



**PROVINCIA DI FERMO**

SERVIZIO GENIO CIVILE E PROTEZIONE CIVILE



**COMUNE DI AMANDOLA**

## CONVENZIONE DI AVVALIMENTO

### PROGETTAZIONE, L'APPALTO E L'ESECUZIONE DI INTERVENTI DI MITIGAZIONE DEL RISCHIO IDROGEOLOGICO

Piano degli Interventi di cui all'art. 1 dell'Ordinanza 141/2014

approvato con Decreto n. 2/CDM13 del 03/04/2014 del COMMISSARIO DELEGATO Maltempo Nov-Dic 2013

Piano OO.PP. 2014

**ID 40/2**

### **CONSOLIDAMENTO MOVIMENTO FRANOSO PER LA MESSA IN SICUREZZA DI VIA GIBERTI PROGETTO ESECUTIVO**

IMPORTO COMPLESSIVO DEL PROGETTO € 240.000,00

ELABORATO

N. ELAB.

## **RELAZIONE GEOLOGICA E PROVE GEOTECNICHE**

**3**

PROGETTISTI

DATA

*Dicembre 2014*

Ing. Marco Trovarelli  
Geom. Simone Albertini  
Geom. Andrea Ciccolini



IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO  
**IL DIRIGENTE Ing. Stefano BABINI**

# ***RELAZIONE GEOLOGICA***

## **COMUNE DI AMANDOLA PROVINCIA DI FERMO**

*Località: Via Giberti*

***Oggetto: CONSOLIDAMENTO DEL MOVIMENTO FRANOSO  
PER LA MESSA IN SICUREZZA DI VIA GIBERTI***

*Data: Novembre 2014*

*Dott. Geol. Mauro Filantropi*  
*Ordine dei Geologi delle Marche n° 825*



*Firma* \_\_\_\_\_



## RELAZIONE

La presente relazione geologica, su richiesta del Genio Civile della Provincia di Fermo, è stata redatta a corredo del progetto per il “Consolidamento del movimento franoso per la messa in sicurezza di Via Giberti”, nel Comune di Amandola, distinta al catasto Foglio n°326 sezione IV. Tale documento è in stretta ottemperanza con quanto previsto dal D.M. 14.01.2008 “Nuove norme tecniche per le costruzioni”, che ricomprende il D.M. 14.09.2005 e l’Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri del 20 marzo 2003 recante “Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica”.

Essa hanno lo scopo di fornire al progettista, limitatamente agli aspetti geologici e geotecnici, dati qualitativi e quantitativi occorrenti per il progetto ed il controllo dell'opera in rapporto al terreno.

Nell’area in oggetto sono state eseguite una serie di indagini:

- un sondaggio geognostico a carotaggio continuo, all’intero del quale è stata eseguita una prova SPT (Standard Penetration Test);
- due prove penetrometriche di tipo:
  - DPSH (Dinamic Penetration Super Heavy),
  - CPT (Cone Penetration Test),
- uno stendimento sismico di tipo MASW (Multichannel Analysis of Surfaces Waves);
- una prova HVRS (Horizontal Vertical Spectral Ratio).

Tali prove sono state utilizzate al fine di ricostruire la situazione stratigrafica del sito in oggetto, nonché per definire le caratteristiche fisico-meccaniche dei terreni.

## **1) Caratteristiche topografiche, geomorfologiche e stabilità dell'area**

Il sito in oggetto ricade nella parte alta di un versante che ha esposizione Nord Ovest, in stretta relazione con il crinale del Colle Castel Agello a quote medie s.l.m. di circa 510 m.

La pendenza dell'area varia a seconda della situazione morfologica: lungo il crinale (Via Giberti) risulta pianeggiante, con pendenze massime dell'ordine del 3%-4%, mentre nell'intorno risulta superiore al 30%, fino a diventare strapiombante in direzione Sud-Sud Est.

La topografia del crinale ha subito negli ultimi anni notevoli trasformazioni, dovuti principalmente alla costruzione di vari annessi facenti parte del complesso ospedaliero Vittorio Emanuele II, pertanto non è possibile fare una ricostruzione morfologica attendibile; l'area in oggetto ricade su un gradino di natura antropica, delimitato da un vecchio muro di cinta, facente parte delle mura storiche del Comune di Amandola, perimetrali al Colle Castel Agello.

Gli eventi meteorologici che si sono verificati nel mese di dicembre 2013, hanno provocato il crollo di una porzione del suddetto muro di cinta, a ridosso di un vecchio fabbricato. Tale edificio, costruito in mattoni e pietre risulta avere delle lesioni, in particolare sul lato Nord-Ovest, precedenti al crollo del muro.

Dal punto di vista geomorfologico è stato evidenziato un soliflusso generalizzato, perimetrale e sottostante il muro di cinta e parte della scarpata sottostante Via Giberti (Tavola 5).

Il versante, in direzione Nord-Ovest getta su una vallecchia all'interno della quale scorre incassato il Fosso Callugo, ad una distanza di circa 500 metri. Dall'esame del PAI (Piano di Assetto Idrogeologico) non risulta alcun movimento franoso nell'area in oggetto, tuttavia dalla visione della carta geologica e da quella geomorfologica si evidenzia la presenza di varie forme di movimento gravitativo dei corpi litologici di superficie. Infatti in direzione Ovest, sotto Via Giberti, è presente una frana di tipo colata, che interessa la vallecchia e che ha scorrimento in direzione del Fosso sottostante. (Tavola 2). Dai rilievi fatti nell'area, subito dopo il movimento che ha interessato parte delle mura di cinta, è stata evidenziata una linea di fessurazione per trazione a circa 2 metri a monte del muro che corre parallelamente allo stesso, in direzione NE-SW (Vedi documentazione

fotografica allegata).

## **2) Condizioni geologiche ed idrogeologiche**

Nell'area oggetto di intervento sono rinvenibili in superficie terreni prevalentemente limo sabbiosi, con trovanti in laterizio e ciottoli calcarei eterogenei, in quanto trattasi di terreno di riporto, che molto probabilmente è stato utilizzato per il riempimento del muro di cinta in epoche passate e pertanto gli spessori possono essere molto variabili, anche a brevi distanze. Lo spessore della copertura, nell'area indagata, raggiunge la profondità di circa 5 metri dal piano di campagna.

Il substrato è costituito dalla Formazione della Laga (LAG3d) - (Messiniano p.p.) composta in prevalenza da arenarie distribuite in strati molto spessi, poco cementate, con intercalazioni pelitiche, inizialmente sottili, facenti parte del Membro post-evaporitico. Dal punto di vista strutturale gli strati hanno una inclinazione con pendenze medie di 50° e direzione NW-SE.

A riguardo della situazione idrogeologica, l'area non è direttamente attraversata da alcuna via di scorrimento preferenziale delle acque di superficie. Infatti, le principali vie di scorrimento sono rappresentate dal Fosso di Callugo, che scorre in direzione E-W circa, ad una distanza minima di 500 metri. Per quanto attiene le acque sotterranee, durante tutte le indagini (svolte), non è stata riscontrata la presenza di falda idrica.

