

francesco barellini geologo - via francesco baracca, 15/a 50127 firenze - 05500988205. 0550988253. 336727234  
francescobarellini@gmail.com

# COMUNE DI SAN GODENZO

## PIANO ATTUATIVO DI LOTTIZZAZIONE EDILIZIA "LE VASCHE" - I SODI, CASTAGNO D'ANDREA -

### RELAZIONE GEOLOGICA CON PARAMETRIZZAZIONE FISICO-MECCANICA DEI TERRENI

LE VASCHE s.r.l.

04 LUGLIO 2014



## 1. PREMESSA

La Società LE VASCHE s.r.l. mi ha incaricato di effettuare uno studio geologico da allegare alla realizzazione del PIANO ATTUATIVO DI LOTTIZZAZIONE EDILIZIA "LE VASCHE" da effettuarsi nella frazione del Castagno d'Andrea, in località I Sodi nel Comune di San Godenzo.

L'area interessata dal progetto è identificata nel Foglio n. 72 e ricade nelle particelle 356, 357d, 190 e 357e della mappa catastale comunale.

In questa sede intendo analizzare le componenti geologiche e geotecniche che hanno permesso di individuare l'area in esame come sfruttabile, secondo quanto detto precedentemente, secondo quanto stabilito dalla relazione di Piano Strutturale.

È stato quindi redatto il presente studio geologico con parametrizzazione fisico-meccanica dei terreni da allegare al PROGETTO ESECUTIVO PIANO DI LOTTIZZAZIONE.

Il programma di indagini eseguito per l'edificazione del lotto, oltre che di un rilevamento geologico di superficie, è consistito in un sondaggio geognostico a carotaggio continuo con prove in posto, spinto a 6,0 m di profondità.

Vista la natura dell'intervento attualmente in oggetto, l'indagine eseguita nel 2005 è da ritenersi bastante, in accordo con le **NTC 2008** e con la **D.P.G.R. 36/R-2009**, dal momento che lo stesso è ricadente nella **CLASSE 1** della suddetta delibera Art. 7 capo 3.

All'atto della progettazione esecutiva del fabbricato verranno eseguite ulteriori indagini conoscitive in accordo con le **NTC 2008** e la **D.P.G.R. 36/R-2009**.

## 2. INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO

L'area in esame, posta alla quota di circa 720 m s.l.m., è situata in sinistra idrografica del Torrente Falterona, nella porzione nord del centro abitato di Castagno d'Andrea ed occupa la porzione medio sommitale di un sistema montuoso fortemente fratturato in senso longitudinale alla catena appenninica. Nelle zone di alto tettonico, come l'area in esame, affiorano i depositi delle Unità Toscane, quali le Arenarie di Monte Cervarola e Falterona ed i termini ad esse associati.

Dalle osservazioni geologiche eseguite per un ampio intorno dell'area interessata dall'intervento emerge che l'intero rilievo, con pendenze medie del 25%, è costituito dalle Arenarie di Monte Falterona, appartenenti all'Unità Cervarola-Falterona. Dette arenarie sono costituite da strati arenacei grigi con grani di dimensioni medio grossolani, da spessi a molto spessi, con sottili interstrati siltoso-marnosi e marnosi più potenti. Inoltre sono stati rilevati sottili livelli, 10-20 cm di spessore, di argilliti nere e torbiditi carbonatico-marnose di spessore variabile da pochi centimetri a qualche metro.

Nelle vicinanze dell'edificio in oggetto, che è situato in una zona quasi pianeggiante affiorano numerosi blocchi a stretto contatto tra di loro, appartenenti ad una antica massa franosa in stato di quiescenza, contenenti una matrice sabbioso-limosa. La stabilità dell'intera area può essere considerata discreta come testimoniano le ottime condizioni degli edifici circostanti, nonché dell'albergo stesso.

La porzione superficiale dell'area d'intervento è caratterizzata da una coltre di terreno eluvio-colluviale, di spessore medio di 6-7 m, che ricopre in modo pressoché continuo i litotipi sottostanti. Tale coltre è costituita da un suolo prevalentemente limo-argilloso con abbondanti frammenti litoidi sparsi, prodotto sia dall'alterazione dei litotipi in posto che da accumuli detritici.

Dal punto di vista morfodinamico, nell'area non si riscontrano, allo stato attuale, particolari situazioni di instabilità.

Il regime delle acque superficiali è caratterizzato da un flusso sia diffuso lungo il pendio che concentrato nelle incisioni che solcano i versanti. Dal punto di vista idrogeologico, permeazioni di acqua o modesti adunamenti idrici di scarsa rilevanza e di bassa produttività, strettamente legati agli eventi meteorici, possono avere sede nelle coltri superficiali dei litotipi alterati. Le caratteristiche della circolazione idrica nel sottosuolo sono invece direttamente connesse alla complessità della struttura geologica locale; la permeabilità dei litotipi descritti è infatti legata al loro particolare stato di addensamento. Infatti l'alta permeabilità del corpo sedimentario favorisce l'accumulo delle acque in

profondità a scapito di falde superficiali. Se ne deduce che pozzi profondi possono avere una elevata produttività, mentre pozzo poco profondi tendono ad essere produttivi essenzialmente durante le stagioni piovose.

Inoltre la permeabilità dei sedimenti impedisce una qualsiasi interazione tra le opere in progetto e le acque di falda.



# CARTA GEOMORFOLOGICA

Professionista incaricato:  
Prof. Geol. Eros Aiello

Scala 1:2.000

Con:  
Dott. Geol. Gabriele Grandini

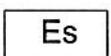
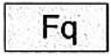
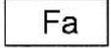
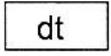
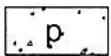
Collaboratrice:  
Dott. Geol. Veronica Valeriani

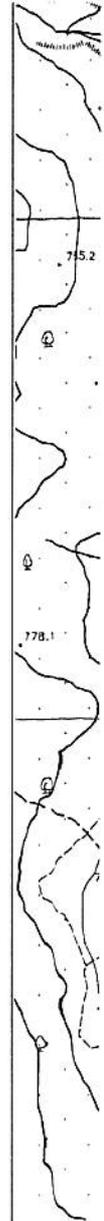
Gennaio 2009

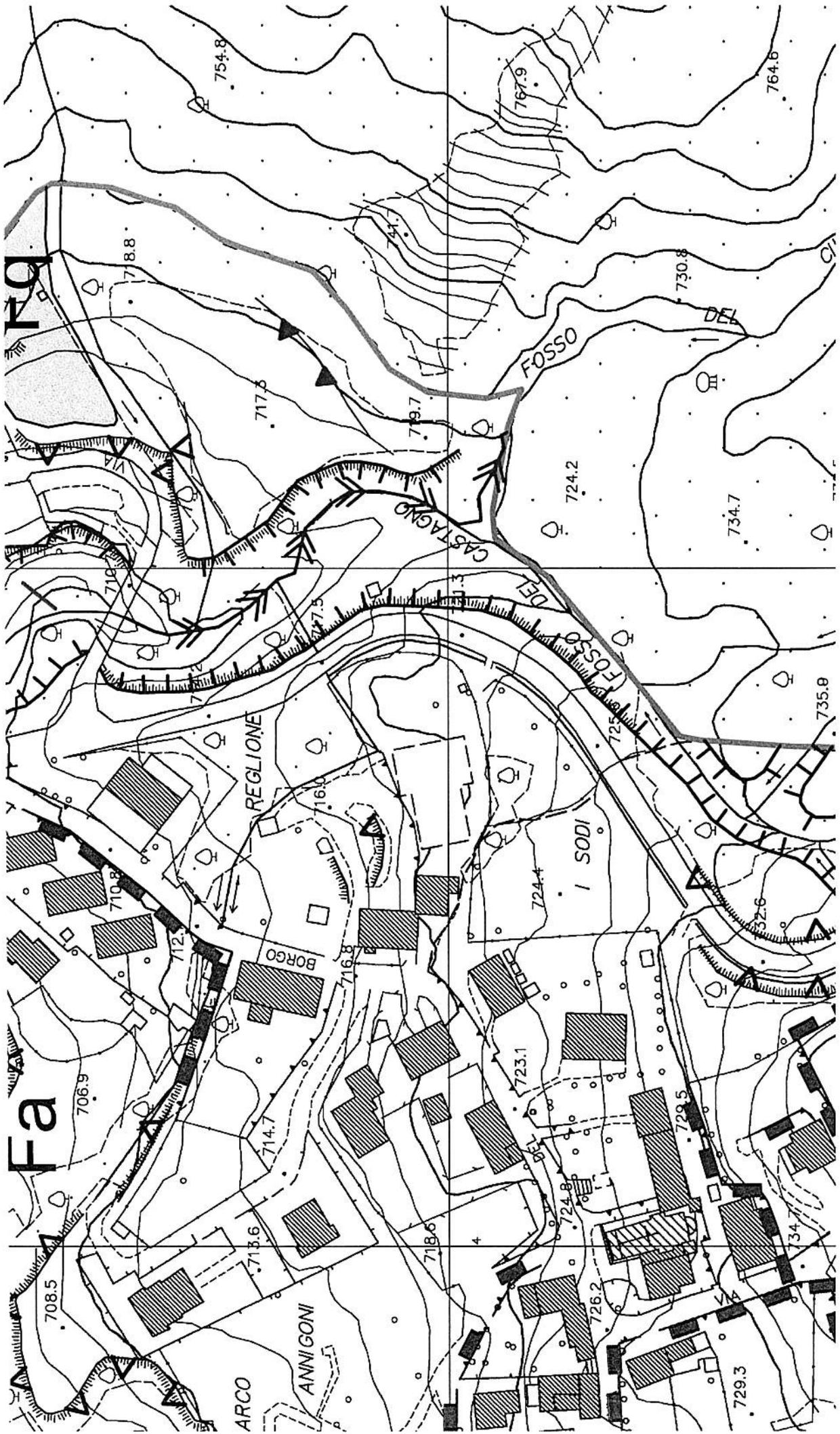
**GEO ECO ENGINEERING**  
Società di Ingegneria s.r.l.

