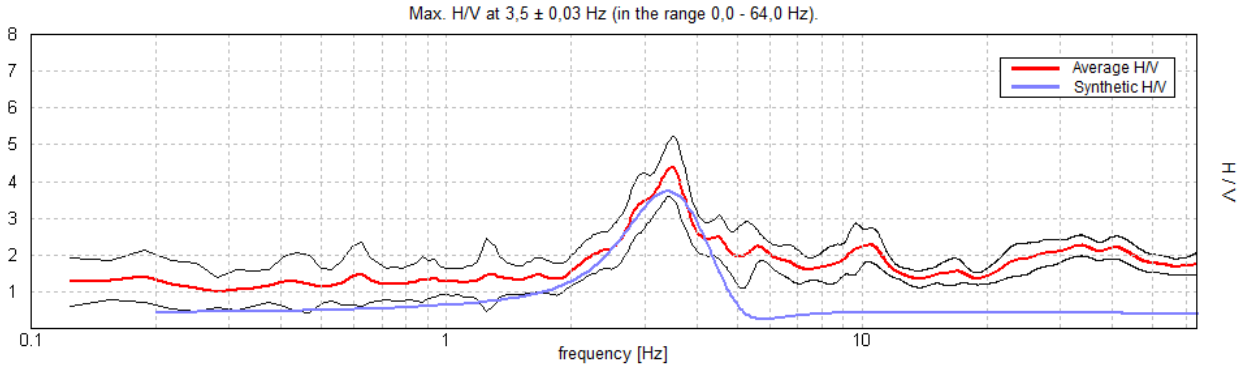
DIRECTIONAL H/V



SINGLE COMPONENT SPECTRA

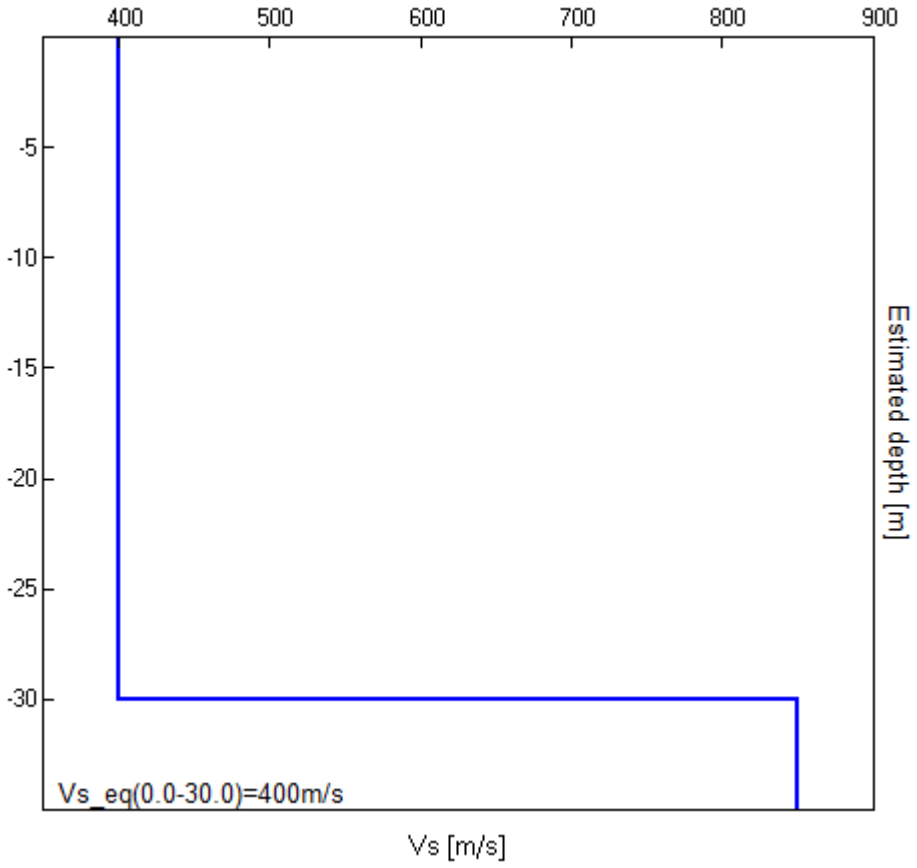


EXPERIMENTAL vs. SYNTHETIC H/V



Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
30.00	30.00	400	0.42
inf.	inf.	850	0.42

Vs_eq(0.0-0.0)=m/s



[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 $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