## **3) Caratterizzazione geotecnica dei terreni di fondazione**

Per la ricostruzione stratigrafica del terreno sono state eseguiti un sondaggio a carotaggio continuo correlato con i valori ricavati da due prove penetrometriche di tipo CPT e DPSH. La prima prova penetrometrica è stata eseguita a circa 2 metri a monte del punto di sondaggio, mentre la seconda è stata eseguita nella parte terminale della nicchia di frana, ma comunque fuori dalla linea di scorrimento. Durante l'esecuzione del sondaggio è stata eseguita una prova SPT (Standard Penetration Test) alla profondità di 3 metri circa dal piano di campagna, al fine di caratterizzare meglio i terreni superficiali. In questo modo si è cercato di definire le caratteristiche geotecniche dei terreni e delle rocce presenti in sito.

In ultimo, per la caratterizzazione sismica dei terreni e delle rocce è stata eseguita una prova sismica di tipo MASW, attraverso lo stendimento di una serie di geofoni a 24 canali e di una prova tramite Tromino sismico di tipo HVRS (Tavola 6).

Tutti i risultati ottenuti hanno messo in evidenza, nell'area investigata, la presenza di **5 litotipi** principali, evidenziati nella sezione geologica (Tavola 7) e rappresentati da:

**Terreni di copertura (Coltre):** costituiti da limi sabbiosi con trovanti arenacei e calcarei eterogenei, di spessore variabile, ma comunque superiore ai 2 metri e rinvenibile solo nella porzione terminale della nicchia di frana, con le seguenti caratteristiche fisico meccaniche medie:

$\gamma$	=	Peso di Volume	=	2,2 t/m <sup>3</sup> ;
<b>Cu</b>	=	Coesione non drenata	=	2.4 Kg/cm <sup>2</sup> ;
$\nu$	=	Modulo di Poisson	=	0.31;
$\varphi$	=	Angolo di attrito	=	25°;

**a – Limi sabbiosi (Terreno di riporto):** si tratta di un terreno parzialmente sciolto costituito da limi sabbiosi marrone scuro, plastici con trovanti eterogenei, rappresentati da ciottoli calcarei arrotondati, laterizi e frammenti di arenaria, con spessore di circa 5,5 metri. Le caratteristiche fisico-meccaniche (medie) di tale litologia sono state le seguenti:

$\gamma$	=	Peso di Volume	=	2,0 t/m <sup>3</sup> ;
<b>Cu</b>	=	Coesione non drenata	=	1.45 Kg/cm <sup>2</sup> ;
<b>Dr</b>	=	Densità relativa	=	40%;
$\varphi$	=	Angolo di attrito	=	20°;
<b>Ed</b>	=	Modulo Edometrico	=	59 Kg/cm <sup>2</sup> ;

**b – Sabbie limose (Substrato alterato):** si tratta di un terreno molto compatto, le cui caratteristiche fisico meccaniche aumentano con la profondità. E' costituito da strati di limi sabbiosi di colore nocciola con calcinelli, intercalati con livelli marnosi compatti, di colore grigio scuro. All'interno si osservano livelli arenitici cementati con spessori massimo di 5 cm. Lo spessore di tale

litotipo corrisponde a circa 8 metri e risulta tuttavia di facile perforazione. Le caratteristiche fisico meccaniche medie sono le seguenti:

$\gamma$	=	Peso di Volume	=	2,2 t/m <sup>3</sup> ;
<b>Cu</b>	=	Coesione non drenata	=	3,75 Kg/cm <sup>2</sup> ;
<b>Dr</b>	=	Densità relativa	=	67%;
$\varphi$	=	Angolo di attrito	=	26°;
<b>Ed</b>	=	Modulo Edometrico	=	113 Kg/cm <sup>2</sup> ;

**c – marne argillose (Substrato poco alterato):** si tratta di terreni costituiti da marne argillose di colore grigio azzurro con intercalazioni centimetriche di sabbie limose. Il litotipo risulta molto consistente, ha uno spessore di circa 2,3 metri e le sue caratteristiche fisico meccaniche medie risultano simili al precedente **litotipo c)**:

$\gamma$	=	Peso di Volume	=	2,2 t/m <sup>3</sup> ;
<b>Cu</b>	=	Coesione non drenata	=	3,70 Kg/cm <sup>2</sup> ;
<b>Dr</b>	=	Densità relativa	=	70%;
$\varphi$	=	Angolo di attrito	=	28°;
<b>Ed</b>	=	Modulo Edometrico	=	136 Kg/cm <sup>2</sup> ;

**d – Marne calcaree (Substrato integro):** si tratta di rocce a composizione marnoso calcarea e calcare marnoso, di colore grigio scuro alternate a livelli arenacei di colore marrone chiaro con le seguenti caratteristiche fisico meccaniche medie:

$\gamma$	=	Peso di Volume	=	2,2 t/m <sup>3</sup> ;
$\nu$	=	Modulo di Poisson	=	0.30;
<b>Dr</b>	=	Densità relativa	=	70%;
$\varphi$	=	Angolo di attrito	=	30°;
<b>Ed</b>	=	Modulo Edometrico	=	240 Kg/cm <sup>2</sup> ;

#### 4) Categoria di sottosuolo e condizioni topografiche

In relazione a quanto disposto dal D.M. 14/01/2008 ed in riferimento a quanto definito al punto 3.2.2 della normativa, il sottosuolo di fondazione può essere ascritto alla “Categoria **B** – “...Rocce teneri e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina 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/s e 800 m/s.”. In base al D.M. 14/01/2008, la categoria topografica del sito oggetto di intervento è **T4** *Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base con inclinazione media  $i > 30^\circ$* ), cui corrisponde un valore del coefficiente topografico  $S_T$  pari a **1,4**.

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, si rende necessario fornire al progettista il valore della risposta sismica locale, preso come valore medio rispetto ai dati forniti dalle prove sismiche, i cui valori sono riportati nelle tabelle di seguito.

MASW	H	HRSV ( $V_{s30}$ )	H
276 m/sec	3,8 m	105 m/sec	0,5 m
332 m/sec	5,2 m	210 m/sec	2,0 m
682 m/sec	21 m	300 m/sec	7,0 m
		330 m/sec	10,50 m
		572 m/sec	50,50 m

Dall'interpretazione dei dati riportati in tabella, nonché dalla relazione sismica allegata alla presente relazione, si evince che i valori delle velocità delle onde di taglio provenienti dalla prova sismica di tipo MASW (attiva), comparati con i valori ricavati dalla prova di tipo HVSR (passiva), sono in linea tra di loro e pertanto il valore medio della Velocità delle onde sismiche di tipo  $V_{s30}$  è di:

$$\text{litotipo d} = V_{s30} = 453 \text{ m/sec.}$$



## 5) Periodo di riferimento per l'azione sismica

Le considerazioni che seguono sono basate su parametri caratteristici del tipo di costruzione in progetto, per il quale si presuppone un consolidamento del versante in Via Giberti, attraverso la creazione di una palificata.