Via Andrea del Castagno, 8 - 50132 Firenze  
☎ 055/571393, 055/575954; fax.055/5522329  
✉ info@geoecoprogetti.com  
C.F. e P.IVA 05339350489

## LEGENDA

-  Orlo di scarpata fluviale coincidente con il ciglio di sponda
-  Scarpata attiva di altezza superiore a 5 m.
-  Scarpata attiva di altezza inferiore a 5 m.
-  Scarpata inattiva di altezza superiore a 5 m.
-  Scarpata inattiva di altezza inferiore a 5 m.
-  Alveo con tendenza all'approfondimento
-  Scarpata antropica
-  Briglie in buono stato
-  Briglie in cattivo stato di manutenzione
-  Fosso intubato
-  Area soggetta ad erosione superficiale
-  Corpo di frana quiescente
-  Corpo di frana antica e/o naturalmente stabilizzata.
-  Falda di detrito stabilizzata
-  Paramento di valle lago
-  \* Area intensamente modellata da interventi umani.
-  U Area urbanizzata.
-  Limite approfondimenti a scala 1:2.000





### 3. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEI TERRENI

Le norme tecniche riguardanti i terreni di fondazione sono regolate dalle **NTC 2008** che stabilisce che l'ampiezza delle indagini necessarie per la caratterizzazione fisico-meccanica del terreno di fondazione sia basata sull'importanza ed entità dell'opera nonché sul grado di complessità della situazione geologica locale.

In ottemperanza alla normativa vigente è stata eseguita un'indagine sismica di tipo MASW i cui risultati sono allegati in calce.

Per la parametrizzazione fisico-meccanica ricordo che il lotto in esame è stato investigato, nel 2005, mediante un sondaggio geognostico a carotaggio continuo spinto a 6,0 m dal p.c. durante il quale è stata effettuata una prova SPT alla profondità di 2,5 m.

I principali parametri geotecnici, elaborati sulla base dei risultati forniti dalla prova penetrometrica, sono stati utilizzati per la determinazione delle caratteristiche fisiche generali nonché per la valutazione dei parametri di resistenza necessari per la verifica a rottura del complesso fondazione-terreno.

- da 0,0 a 0,5-0,7 m: terreno pedogenizzato;
- da 0,5-0,7 a fine sondaggio: detrito di versante in matrice sabbioso-limosa.

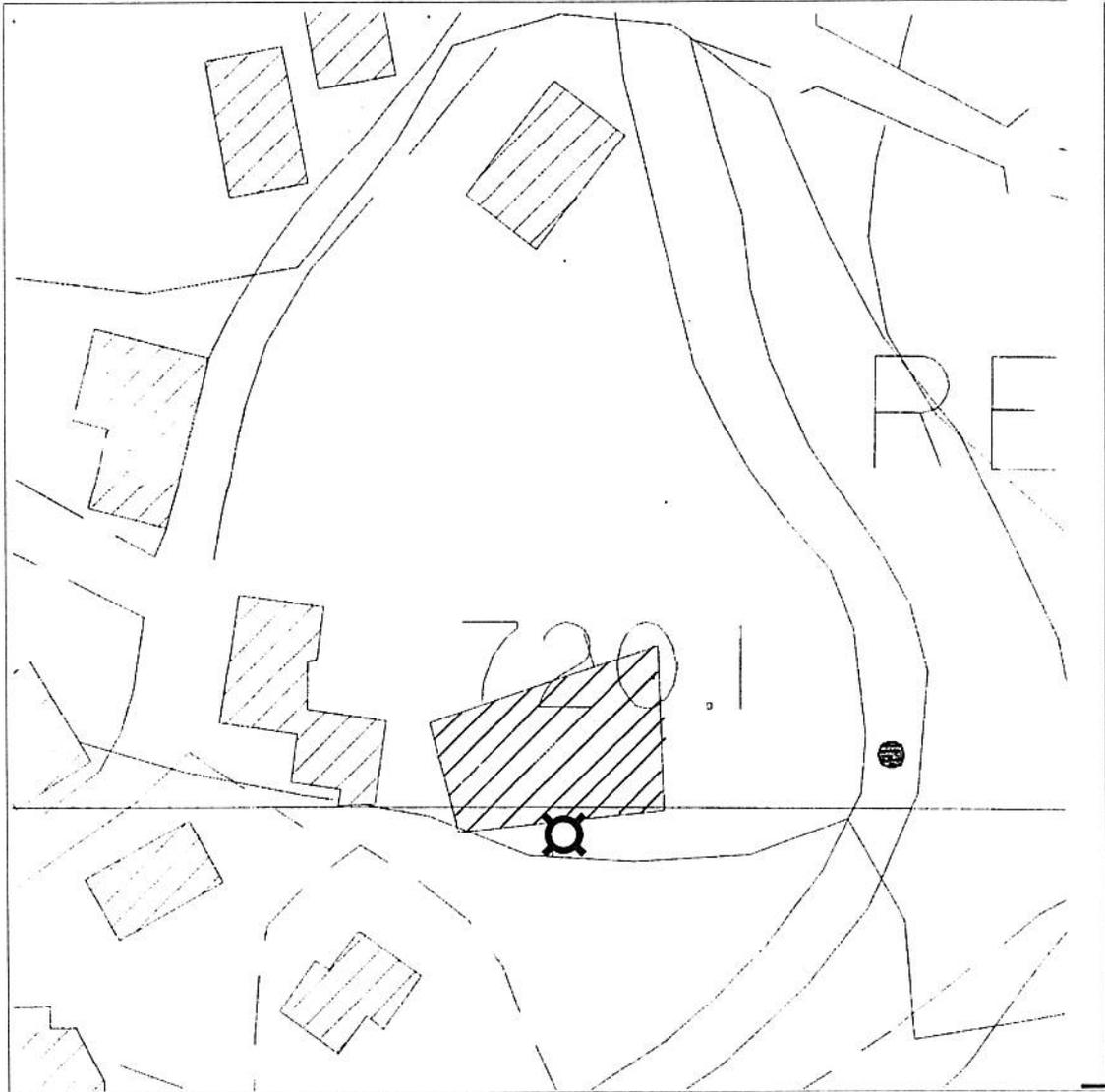
Durante la fase delle indagini è stato posizionato nel foro di prova del sondaggio un tubo piezometrico per il rilievo della superficie freatica. Le misure, eseguite alcuni giorni dopo l'installazione del piezometro, hanno evidenziato la totale mancanza di acqua.

La prova SPT, eseguita alla profondità di circa 2,5 m, ha fornito i risultati osservabili nello schema seguente:

S1 – SPT 1:            N<sub>1</sub> = 12   N<sub>2</sub> = rifiuto

dove N<sub>1</sub>, N<sub>2</sub> ed N<sub>3</sub> rappresentano il numero dei colpi necessari all'avanzamento del carotiere per 15 cm di infissione.

I risultati ottenuti sono caratteristici dei terreni con molti inclusi litoidi anche di grosse dimensioni, granosostenuti e talora debolmente cementati o con un buon grado di addensamento, da cui si deduce un valore dell'angolo di attrito interno di circa 35°. Le buone caratteristiche tessiturali del terreno in esame, si traducono in discreti valori della capacità portante e parimenti, in trascurabili fenomeni di compressibilità, sotto l'azione dei carichi.



Ubicazione sondaggio (■).

#### **4. OPERE IN PROGETTO - FATTIBILITA'**

Il progetto prevede la lottizzazione dell'area, oltre ad ampi spazi verdi, come meglio evidenziato negli elaborati grafici redatti dallo studio dell'Ing. BRUNO DADDI di Firenze, cui faccio rimando.

Si analizzeranno quindi gli effetti della realizzazione delle opere di urbanizzazione e delle nuove edificazioni sui terreni in esame.

Da quanto emerso con l'indagine conoscitiva svolta l'intera area è costituita da terreni detritici molti inclusi litoidi anche di grosse dimensioni, granosostenuti e talora debolmente cementati o con un buon grado di addensamento,

Per la discussione sui caratteri geologici e fisico-meccanici dei terreni in esame, si rimanda agli appositi capitoli del presente rapporto.

Gli interventi di urbanizzazione e nuova costruzione comporteranno l'asportazione massima di circa 0,4-0,5 m di terreno. È ovvio che l'aggravio sui terreni fondali è nullo, per quanto riguarda le opere di urbanizzazione, mentre è compatibile con i caratteri fisico-meccanici dei terreni indagati, per quanto attiene alla nuova edificazione, come da verifica allegata.

##### **- Fattibilità**

Per quanto riguarda la definizione della classe di fattibilità dell'opera in progetto è stato fatto riferimento alle INDAGINI GEOLOGICO TECNICHE DI SUPPORTO AL R.U. reperite presso l'Ufficio Tecnico del Comune di San Godenzo. Tali indagini sono state integrate da quelle effettuate dallo scrivente al fine di stabilire la classe di fattibilità dell'intervento.

Secondo gli elaborati allegati al nuovo Piano Strutturale comunale, l'area in esame ricade nella classe 3 di pericolosità geologica, ossia a pericolosità media. L'area è dotata di discreta stabilità, essendo impostata sul corpo dell'antica frana di Castagno, ormai da stabilizzata da centinaia di anni. Inoltre l'area, è ovviamente stralciata da qualsiasi indicazione di rischio per ciò che attiene al rischio di esondazioni.

Per quanto riguarda le indagini geologico-tecniche di supporto al R.U., redatte secondo la **D.P.G.R. 26/R-2007**, l'area ricade in parte nella classe di pericolosità geologica **G.2** (pericolosità geomorfologica media) ed in parte nella classe **G.3** (pericolosità geomorfologica elevata).

Nella carta della pericolosità sismica la zona in esame ricade nella classe **S.3**, ossia a pericolosità sismica locale elevata.

Nella carta degli elementi a ZMPSL l'area di studio viene inserita nelle zone 3 e 10.

Anche in questo caso non si considera la pericolosità idraulica.

La cartografia redatta dall'Aut. di Bacino, inserisce la zona di studio nella classe P.F.2, stralcio 134, 1:10.000 del 2009.

Sulla base di quanto esposto, ritengo di potere assegnare all'intervento in esame la **classe di fattibilità 2**, corrispondente a livelli di rischio basso, dal momento che la realizzazione delle opere di urbanizzazione non andrà ad inficiare le buone condizioni di stabilità dell'area.