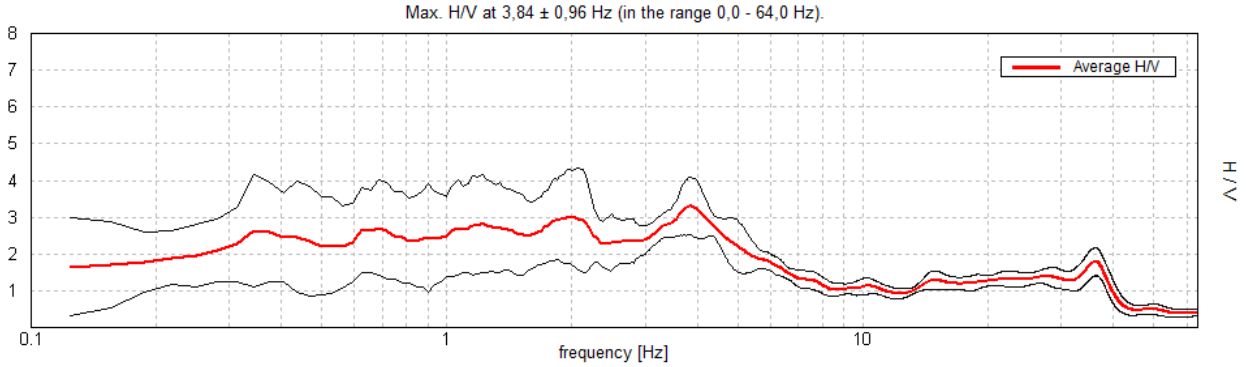
Threshold values for σ_f and $\sigma_A(f_0)$					
Freq. range [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	0.25 f_0	0.2 f_0	0.15 f_0	0.10 f_0	0.05 f_0
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
log $\theta(f_0)$ for $\sigma_{logH/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

Start recording: 11/08/14 19:29:46 End recording: 11/08/14 19:39:47

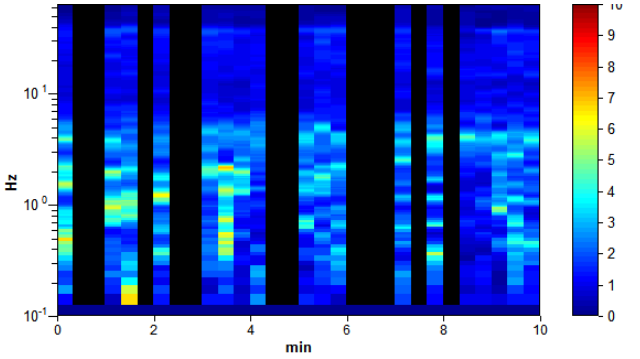
M21AP MELE L. ENERGIA LOC FADO, SSV2

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%

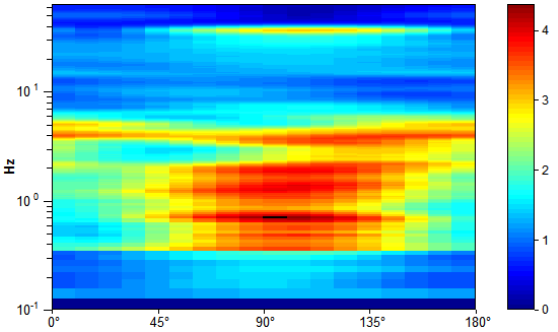
HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO



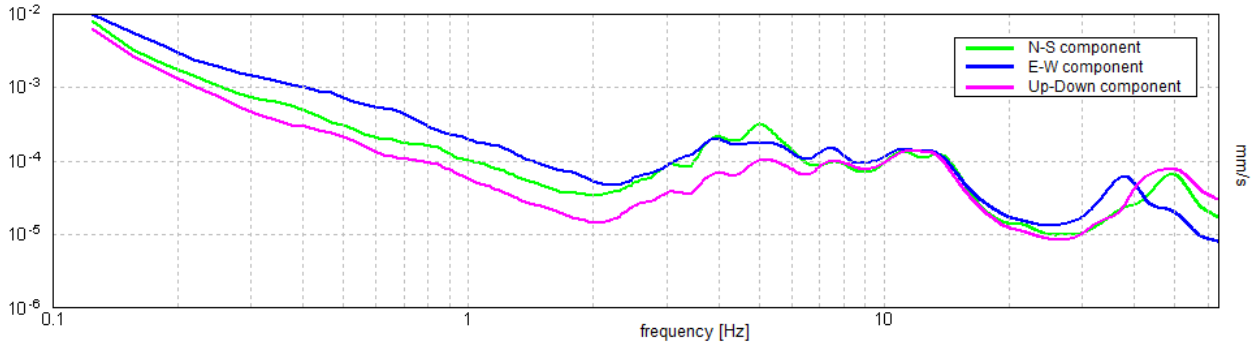
H/V TIME HISTORY



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).

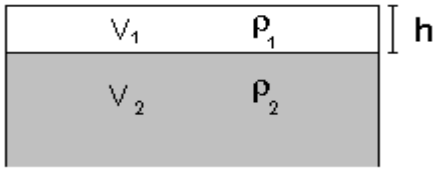


Fig.α - Modello di suolo costituito da due strati a diverse velocità delle onde sismiche e densità.

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