In base alla classificazione contenuta nel D.M. 14.01.2008, l'opera può essere ascritta al **Tipo di costruzione 3** - opere ordinarie ed alla **Classe d'Uso III**, che prevede una Vita Nominale **VN > 100 anni**; ovvero, la struttura, purché soggetta a manutenzione ordinaria, deve conservare la propria funzionalità per tale periodo minimo.

Il periodo di riferimento per l'azione sismica **V<sub>r</sub>**, valutato per ciascun tipo di opera, si ricava moltiplicando la Vita Nominale per il **Coefficiente d'Uso C<sub>U</sub>**:

$$V_r = V_N * C_U = 100 * 1,5 > \mathbf{150 \text{ anni}}$$

**Tabella C8.1 Periodo di riferimento dell'azione sismica  $V_R = V_N C_U$  (anni)**

		Classe d'uso →			
		I	II	III	IV
		Coeff. C <sub>U</sub> →			
		0,70	1,00	1,50	2,00
TIPI DI COSTRUZIONE	V <sub>N</sub>	V <sub>R</sub>			
Opere provvisorie – Opere provvisionali - Strutture in fase costruttiva	10	35	35	35	35
Opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali e dighe di dimensioni contenute o di importanza normale	50	35	50	75	100
Grandi opere, ponti, opere infrastrutturali e dighe di grandi dimensioni o di importanza strategica	100	70	100	<b>(150)</b>	200

## 6) Sismicità dell'area

Il territorio comunale di Amandola (FM) è classificato in “Zona sismica 2” in base all'O.P.C.M n° 3274 del 20/03/2003. Con l'entrata in vigore del D.M. 14 gennaio 2008, la stima della pericolosità sismica locale viene definita mediante un approccio “**sito dipendente**” e non più tramite un criterio “**zona dipendente**”, determinato sulla base di un reticolo di riferimento che ricopre l'intero territorio nazionale, ai cui nodi corrisponde una accelerazione sismica massima attesa.

Alla scala della singola opera la risposta sismica locale consente di definire le modifiche che un

segnale sismico subisce (a causa delle caratteristiche topografiche e stratigrafiche dei depositi di terreno e/o degli ammassi rocciosi e dalle proprietà fisiche e meccaniche dei materiali che li costituiscono) rispetto a quello di un sito di riferimento rigido (superficie topografica orizzontale T3, sottosuolo di categoria B).

Il moto sismico alla superficie di un sito è definito mediante l'accelerazione massima (a.max) attesa in superficie ed una forma spettrale ancorata ad essa. A partire dalla pericolosità sismica di base del sito in costruzione, vengono definite le azioni sismiche di progetto tramite un calcolo eseguito direttamente per il sito in esame, contraddistinto dalle specifiche coordinate geografiche (esprese in ED50) e dalla categoria di sottosuolo. In particolare, la pericolosità sismica di base è descritta dalla probabilità, che in un fissato lasso di tempo (periodo di riferimento VR espresso in anni), si verifichi un evento sismico di entità almeno pari ad un valore prefissato; la suddetta probabilità viene denominata “probabilità di eccedenza o di superamento nel periodo di riferimento (PVR)”.

Per il sito in esame si ottengono i seguenti parametri sismici, necessari per la definizione delle forme spettrali relative ad ogni probabilità di superamento nel periodo di riferimento PVR (Geostru software).

#### **Parametri sismici**

Tipo di elaborazione: opere di sostegno

#### **Sito in esame.**

latitudine: 42,983347 [°]

longitudine: 13,364163 [°]

Classe d'uso: III. Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe d'uso IV. Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso.

Vita nominale: 100 [anni]

Tipo di interpolazione: Media ponderata

#### **Siti di riferimento**

	<b>ID</b>	<b>Latitudine (°)</b>	<b>Longitudine(°)</b>	<b>Distanza (m)</b>
<b>Sito 1</b>	23641	42,984870	13,353330	897,4
<b>Sito 2</b>	23642	42,984940	13,421710	4684,4
<b>Sito 3</b>	23864	43,934930	13,421820	7141,3
<b>Sito 4</b>	23863	43,934870	13,353470	5460,1

### **Parametri sismici**

Categoria sottosuolo: B

Categoria topografica: T3

Periodo di riferimento: 150 anni

Coefficiente cu: 1,5

	<b>Prob. Superamento [%]</b>	<b>Tr [anni]</b>	<b>ag [g]</b>	<b>Fo [-]</b>	<b>Tc* [s]</b>
<b>Operatività (SLO)</b>	81	90	0,096	2,472	0,311
<b>Danno (SLD)</b>	63	151	0,118	2,468	0,322
<b>Salvaguardia della vita (SLV)</b>	10	1424	0,267	2,508	0,340
<b>Prevenzione dal collasso (SLC)</b>	5	2475	0,321	2,563	0,367

### **Coefficienti Sismici**

	<b>Ss [-]</b>	<b>Cc [-]</b>	<b>St [-]</b>	<b>Kh [-]</b>	<b>Kv [-]</b>	<b>Amax [m/s²]</b>	<b>Beta [-]</b>
SLO	1,200	1,390	1,400	0,029	0,015	1,582	0,180
SLD	1,200	1,380	1,400	0,048	0,024	1,950	0,240
SLV	1,130	1,350	1,400	0,131	0,066	4,150	0,310
SLC	1,070	1,340	1,400	0,149	0,075	4,714	0,310

Le coordinate espresse in questo file sono in ED50

## 7) Conclusioni e prescrizioni

Sulla base della relazione geologica, vengono di seguito riportate alcune prescrizioni, indifferentemente dal tipo di opera che verrà realizzata. In fase di esecuzione del consolidamento dovranno essere rispettate alcune regole generali:

- Prima di qualsiasi intervento di stabilizzazione e consolidamento della frana dovranno essere messi in sicurezza tutte le strutture ed infrastrutture (il Vecchio edificio e la parte rimanente del muro di cinta), che si trovano in condizioni di precarietà, al fine di evitare che le vibrazioni indotte dai mezzi meccanici in opera possono provocare il crollo delle stesse;
- Parte dell'area risulta instabile e quindi dovranno essere prese delle precauzioni al fine di agevolare il lavori di messa in sicurezza dell'area;
- Durante l'esecuzione dei lavori di consolidamento del versante in Via Giberti, dovranno essere eseguite opere di regimazione delle acque meteoriche di superficie, al fine di evitare forme di erosione che possono danneggiare le opere;
- A tergo delle opere di consolidamento dovrà essere realizzato un sistema di drenaggio delle acque meteoriche di infiltrazione, di dimensioni e materiali opportuni: sono esclusi l'inserimento di materiali rigonfianti quali argille;
- Nel caso in cui il progetto di consolidamento prevede la realizzazione di fondazioni, sia provvisorie che definitive, è fatto l'obbligo di inserire tali opere almeno ad una profondità non inferiore a 1,5 metri dall'attuale piano di campagna, al fine di prevenire i danni indotti dal gelo, dal rigonfiamento o essiccamento dei terreni di copertura, i quali devono essere costituiti da materiale arido e asciutto. E' sconsigliato l'uso di altri materiali rigonfianti quali limi e argille;