Tale attribuzione è da riferirsi alle sole opere di urbanizzazione, dal momento che l'intervento edilizio ha l'attribuzione di fattibilità contenuta nello S.U. vigente, ossia pericolosità geomorfologica F.3, pericolosità idraulica F.1 e pericolosità sismica F.3.

## 5. SISMICITA'

Il territorio di San Godenzo ricade nella **zona sismica 2** secondo quanto stabilito dall'Ordinanza **P.C.M. 3274** del 23.03.2003.

Il D.M. 14.01.2008 (NTC 2008) impone che la stima della pericolosità sismica venga definita mediante un approccio sito dipendente. Pertanto è stato effettuato lo stendimento sismico, i cui certificati sono in allegato, per la misura puntuale della Vs30 e la definizione della categoria di terreno secondo la **Tab. 3.2.II** delle NTC 2008.

La pendenza media del sito di indagine permette di attribuire all'area la **categoria topografica T1** in accordo con la **Tab. 3.2.IV** delle NTC 2008.

L'esame dei dati delle indagini sismiche svolte ha portato a considerare i terreni su cui insiste il progetto ricadenti nella **CATEGORIA B** della tabella succitata, che comporta i valori di **Ss** e **Cc** della **Tab. 3.2.V** sempre delle NTC 2008.

L'indagine geognostica e la conseguente caratterizzazione stratigrafica hanno permesso di verificare come i termini alluvionali possano essere considerati come una unica unità stratigrafica, tralasciando la coltre di alterazione. Tale unità è ovviamente chiamata **UNITA' A**.

Si ricorda l'assenza di acqua.

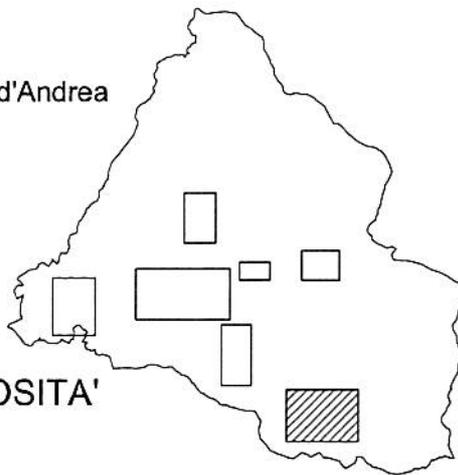
Dai valori del peso di volume e della coesione, ed eventualmente dell'angolo di attrito, si ricavano i valori caratteristici cui si applicano i coefficienti di sicurezza parziali **Y<sub>M</sub>** (CP) in funzione dello stato limite considerato (**Tab. 6.2.II** NTC 2008).

Nel nostro caso, prenderemo in considerazione le verticali di prova ed applicando quanto previsto dalle NTC 2008 otteniamo i seguenti valori:

<b>c'k</b>	<b>φ'k</b>
<b>0 kPa</b>	<b>35°</b>

Prendendo in considerazione l'APPROCCIO 1 nelle due combinazioni, ossia 1 (STR) e 2 (GEO) vediamo che M1, fattore parziale di sicurezza dei parametri geotecnici, è unitario, per cui i parametri di progetto da inserire nelle verifiche sono uguali ai parametri caratteristici. Invece M2, per cui i fattori parziali sono diversi da zero e maggiori dell'unità, comporta che i valori caratteristici vanno ridotti dei rispettivi FS (o **Y<sub>M</sub>** nella notazione dell'EC7).

Tavola E5 - Castagno d'Andrea



## CARTA DELLA PERICOLOSITA' GEOMORFOLOGICA

*Professionista incaricato:*  
*Prof. Geol. Eros Aiello*

*Con:*  
*Dott. Geol. Gabriele Grandini*

*Collaboratrice:*  
*Dott. Geol. Veronica Valeriani*

Gennaio 2009

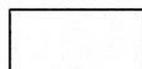
**GEO ECO ENGINEERING**  
Società di Ingegneria s.r.l.

Via Andrea del Castagno, 8 - 50132 Firenze  
☎ 055/571393, 055/575954; fax.055/5522329  
✉ info@geocoprogetti.com  
C.F. e P.IVA 05339350489

### LEGENDA



G4 - Pericolosità geomorfologica molto elevata



G3 - Pericolosità geomorfologica elevata



G2 - Pericolosità geomorfologica media



G1 - Pericolosità geomorfologica bassa

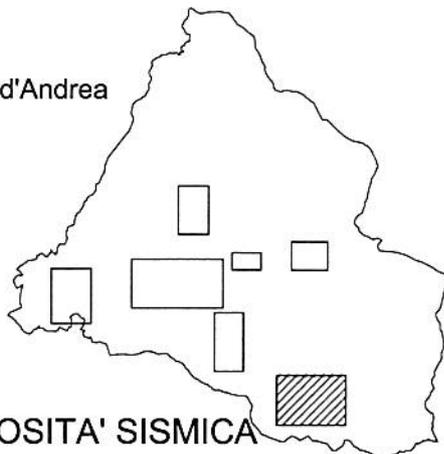


*Limite approfondimenti a scala 1:2.000*

778.1



Tavola G5 - Castagno d'Andrea



## CARTA DELLA PERICOLOSITA' SISMICA

*Professionista incaricato:*  
*Prof. Geol. Eros Aiello*

*Con:*  
*Dott. Geol. Gabriele Grandini*

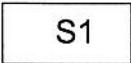
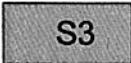
*Collaboratrice:*  
*Dott. Geol. Veronica Valeriani*

Gennaio 2009

**GEO ECO ENGINEERING**  
Società di Ingegneria s.r.l.

Via Andrea del Castagno, 8 - 50132 Firenze  
☎ 055/571393, 055/575954; fax.055/5522329  
✉ info@geocoprogetti.com  
C.F. e P.IVA 05339350489

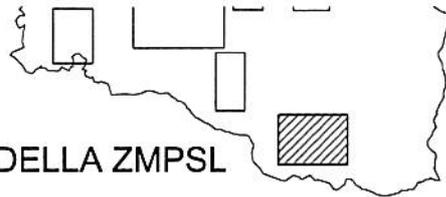
### LEGENDA

- |   |  |
|---|--|
|  | S1 - Pericolosità sismica locale bassa         |
|  | S2 - Pericolosità sismica locale media         |
|  | S3 - Pericolosità sismica locale elevata       |
|  | S4 - Pericolosità sismica locale molto elevata |

— Limite approfondimenti a scala 1:2.000







# CARTA DEGLI ELEMENTI DELLA ZMPSL

Professionista incaricato:  
Prof. Geol. Eros Aiello

Con:  
Dott. Geol. Gabriele Grandini

Collaboratrice:  
Dott. Geol. Veronica Valeriani

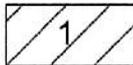
Gennaio 2009

**GEO ECO ENGINEERING**  
Società di Ingegneria s.r.l.

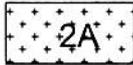
Via Andrea del Castagno, 8 - 50132 Firenze  
☎ 055/571393, 055/575954; fax.055/5522329  
✉ info@geocoprogetti.com  
C.F. e P.IVA 05339350489



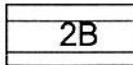
## LEGENDA



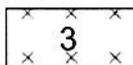
Zone caratterizzate da movimenti franosi attivi



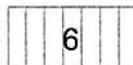
Zona caratterizzata da movimenti franosi quiescenti



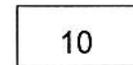
Zone potenzialmente franose



Zona caratterizzata da movimenti franosi inattivi



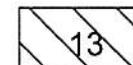
Zona di ciglio H>10 m costituiti da scarpate a parete sub-verticale, bordi di cava, nicchie di distacco, orli di terrazzo e/o scarpate e/o scarpate di erosione (buffer di 10 m a partire dal ciglio).



Zone con presenza di coltri detritiche di alterazione del substrato roccioso e/o coperture colluviali



Zone di contatto fra litotipi con caratteristiche fisico-meccaniche significativamente diverse.

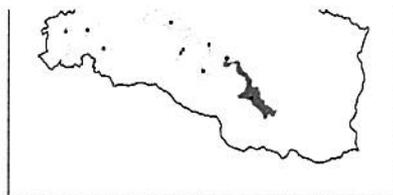


Contatti tettonici, faglie, sovrascorrimenti e sistemi di fratturazione.