Amandola, Novembre 2014

IL GEOLOGO

Dott. Geol. Mauro Filantropi



## Allegati

TAVOLA 1 – Corografia dell'area (scala 1: 10000);

TAVOLA 2 – Carta geologica (scala 1: 10000);

TAVOLA 3 – Carta geomorfologica (scala 1: 10000);

TAVOLA 4 – Piano di assetto idrogeologico (scala 1:10000);

TAVOLA 5 – Rilievo geomorfologico (scala 1:500);

TAVOLA 6 – Planimetria dell'area (scala 1:500);

TAVOLA 7 – Sezione A – A' (scala 1:250);

Statigrafia sondaggio S\_1;

Documentazione fotografica del Sondaggio S\_1;

Prova SPT;

Prove penetrometriche (CPT\_1 – DPSH\_1);

Indagine geofisica (MASW – HRSV);

Documentazione fotografica dell'area in frana e delle indagini eseguite.





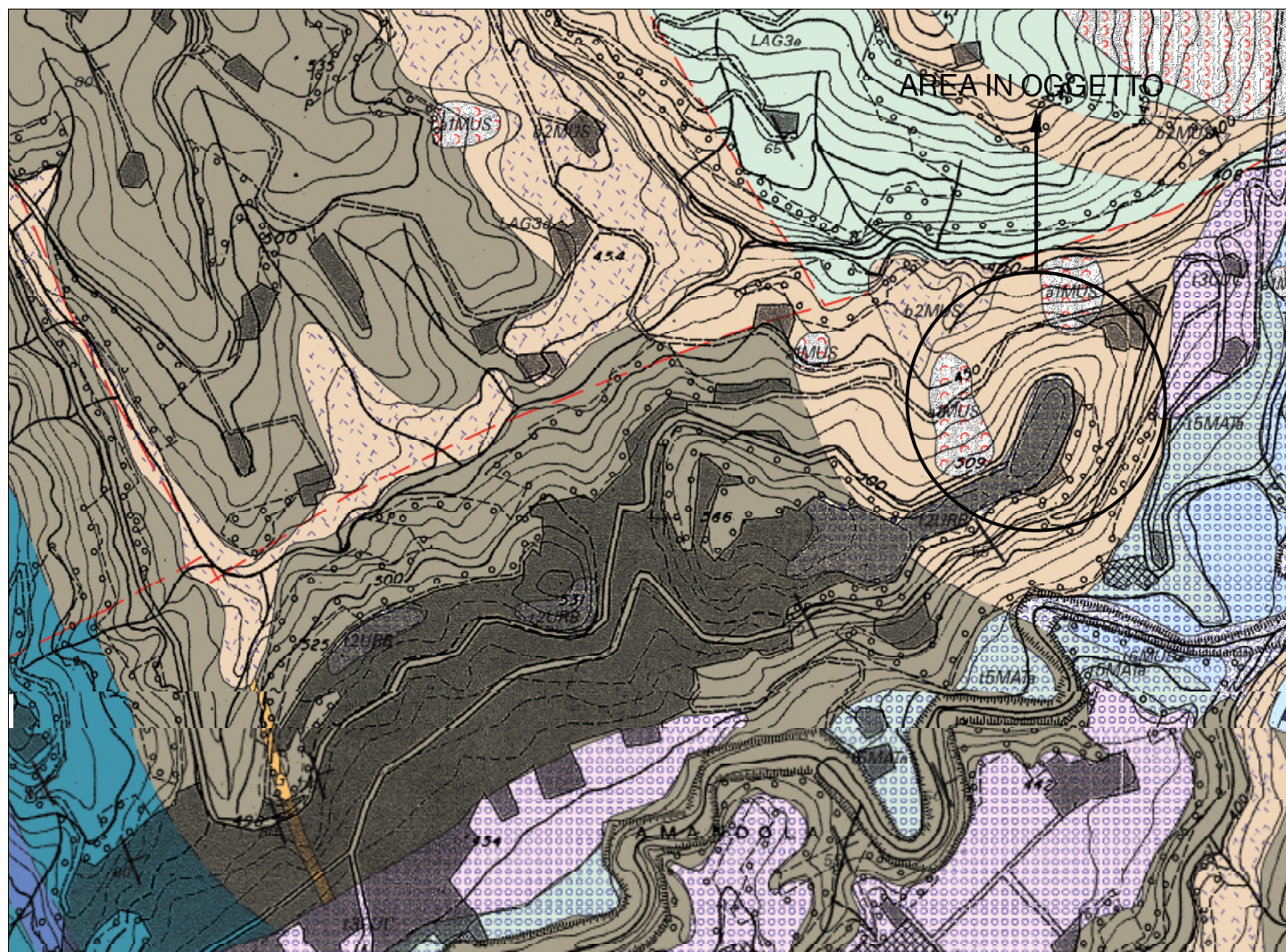
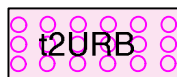


TAVOLA 2 - CARTA GEOLOGICA - Scala 1:10000

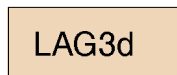
## LEGENDA



FRANE - Olocene - Frane in evoluzione di tipo colata costituite da materiali argillosi -marnosi



ALLUVIONI TERRAZZATE - Pleistocene medio - inferiore - Ghiaie poligeniche ed eterometriche con al tetto relitti di suoli



FORMAZIONE DELLA LAGA - Messiniano p.p. - MEMBRO POST EVAPORITICO: Litofacies arenacea pelitica costituita da strati spessi di arenarie poco cementate con intercalazioni pelitiche



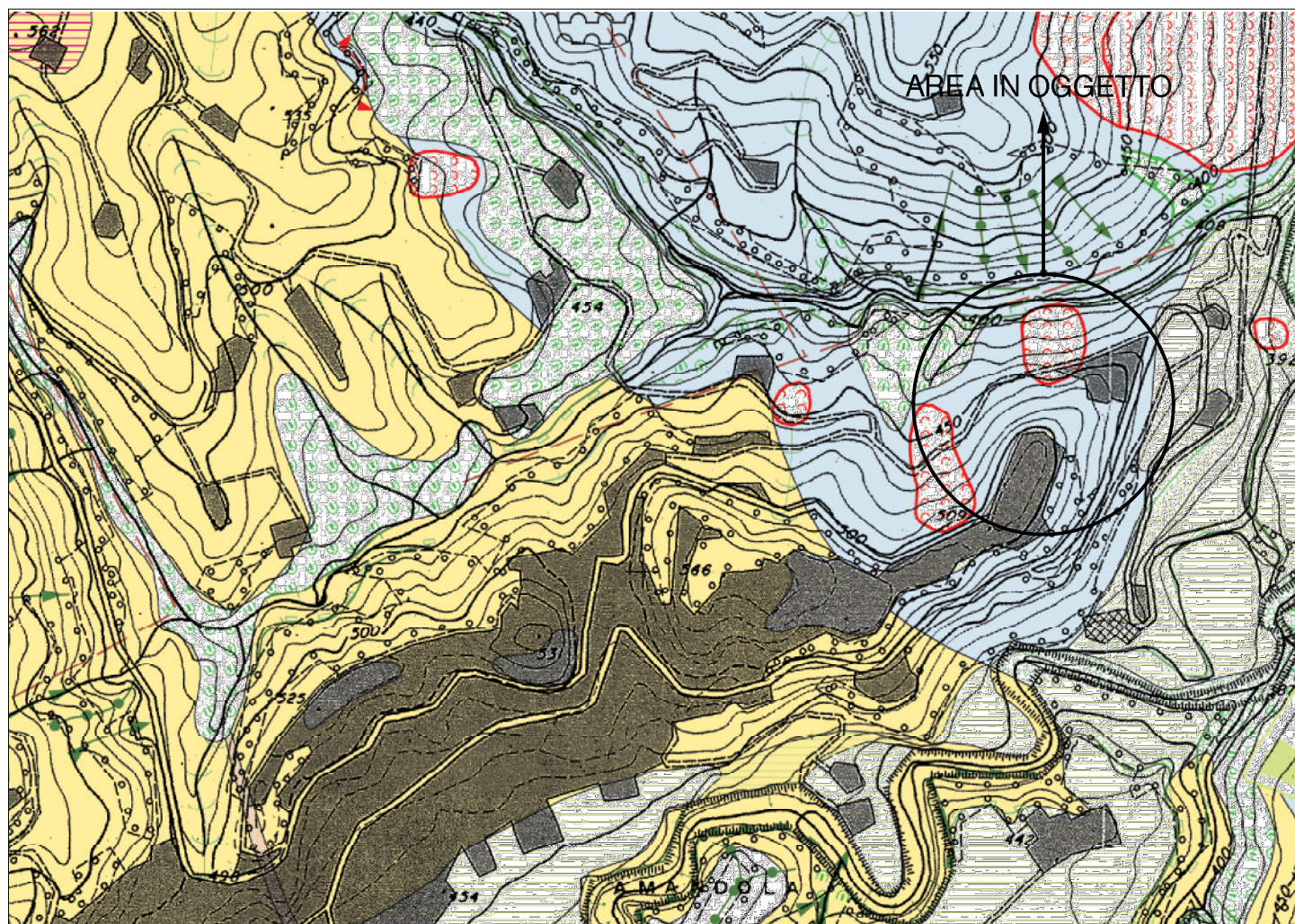


TAVOLA 3 - CARTA GEOMORFOLOGICA - Scala 1:10000

## LEGENDA



FRANE - Olocene - Frane in evoluzione di tipo colata costituite da materiali argillosi -marnosi