— Limite approfondimenti a scala 1:2.000







Professionista incaricato:  
Prof. Geol. Eros Aiello

Scala 1:2.000

Con:  
Geol. Gabriele Grandini

Collaboratrice:  
Geol. Veronica Valeriani

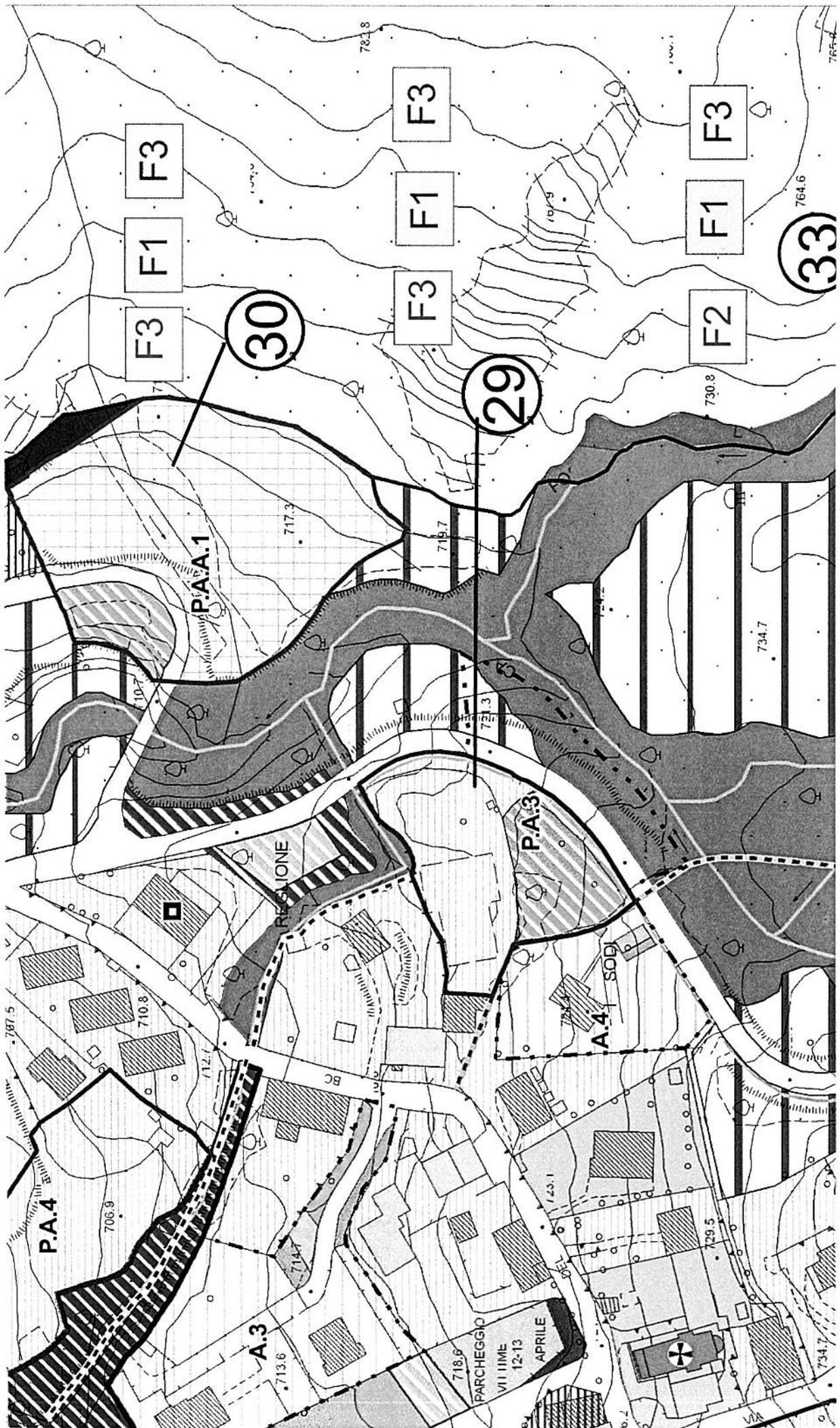
Gennaio 2009  
aggiornata Aprile 2010

**GEO ECO ENGINEERING**  
**Società di Ingegneria s.r.l.**

Via Andrea del Castagno, 8 - 50132 Firenze  
☎ 055/571393, 055/575954; fax.055/5522329  
✉ info@geoecoprogetti.com  
C.F. e P.IVA 05339350489

disegno elaborato con Arcview Gis 9.2 software ESRI Serial Number 43401193

<b>Fattibilità</b>			
<b>2</b> <i>Numero intervento</i>	<i>Aspetti geomorfologici</i>	<i>Aspetti idraulici</i>	<i>Aspetti sismici</i>
<i>Fattibilità senza particolari limitazioni</i>	F1	F1	F1
<i>Fattibilità con normali vincoli</i>	F2	F2	F2
<i>Fattibilità condizionata</i>	F3	F3	F3
<i>Fattibilità limitata</i>	F4	F4	F4





Regione Toscana

GEOscopio

### Regione Toscana - SITA: Cartoteca

Scala 1 : 2.000



INDICAZIONE DELLA CLASSE DI FATTIBILITA'

## 6. CONCLUSIONI

L'intervento in progetto interessa unicamente i sedimenti detritici derivanti dal disfacimento della Formazione arenacea del Monte Falterona. A seguito degli studi svolti nell'area in esame è possibile formulare le seguenti considerazioni.

- La capacità portante del terreno di fondazione è strettamente legata alle buone caratteristiche litotecniche dei termini detritici; ciò si traduce in discreti valori di portanza relazionati alle reali necessità di progetto.
- La situazione morfologica stabile ed il particolare assetto dei terreni interessati dal progetto offrono garanzia per l'integrità delle strutture degli edifici posti nelle vicinanze.

Alla luce delle osservazioni condotte e sulla base dei caratteri geomorfologici esaminati, l'intervento risulta fattibile. Infine, una corretta esecuzione delle opere non influenzerà in alcun modo le attuali condizioni di stabilità dell'area.

Firenze, 04 luglio 2014



The image shows a handwritten signature in black ink, which appears to be 'F. Barello'. Below the signature is a circular professional stamp. The stamp contains the following text: 'ORDINE DEI GEOLOGI DELLA TOSCANA' around the perimeter, 'DOTT. GEOL. FRANCESCO BARELLINI' in the center, and 'N° 601' at the bottom. There is a small star symbol at the very bottom of the stamp.



**IGETECMA s.n.c. Istituto Sperimentale di Geotecnica e Tecnologia dei Materiali**  
Laboratorio autorizzato con D.M. n. 54143 del 07/11/2005 ai sensi della Circolare 08/09/10 n. 7618/STC  
Esecuzione e certificazione prove geotecniche – settore A  
Laboratorio autorizzato con D.M. n. 162 del 19/04/2011 ai sensi dell'art. 20 della L. n. 1086/71  
Prove e controlli su strutture e materiali da costruzione – settore A

## Rapporto di Prova n°173/14/S

Montelupo Fiorentino 10/11/2014

**SETTORE:** Geofisica – Multichannel Acquisition of Surface Waves  
**COMMITTENTE:** LE VASCHE S.R.L.  
**RICHIEDENTE:** Geol. F. Barellini  
**CANTIERE:** Il Castagno D'Andrea, San Godenzo (FI)  
**RIFERIMENTO:** R.P.E. n°190/14

### **Indice:**

- 1 Premessa
- 2 MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves)
  - 2.1 Principi teorici
  - 2.2 Acquisizione ed elaborazione
- 3 Presentazione dei dati
- 4 Normativa sismica e calcolo del Vs30
- 5 Risultati dell'elaborazione
- 6 Caratteristiche della strumentazione

Il Direttore del Laboratorio  
Ing. F. Politi

Il Tecnico  
Geol. A. Farolfi

## **1 Premessa**

Su incarico di LE VASCHE S.R.L., su richiesta del Geol. F. Barellini, è stata eseguita una indagine *Multichannel Acquisition of Surface Waves* (MASW) finalizzata al calcolo del parametro Vs30, in località Il Castagno D'Andrea, San Godenzo (FI)

## **2 MASW (Multichannel Analysis of surface waves)**

### **2.1 Principi teorici**

La tecnica MASW si basa sulla registrazione e lo studio della curva di dispersione delle onde superficiali, il cui contributo predominante è caratterizzato dalle onde di Rayleigh che sono onde di superficie che si producono per riflessione di onde S (di taglio) alla superficie. Se il mezzo è omogeneo hanno velocità di fase pari al 92% di quella delle onde S che le hanno generate, altrimenti sono dispersive. I punti investiti da un'onda di Rayleigh si muovono descrivendo ellissi in modo retrogrado rispetto al moto dell'onda. L'ampiezza delle ellissi diminuisce con la distanza dalla superficie ovvero con la profondità. Partendo dall'assunzione di una variazione della velocità delle onde sismiche con la profondità (terreno stratificato orizzontalmente) il terreno, agendo da filtro, separa le varie componenti dell'onda di volume caratterizzate ciascuna da diversa velocità di propagazione (velocità di fase) e da diversa lunghezza d'onda. Tale comportamento delle onde si chiama dispersione e proprio sull'analisi della curva di dispersione delle onde di Rayleigh si basa la tecnica MASW per ottenere il profilo di velocità delle onde di taglio (Vs) con la profondità. Grazie a queste proprietà, una metodologia che utilizza le onde superficiali può fornire informazioni sulle variazioni delle proprietà elastiche dei materiali prossimi alla superficie al variare della profondità. La velocità delle onde S (Vs) è il fattore dominante che governa le caratteristiche della dispersione delle onde superficiali. Nella tecnica d'indagine MASW la profondità di investigazione è, in linea teorica, correlata alla lunghezza del profilo e inversamente correlata alla frequenza propria dei sensori usati, mentre la risoluzione verticale è direttamente correlata al numero di sensori utilizzati per registrare il campo d'onda sismico. Il limite principale del metodo è l'assunzione che siano minime le variazioni orizzontali dei parametri geofisici al di sotto dei sensori. Il maggior pregio è nella possibilità di ottenere buoni dati anche in condizioni in cui risulta difficile l'acquisizione diretta delle onde di taglio.

### **2.2 Acquisizione ed elaborazione**

L'acquisizione dei dati è stata effettuata con un allineamento di 24 geofoni verticali con spaziatura di 2 m, di cui 12 in direzione NordOvest-SudEst e 12 in direzione NordEst-SudOvest, per totali 46 m. Sono state utilizzate 8 registrazioni con offset (distanza fra il punto di scoppio ed il geofono più vicino) compreso tra 0 m e 40 m, eseguite lungo le due direzioni dello stendimento a L, con spaziatura di 0.5 m. Le energizzazioni sono state rimonstrate creando due

registrazioni con 48 canali ciascuna a spaziatura 0.5 m. Le energizzazioni, per ogni postazione, sono state ripetute e sommate fino ad ottenere un sismogramma con un buon rapporto segnale rumore. Sono stati acquisiti anche microtremori per eseguire l'analisi SPAC al fine di aumentare la profondità di indagine.

La fase di elaborazione consiste nell'ottenere la curva di dispersione relativa ad ogni registrazione, ovvero la trasformazione delle serie temporali nel dominio della frequenza  $F$  e del numero d'onda  $K$ . Sullo spettro Frequenza (Hz) - Velocità di Fase (m/s) vengono individuati i punti di massimo spettrale di energia che consentono di risalire alla curva di dispersione delle onde di Rayleigh.

La velocità delle onde  $S$  viene stimata su un modello di strati del terreno che viene implementato con un processo iterativo fino a trovare la combinazione finale di velocità delle onde di taglio e spessori degli strati, tale da minimizzare gli scarti fra la curva di dispersione calcolata sul modello e quella misurata sullo spettro della dispersione delle onde superficiali. Essendo questo tipo di elaborazione un procedimento inverso, esso risente di tutti i problemi e delle limitazioni dovute alla convergenza dei metodi iterativi ed alla non unicità delle soluzioni.

Materiale	V P m/sec	V SH m/sec	
		VP/VSH 1.9 - 3.5	VP/VSH 1.9 - 3.5
Detrito superficiale alterato	300 - 600	86 - 158	171 - 316
Ghiaia, pietrisco, sabbia asciutta	500 - 900	143 - 263	257 - 474
Sabbia bagnata	600 - 1800	171 - 316	514 - 947
Argilla	900 - 2700	257 - 474	771 - 1421
Acqua	1430 - 1680	-	-
Arenaria	1800 - 4000	514 - 947	1143 - 2105
Scisti argillosi	2500 - 4200	714 - 1316	1200 - 2211
Calcere	2000 - 6000	571 - 1053	1714 - 3158
Sale	4200 - 5200	1200 - 2211	1486 - 2737
Granito	4000 - 6000	1143 - 2105	1714 - 3158
Rocce metamorfiche	3000 - 7000	857 - 1579	2000 - 3684

Tabella I – Velocità dei principali materiali.

### 3 Presentazione dei dati

Nella presente relazione vengono forniti i seguenti elaborati:

- ubicazione dell'indagine
- profilo medio di velocità delle onde di taglio ( $V_s$ ) con la profondità

- profilo di velocità delle onde di taglio ( $V_s$ ) con la profondità per ciascuna registrazione eseguita
- curve di dispersione F-k per ciascuna registrazione eseguita
- registrazioni di campagna
- documentazione fotografica

#### 4 Normativa sismica e calcolo del parametro $V_{s30}$

L'Ordinanza P.C.M. n°3274/03 istituisce diverse categorie di profilo stratigrafico del suolo di fondazione ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto. Tali categorie vengono definite in base al calcolo del parametro  $V_{s30}$  che è dato da:

$$V_{s30} = 30 / \sum_{i=1,N} (h_i/V_i)$$

dove  $h_i$  e  $V_i$  indicano lo spessore (in metri) e la velocità delle onde di taglio SH (in m/sec.) dello strato  $i$ -esimo, per un totale di N strati presenti nei 30 m superiori.

Categorie di Suolo di Fondazione	$V_s$ 30 m/s	$N_{spt}$ - $C_u$
<b>A</b> Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di $V_{s30}$ superiori a 800m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m.	$V_{s30} > 800$	
<b>B</b> Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fine molto consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s30}$ compresi tra 360 m/sec e 800 m/sec (ovvero $N_{spt30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $c_u > 250$ kPa nei terreni a grana fine)	$360 < V_{s30} < 800$	$N_{spt} > 50$ $C_u > 250$ kPa
<b>C</b> Depositati di terreni a grana grossa mediamente addensati o di terreni a grana fina mediamente consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s30}$ compresi tra 180 m/sec e 360 m/sec (ovvero $15 < N_{spt} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < c_u < 250$ kPa nei terreni a grana fina)	$180 < V_{s30} < 360$	$15 < N_{spt} < 50$ $70 < C_u < 250$ kPa
<b>D</b> Depositati di terreni a grana grossa scarsamente addensati o a grana fina scarsamente consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s30}$ inferiori a 180 m/sec (ovvero $N_{spt} < 15$ nei terreni a grana grossa e $c_u < 70$ kPa nei terreni a grana fina)	$V_{s30} < 180$	$N_{spt} < 15$ $C_u < 70$ kPa
<b>E</b> Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m, posti sul substrato di riferimento con $V_s > 800$ m/sec.	$V_{s30} < 360$	
<b>S1</b> Depositati costituiti da $V_{s30}$ inferiori a 100m/s (ovvero $10 < c_u < 20$ kPa), che includono uno strato di almeno 8 m di terreni a grana fine di bassa consistenza, oppure che includono almeno 3 m di torba o di	$V_{s30} < 100$	$10 < C_u < 20$ kPa

argille altamente organiche		
<b>S2</b>		
Depositi di terreni suscettibili a liquefazione, di argille sensitive, o qualsiasi altra categoria di terreno non classificabile nei tipi precedenti.		

Tabella II – Categorie di suolo di fondazione

## 5 Risultati dell'elaborazione

Le curve di dispersione ricavate dalle registrazioni sono state elaborate contemporaneamente per ottenere la curva che descrive l'andamento della Velocità delle onde S con la profondità: questo procedimento è stato effettuato per minimizzare gli errori dovuti a possibili variazioni laterali di velocità lungo il profilo. Il valore di Vs30 calcolato per questo sito è 453 m/s. Per i contrasti di velocità ed i rapporti stratigrafici presenti la zona in esame rientra nella categoria B dei suoli di fondazione. Si ricorda che i calcoli sono stati effettuati da piano campagna e una eventuale asportazione o riporto dei materiali superficiali influirebbe sul valore del parametro VS30.

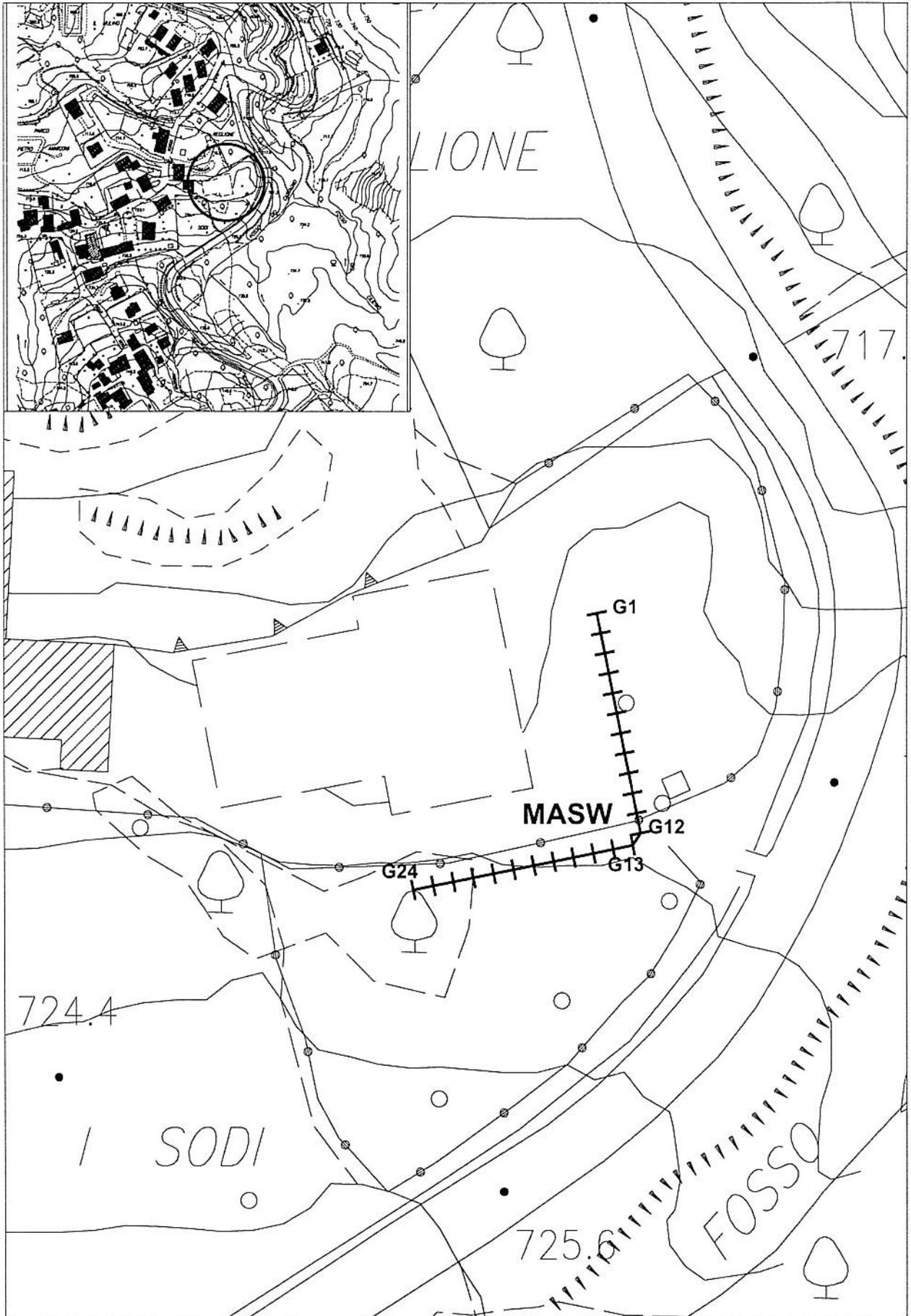
## 6 Caratteristiche della strumentazione

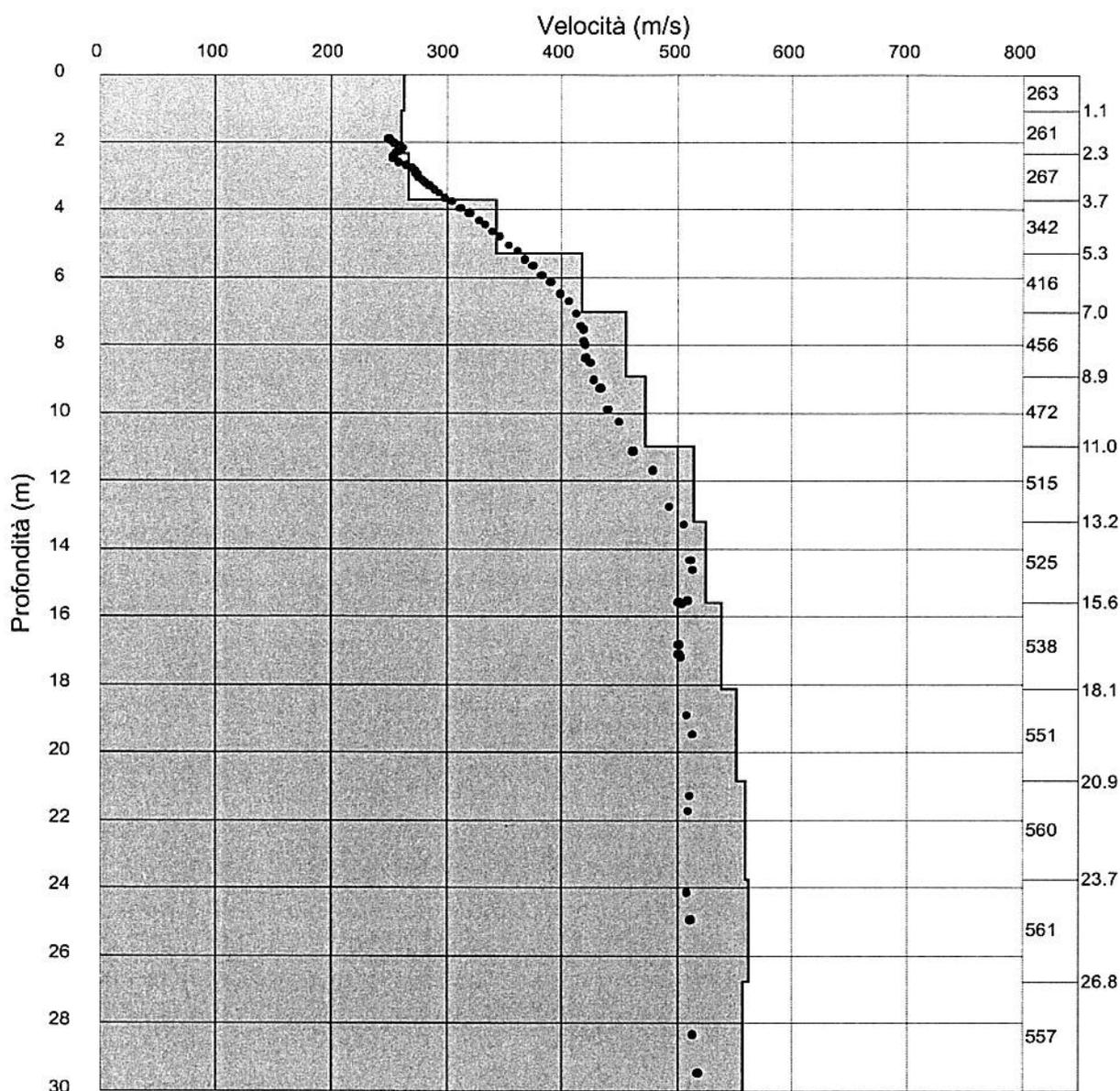
Il sistema di acquisizione usato nella presente campagna d'indagini è composto da un sistema modulare della Geometrics così configurato:

Sismografo GEODE 48 canali (2 moduli a 24 canali) con Controller Stratavisor NZC:

- risoluzione segnale A/D 24 bit;
- escursione dinamica 144 dB, 110 dB istantanea a 2 ms;
- passo di campionamento da 0.02 a 16 ms indipendente dal tempo d'acquisizione;
- fino a 64.000 campioni per traccia;
- distorsione 0.0005% a 2ms, 1.75 – 208 Hz;
- amplificazione del segnale da 0 a 36 dB;
- filtri anti-aliasing a 90 dB della frequenza di Nyquist;
- filtri digitali low-cut, high-cut, notch;
- precisione trigger in sommatoria 1/32 del passo di campionamento;
- pre-trigger fino a 4096 campioni, delay sino a 1.000 ms;
- salvataggio dati in formato SEG-2 su hard-disk incorporato;
- 24 geofoni verticali con frequenza propria di 4,5 Hz;
- sistema di starter (trigger) mediante accelerometro;
- energizzazione mediante mazza da 5 Kg, minibang calibro 8, grave da 30/60 kg.

Ubicazione delle indagini



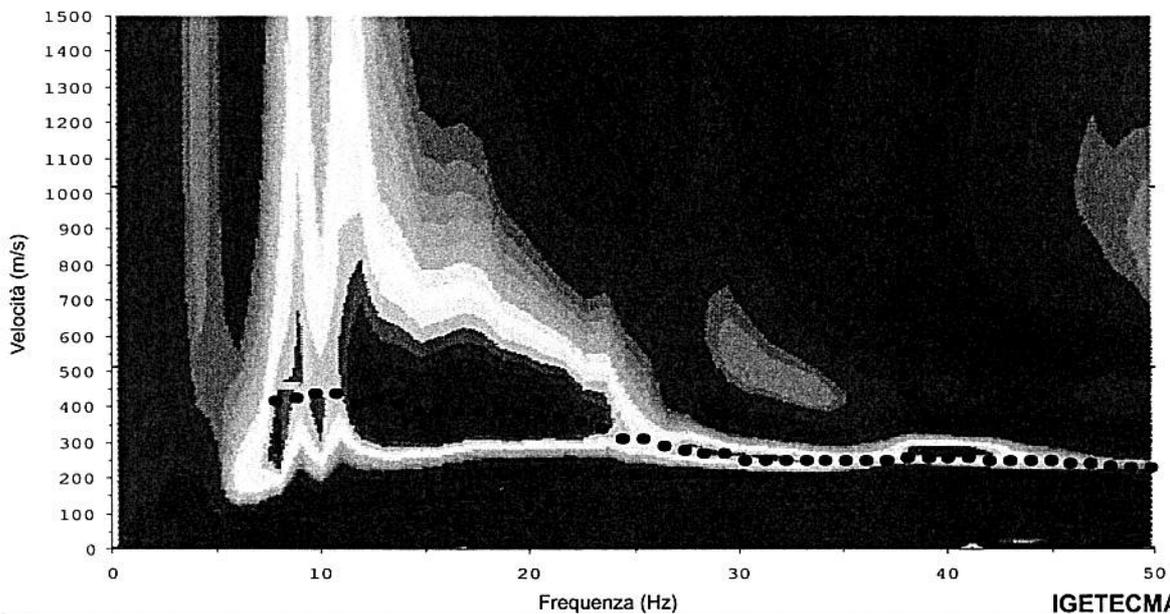
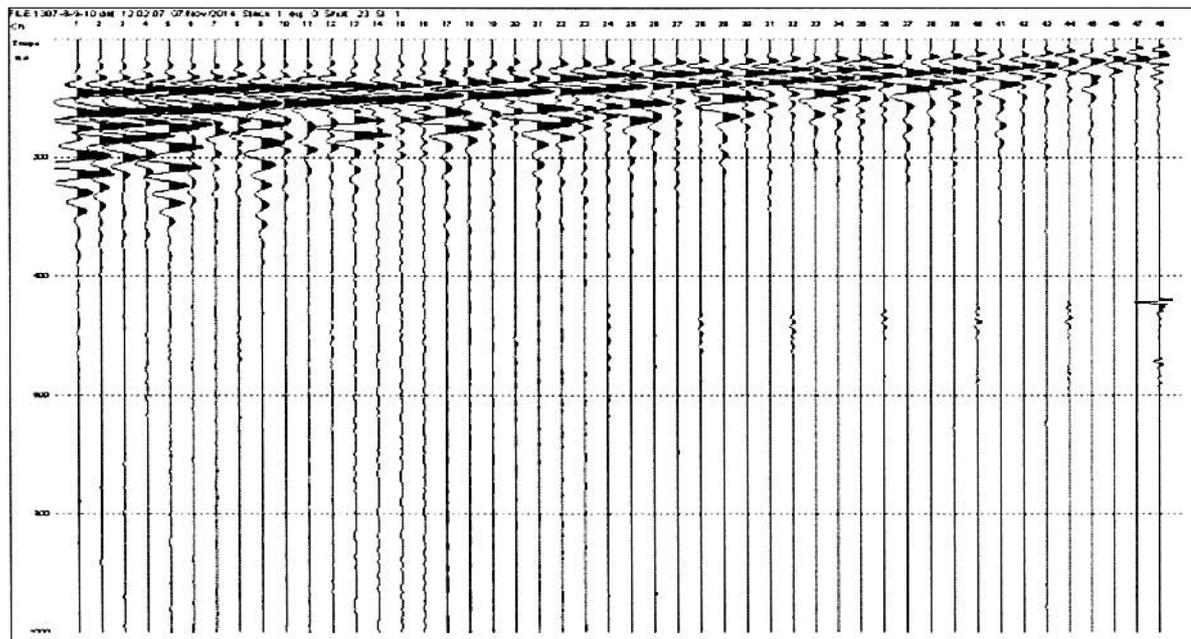
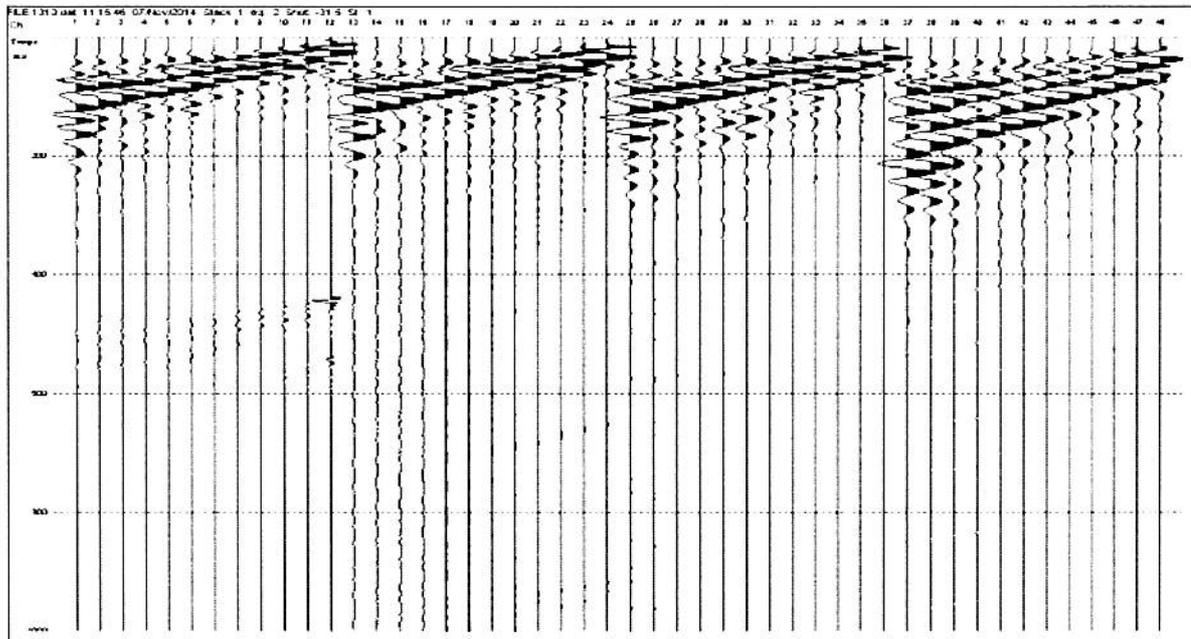