FORMAZIONE DELLA LAGA - Messiniano p.p. - Rocce arenaceo pelitiche



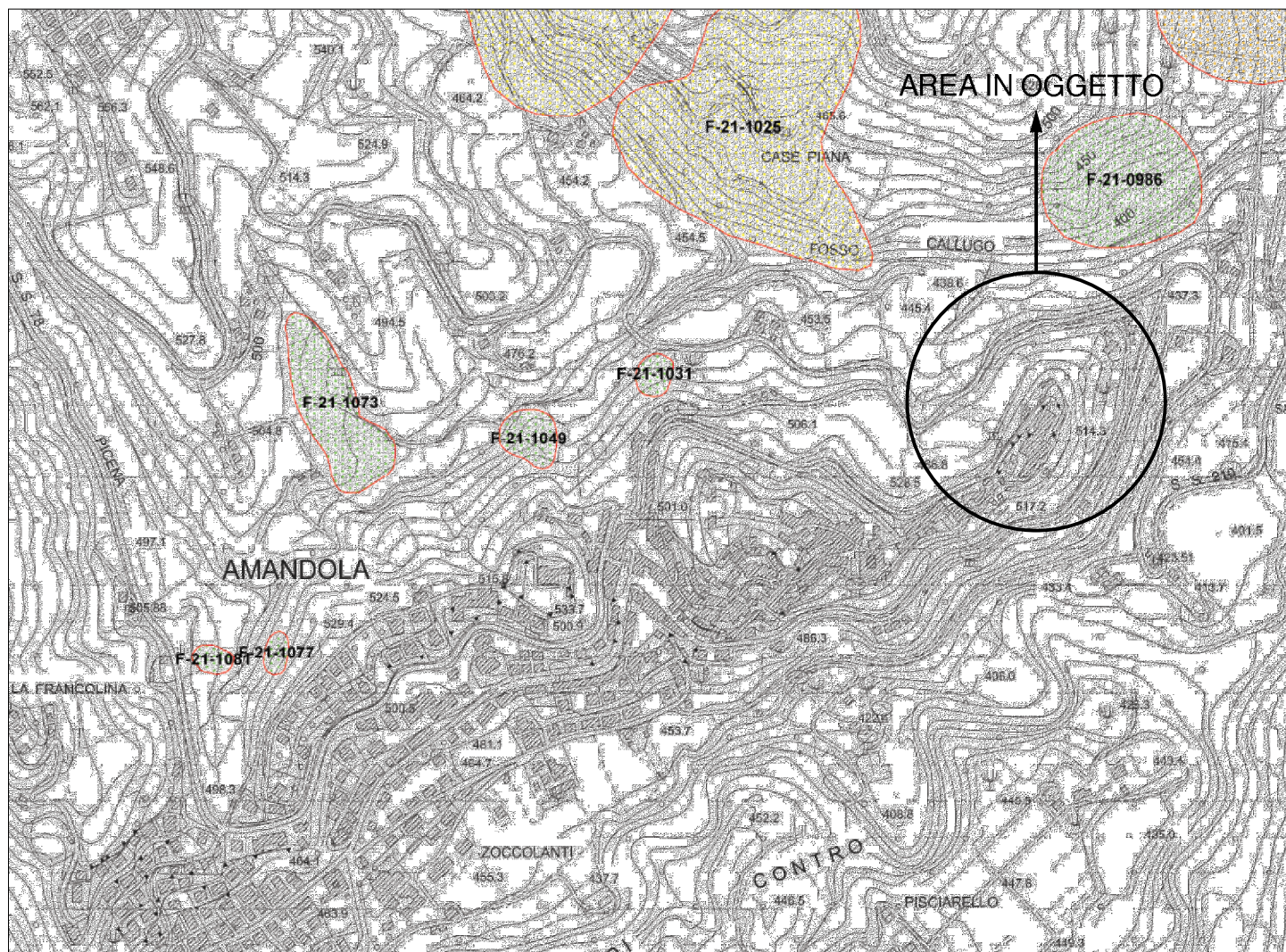


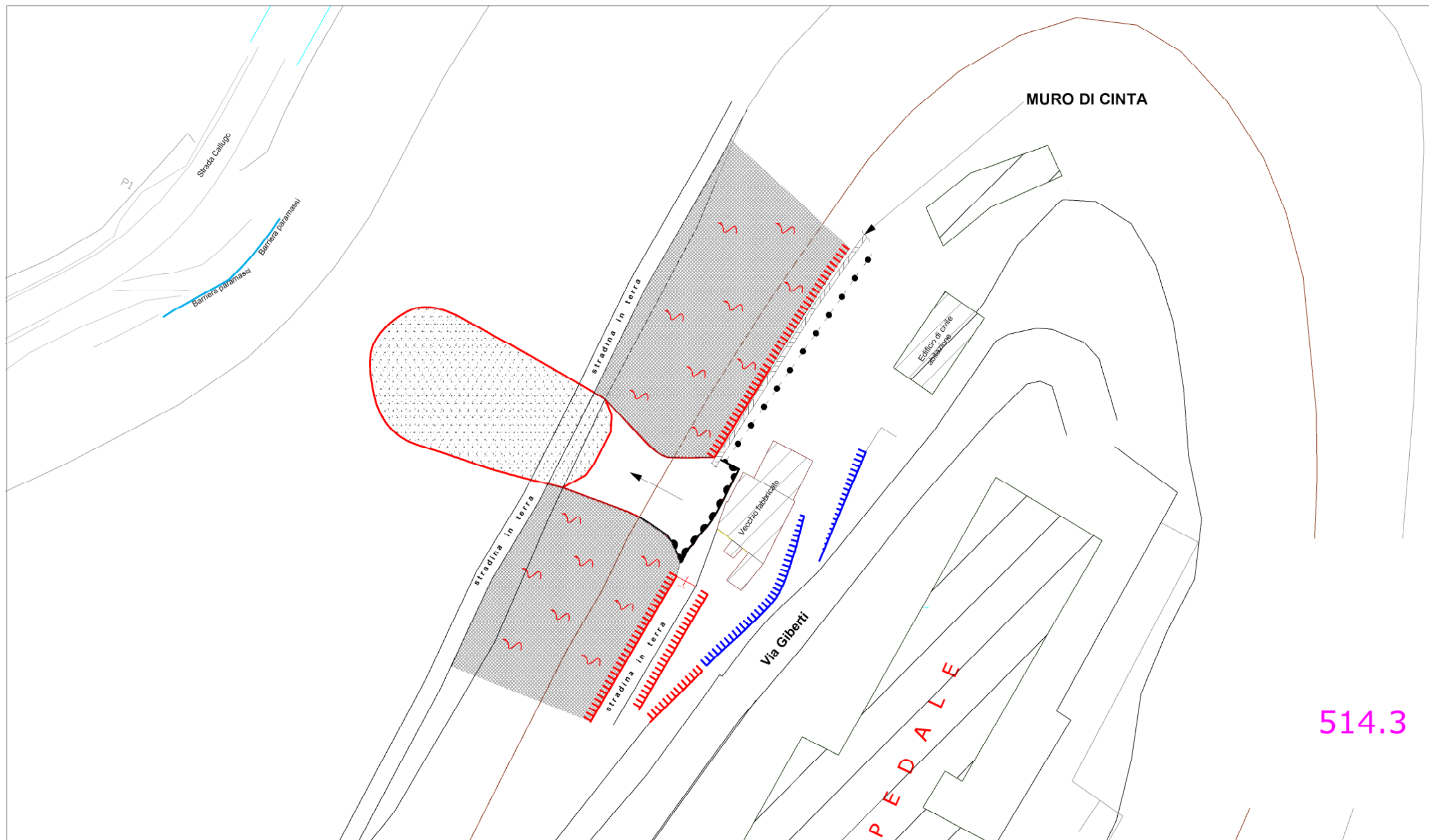
TAVOLA 4 - PAI (Piano di Assetto Idrogeologico - Scala 1:10000

## LEGENDA



Aree a rischio frana  
(Codice F-xx-yyyy)

- Rischio moderato (R1)
- Rischio medio (R2)
- Rischio elevato (R3)
- Rischio molto elevato (R4)







## LEGENDA

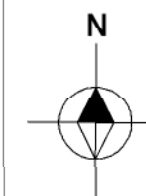
-  Corpo di frana per crollo e rotolamento
-  Area con acclività superiore al 30%

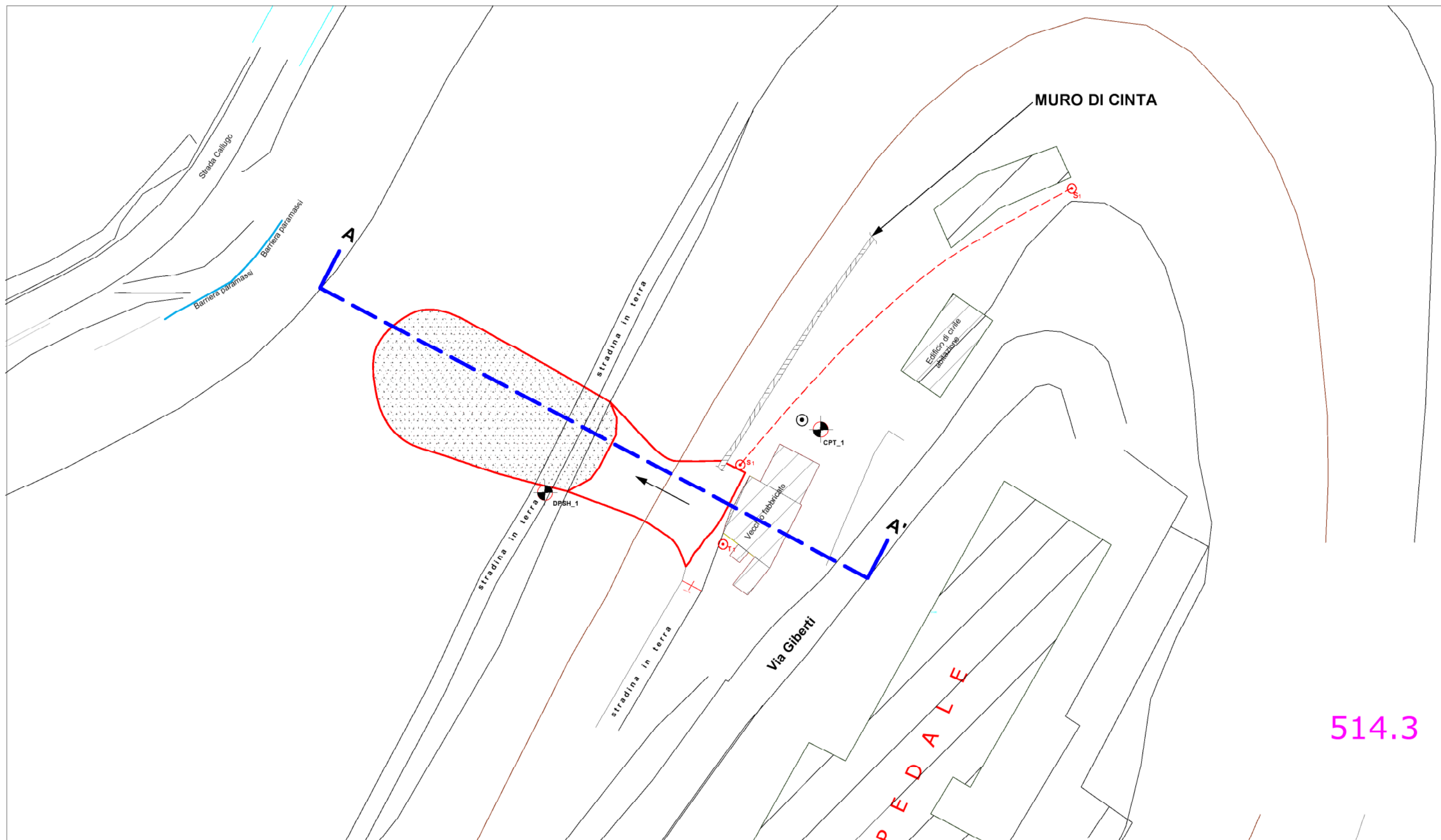
-  Frattura di trazione
-  Corona di frana