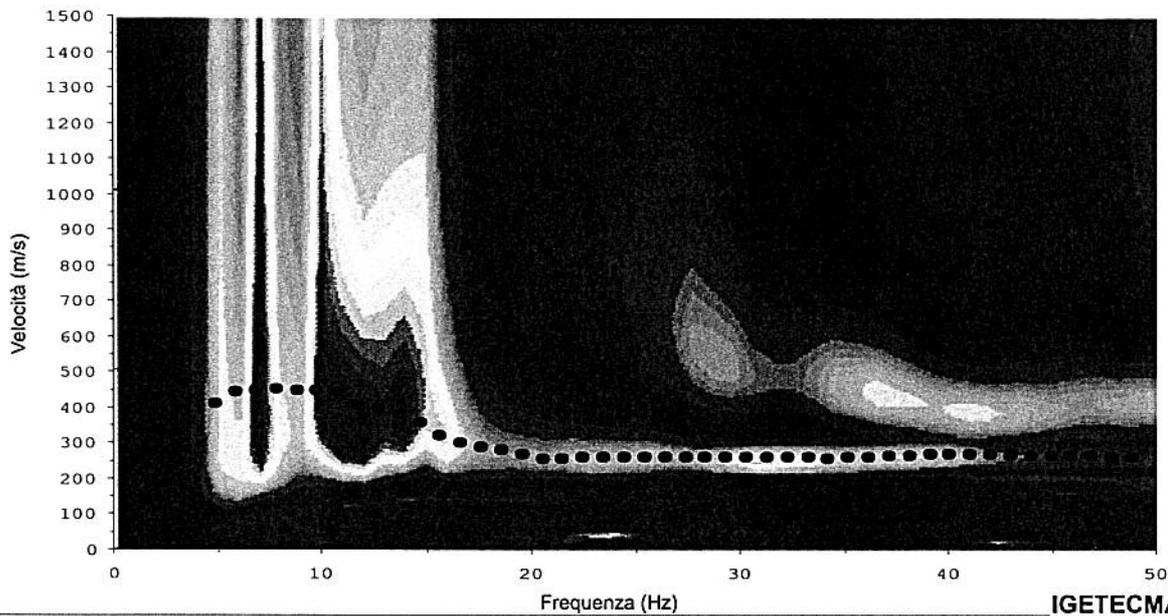
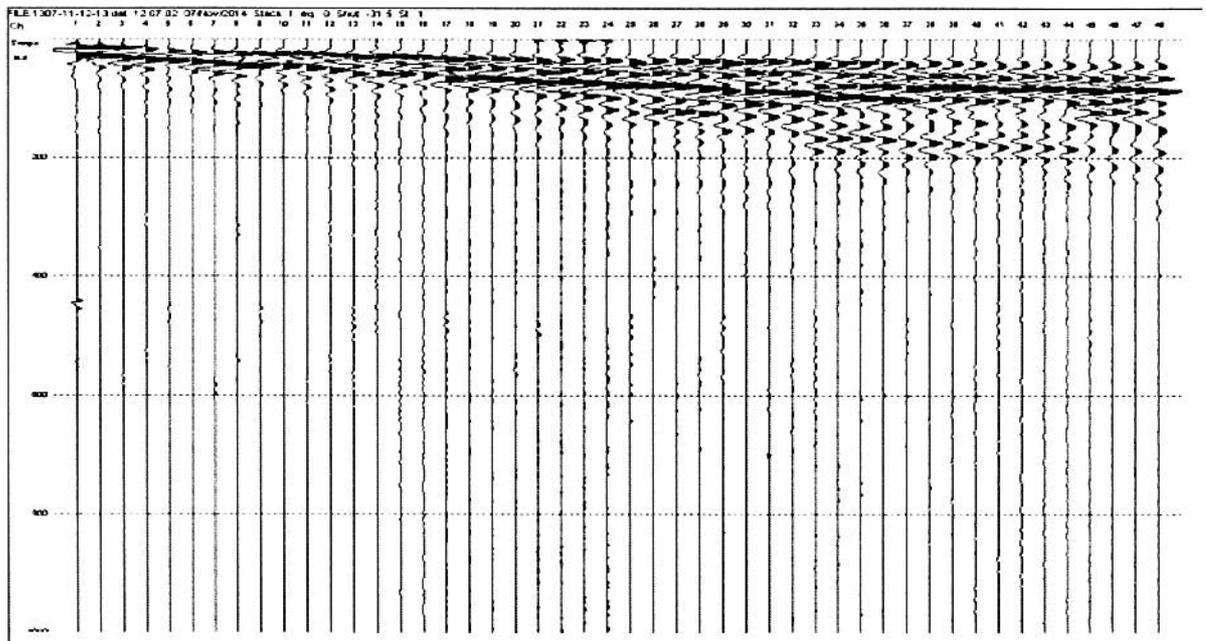
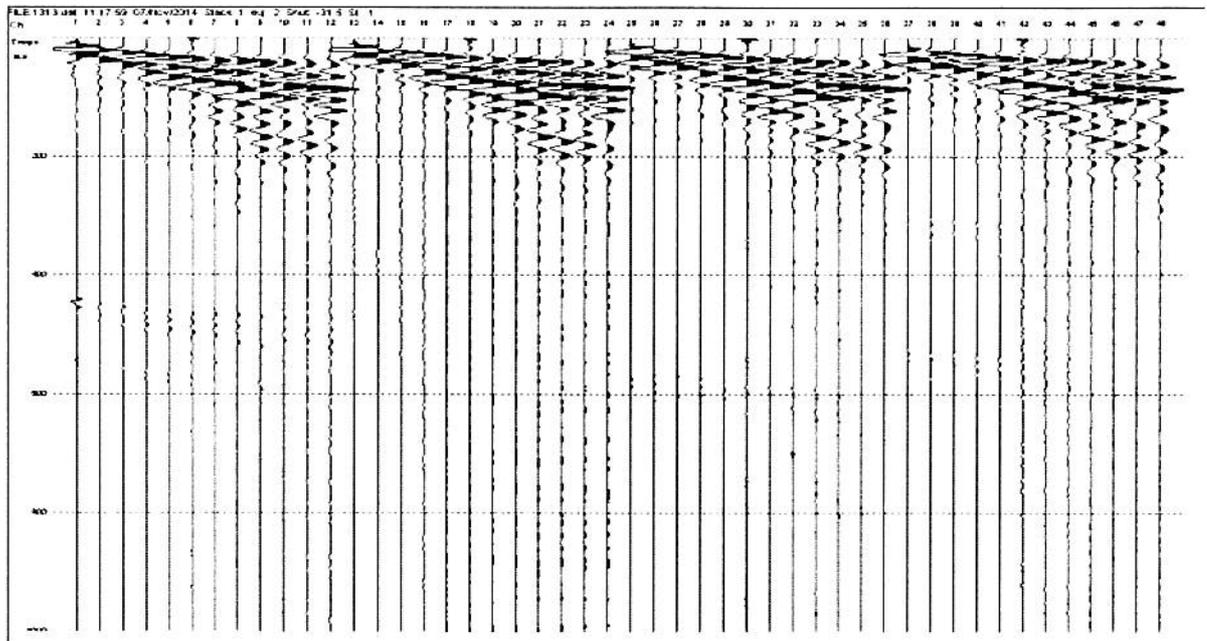
Vs 30 = 453 m/s