## TAVOLA 5 - RILIEVO GEMORFOLOGICO Scala 1:500

-  Scarpate con altezza superiore ai 5 metri
-  Scarpate con altezza inferiore ai 5 metri

-  Soliflusso generalizzato

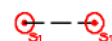




## LEGENDA



Corpo di frana



Indagine sismica (MASW)



Sondaggio a carotaggio continuo

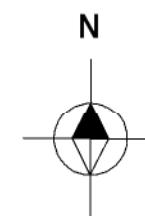


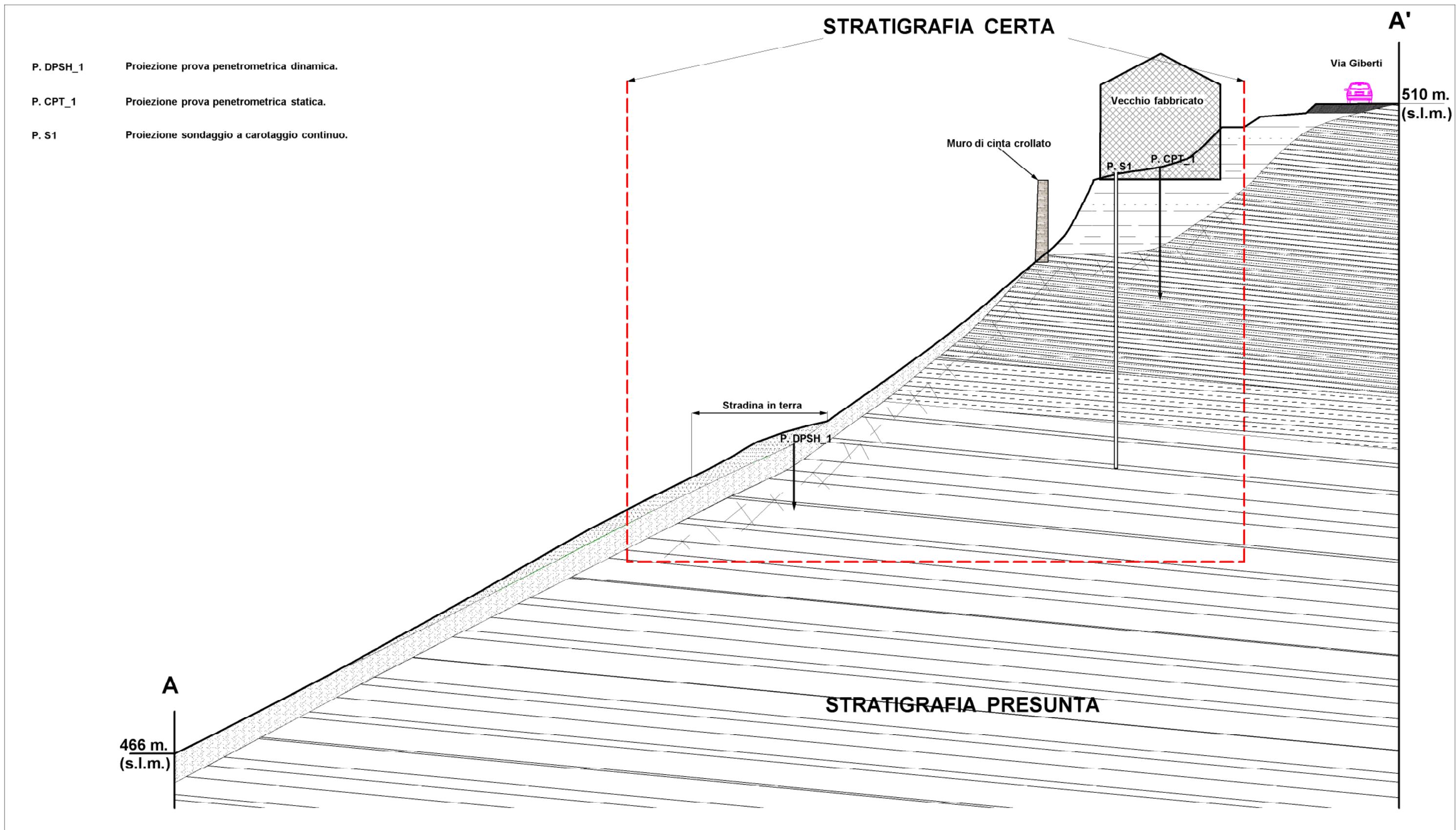
Indagine penetrometrica  
(DPSH\_1/CPT\_1)



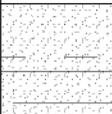
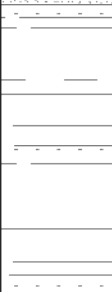


Indagina Sismica (HRSV)