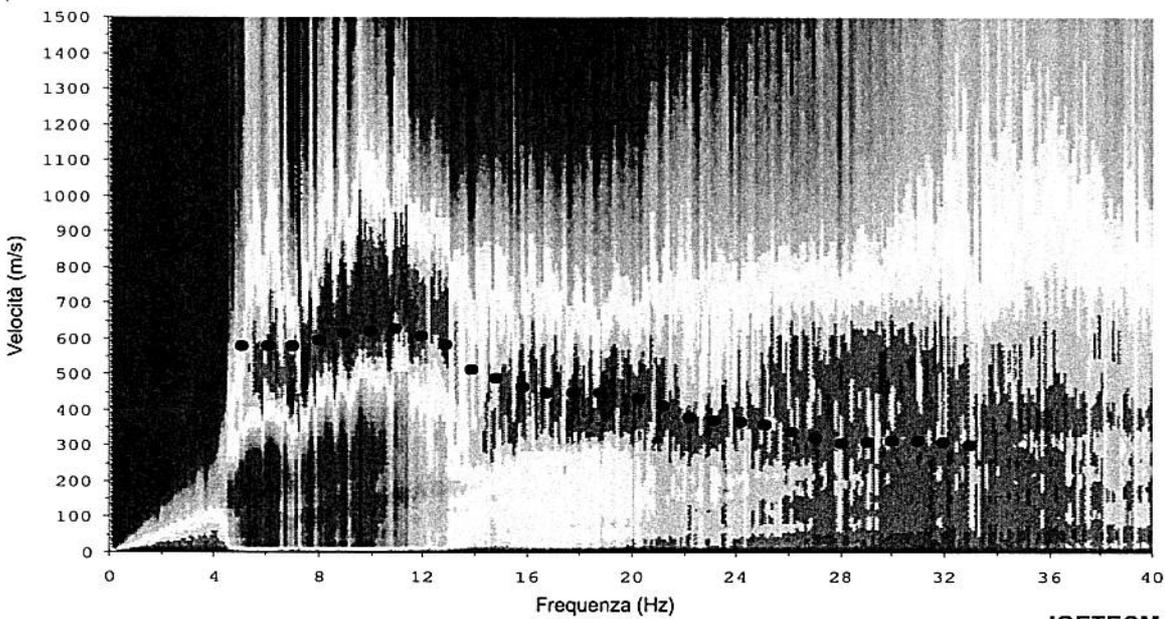
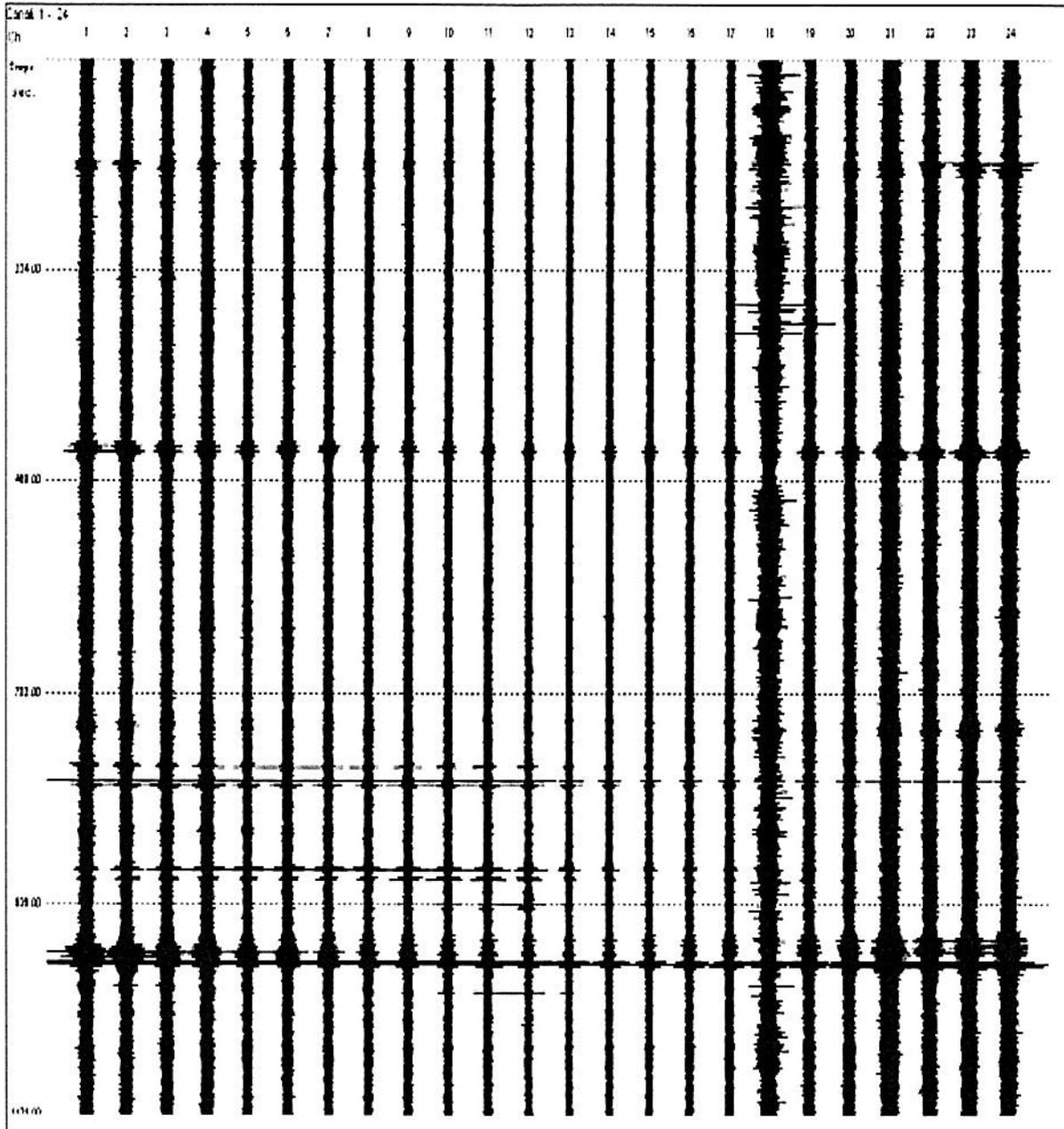
■ Vs

● Curva Dispersione media

Curva di dispersione 1 Masw attiva		Curva di dispersione 2 Masw attiva		Curva di dispersione 3 Masw passiva							
Velocità m/s	Frequenza Hz	Velocità m/s	Frequenza Hz	Velocità m/s	Frequenza Hz						
412	4.9	259	32.2	420	7.8	250	35.2	580	5.1	303	32.9
443	5.9	259	33.2	427	8.8	250	36.1	580	6.0		
449	6.8	258	34.2	440	9.8	250	37.1	580	7.0		
451	7.8	260	35.2	440	10.7	260	38.1	597	8.0		
450	8.8	262	36.1	410	11.7	260	39.1	614	9.0		
447	9.8	264	37.1	424	12.7	260	40.0	620	9.9		
444	10.7	266	38.1	410	13.7	260	41.0	629	10.9		
408	11.7	270	39.1	390	14.6	250	42.0	608	11.9		
398	12.7	269	40.0	390	15.6	250	43.0	582	12.9		
383	13.7	268	41.0	390	16.6	250	43.9	515	13.9		
358	14.6	267	42.0	390	17.6	250	44.9	489	14.8		
320	15.6	266	43.0	390	18.6	240	45.9	463	15.8		
300	16.6	265	43.9	390	19.5	240	46.9	450	16.8		
290	17.6	264	44.9	370	20.5	232	47.9	448	17.8		
280	18.6	264	45.9	370	21.5	230	48.8	448	18.7		
270	19.5	263	46.9	360	22.5	228	49.8	432	20.2		
256	20.5	263	47.9	340	23.4			412	21.2		
258	21.5	262	48.8	310	24.4			379	22.2		
260	22.5			310	25.4			373	23.1		
262	23.4			290	26.4			366	24.1		
259	24.4			280	27.3			358	25.1		
259	25.4			270	28.3			340	26.1		
259	26.4			270	29.3			322	27.0		
259	27.3			250	30.3			308	28.0		
259	28.3			250	31.2			311	29.0		
259	29.3			250	32.2			314	30.0		
259	30.3			250	33.2			315	30.9		
259	31.2			250	34.2			309	31.9		







Documentazione fotografica



## Parametri sismici

Tipo di elaborazione: Stabilità dei pendii  
Muro rigido: 0

### Sito in esame.

latitudine: 43,925838670275  
longitudine: 11,6201501150201  
Classe: 2  
Vita nominale: 50

### Siti di riferimento

Sito 1	ID: 19398	Lat: 43,9199	Lon: 11,6163	Distanza: 724,760
Sito 2	ID: 19399	Lat: 43,9210	Lon: 11,6857	Distanza: 5274,778
Sito 3	ID: 19177	Lat: 43,9710	Lon: 11,6842	Distanza: 7176,309
Sito 4	ID: 19176	Lat: 43,9699	Lon: 11,6148	Distanza: 4920,648

## Parametri sismici

Categoria sottosuolo: B  
Categoria topografica: T1  
Periodo di riferimento: 50anni  
Coefficiente cu: 1

### Operatività (SLO):

Probabilità di superamento: 81 %  
Tr: 30 [anni]  
ag: 0,068 g  
Fo: 2,421  
Tc\*: 0,260 [s]

### Salvaguardia della vita (SLV):

Probabilità di superamento: 10 %  
Tr: 475 [anni]  
ag: 0,209 g  
Fo: 2,372  
Tc\*: 0,292 [s]

### Danno (SLD):

Probabilità di superamento: 63 %  
Tr: 50 [anni]  
ag: 0,086 g  
Fo: 2,404  
Tc\*: 0,267 [s]

### Prevenzione dal collasso (SLC):

Probabilità di superamento: 5 %  
Tr: 975 [anni]  
ag: 0,263 g  
Fo: 2,401  
Tc\*: 0,298 [s]

## Coefficienti Sismici

### SLO:

Ss: 1,200  
Cc: 1,440  
St: 1,000  
Kh: 0,016  
Kv: 0,008  
Amax: 0,796  
Beta: 0,200

### SLV:

Ss: 1,200  
Cc: 1,410  
St: 1,000  
Kh: 0,070  
Kv: 0,035  
Amax: 2,460  
Beta: 0,280

### SLD:

Ss: 1,200  
Cc: 1,430  
St: 1,000  
Kh: 0,021  
Kv: 0,010  
Amax: 1,017  
Beta: 0,200

### SLC:

Ss: 1,150  
Cc: 1,400  
St: 1,000  
Kh: 0,085  
Kv: 0,042  
Amax: 2,966  
Beta: 0,280

Le coordinate espresse in questo file sono in ED50  
Geostru software - [www.geostru.com](http://www.geostru.com)

### Coordinate WGS84

latitudine: 43.924888  
longitudine: 11.619173

## VERIFICHE ALLO SLU DI TIPO GEOTECNICO (GEO)

### Fondazioni superficiali

Gli stati limite ultimi (SLU) per lo sviluppo di meccanismi di collasso, determinati dal raggiungimento della resistenza del terreno interagente con le fondazioni (GEO), riguardano il collasso per carico limite nei terreni di fondazione e per scorrimento sul piano di posa.

#### Approccio 1 - Combinazione 2 - (A2+M2+R2)

##### Carichi:

Permanenti strutturali ( $G_k$ ):	6175,00	[kN]
Variabili ( $Q_k$ ):	0,00	[kN]
Coeff. parziale azioni sfavorevoli ( $Y_Q$ ):	1,30	[-]
Accelerazione orizz. Max attesa ( $a_g$ ):	0,209	[ag]
Taglio sismico ( $T_k$ ):	1290,58	[kN]

##### Elementi di verifica e coefficienti riduttivi:

$N_k / Y_Q$	(YM)	$\phi$	$\text{tg}\phi$	$\text{tg}\phi / Y_m$	$c$	$c_u$
[kN]	[-]	[°]	[°]	[°]	[kN/m <sup>2</sup> ]	[kN/m <sup>2</sup> ]
6175,00	1,25	35,0	0,700	0,560	0,00	0,00

##### Collasso per scorrimento sul piano di posa:

Ipotesi a favore della sicurezza: si trascura la resistenza passiva  $P_d$  lungo la superficie laterale della fondazione.

$Y_r$	$R_d$	$R_d / T_k$
[-]	[kN]	[-]
1,10	3143,64	2,44

##### Collasso per carico limite:

Autore	$R_d$ [kN]	$R_d / N_k$
Terzaghi	2399021,56	388,51
Meyerhof	948841,01	153,66
Brinch Hansen	1310139,73	212,17
Vesic	759738,57	123,03
EC7	761916,96	123,39

$Y_r$	1,80	[-]
-------	------	-----

Legenda:  $N_k = G_k + Q_k$ ; YM = coefficiente parziale per i parametri geotecnica;  
 $\phi$  = angolo di attrito;  $c$  = coesione efficace;  $c_u$  = coesione non drenata;

$R_d$  = resistenza del sistema geotecnica;

Verifica soddisfatta per lo scorrimento se  $R_d / T_k > 1$  e per il carico limite  $R_d / N_k > 1$ .