## TAVOLA 6 - PLANIMETRIA - Scala 1:500







Dott. Geol. Mauro Filantropi					DATA: 21/11/2014		
CANTIERE: Via Giberti AMANDOLA (FM)				GEOLOGIA: Formazione della Laga (Membro post - evaporitico)		SONDAGGIO S1	
RIVESTIMENTO: Camicia da 127 mm (5,5 m.dal P.C.)				SONDA: DRILL 830 L		PROFONDITA': 20 metri	
				QUOTA: 505 m. (s.l.m.)			
metri	profondità	spessore	litologia	Descrizione	Poket	SPT	quota falda
0,00	0,00	0,00					
1	1,50	1,50		Terreno vegetale con trovanti calcarei e laterizi, immersi in abbondante matrice limosa (Terreno di riporto)	< 6		
2				Limi sabbiosi di colore marrone scuro con trovanti eterogenei di calacari e laterizi, con intercalazioni di livelli compatti di sabbie limose (Terreno di Riporto)			
3							
4							
5	5,50	4,00		Sabbie limose di colore nocciola chiaro con calcinelli. All'interno sono rinvenibili livelli marnosi molto consistenti, di colore grigio scuro ed intercalazioni di livelli calcarenitici di qualche centimetro di spessore (Formazione alterata).	> 6		
6							
7							
8							
9	13,50	8,00		Marne argillose di colore grigio azzurro con intercalazioni di sabbie limose di poco spessore e livelli cementati. Molto consistente (Formazione poco alterata).			
10							
11							
12							
13							
14							
15							

Dott. Geol. Mauro Filantropi					DATA: 21/11/2014		
<b>CANTIERE:</b> <b>Via Giberti</b> <b>AMANDOLA (FM)</b>			<b>GEOLOGIA:</b> Formazione della Laga (Membro post - evaporitico)		<b>SONDAGGIO</b> <b>S1</b>		
<b>RIVESTIMENTO:</b> Camicia da 127 mm (5,5 m.dal P.C.)			<b>SONDA:</b> DRILL 830 L		<b>PROFONDITA':</b> 20 metri		
			<b>QUOTA:</b> 505 m. (s.l.m.)				
metri	profondità	spessore	litologia	Descrizione	Poket	SPT	quota falda
0,00	0,00	0,00					
16	15,80	2,30		Marne calcaree di colore grigio scuro stratificate con intercalati livelli arenacei. Molto compatta (Formazione integra).			
17							
18							
19							
20	20,00	4,20					
21							
22							
23							
24							
25							
26							
27							
28							
29							
30							



## DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



Foto del sondaggio a carotaggio continuo (Profondità 0 - 5 metri).



Foto del sondaggio a carotaggio continuo (Profondità 5 - 10 metri).



## DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



Foto del sondaggio a carotaggio continuo (Profondità 10 -15 metri).



Foto del sondaggio a carotaggio continuo (Profondità 15 -20 metri).

# PROVA PENETROMETRICA DINAMICA IN FORO DI SONDAGGIO (SPT)

Committente: Provincia di Fermo  
Cantiere: Amandola  
Località: Via Giberti

## Caratteristiche Tecniche-Strumentali Sonda: SPT HOLE

Rif. Norme	DIN 4094
Peso Massa battente	63.5 Kg
Altezza di caduta libera	0.76 m
Peso sistema di battuta	4.2 Kg
Diametro punta conica	50.46 mm
Area di base punta	20 cm <sup>2</sup>
Lunghezza delle aste	1 m
Peso aste a metro	7 Kg/m
Profondità giunzione prima asta	0.80 m
Avanzamento punta	0.30 m
Numero colpi per punta	N(30)
Coeff. Correlazione	0.997
Rivestimento/fanghi	No



PROVA ... Nr.1

Strumento utilizzato...  
Prova eseguita in data  
Falda non rilevata

SPT HOLE  
21/11/2014

Tipo elaborazione Nr. Colpi: Medio

Profondità (m)	Nr. Colpi
3.15	3
3.30	5
3.45	6

## STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA Nr.1

### TERRENI INCOERENT I

Densità relativa

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Densità relativa (%)
Strato (1) Strato	10.967	0.00-3.45	10.967	Gibbs & Holtz 1957	36.91

Angolo di resistenza al taglio

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Angolo d'attrito (°)
Strato (1) Strato	10.967	0.00-3.45	10.967	Meyerhof (1956)	23.13

Modulo di Young

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Modulo di Young (Kg/cm²)
Strato (1) Strato	10.967	0.00-3.45	10.967	Schultze-Menzenbach (Sabbia ghiaiosa)	130.11

Modulo Edometrico

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Modulo Edometrico (Kg/cm²)
Strato (1) Strato	10.967	0.00-3.45	10.967	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	49.99

Classificazione AGI

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Classificazione e AGI
-------------	------	------------------	----------------------------------	--------------	-----------------------



Strato (1) Strato	10.967	0.00-3.45	10.967	Classificazione e A.G.I.	MODERATA MENTE ADDENSATO
----------------------	--------	-----------	--------	-----------------------------	--------------------------------

Peso unità di volume

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Gamma (t/m <sup>3</sup> )
Strato (1) Strato	10.967	0.00-3.45	10.967	Meyerhof ed altri	1.76

Peso unità di volume saturo

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Gamma Saturo (t/m <sup>3</sup> )
Strato (1) Strato	10.967	0.00-3.45	10.967	Terzaghi- Peck 1948- 1967	1.92

Modulo di Poisson

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Poisson
Strato (1) Strato	10.967	0.00-3.45	10.967	(A.G.I.)	0.33

Qc ( Resistenza punta Penetrometro Statico)

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Qc (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato (1) Strato	10.967	0.00-3.45	10.967	Robertson 1983	21.93



**STRATI Indagini Geognostiche**  
Via Velluti 118 MACERATA  
via Piave 5 CIVITANOVA M.  
Tel. 0733 28 34 69 - 389 57 18 641  
fax 0733 28 78 24 [info@provepenetrometriche.it](mailto:info@provepenetrometriche.it)

## PROVA PENETROMETRICA STATICA (CPT\_1)

Committente: Filantropi  
Cantiere: Ripristino area in frana via Giberti  
Località: Amandola

### Caratteristiche Strumentali PAGANI TG 63 (200 kN)

Rif. Norme	ASTM D3441-86
Diametro Punta conica meccanica	35,7
Angolo di apertura punta	60
Area punta	10
Superficie manicotto	150
Passo letture (cm)	20
Costante di trasformazione Ct	10

PROVA ... Nr.1

Committente: Filantropi

Strumento utilizzato: PAGANI TG 63 (200 kN)

Prova eseguita in data: 25/11/2014

Profondità prova: 8,80 mt

Località: Amandola

Profondità (m)	Lettura punta (Kg/cm <sup>2</sup> )	Lettura laterale (Kg/cm <sup>2</sup> )	qc (Kg/cm <sup>2</sup> )	fs (Kg/cm <sup>2</sup> )	qc/fs Begemann	fs/qcx100 (Schmertmann)
0,20	7,00	13,0	7,0	0,5	14,0	7,1
0,40	10,00	17,0	10,0	-0,1	-100,0	-1,0
0,60	28,00	26,0	28,0	0,5	56,0	1,8
0,80	11,00	19,0	11,0	1,0	11,0	9,1
1,00	8,00	23,0	8,0	0,6	13,3	7,5
1,20	8,00	17,0	8,0	0,7	11,4	8,8
1,40	7,00	18,0	7,0	0,4	17,5	5,7
1,60	11,00	17,0	11,0	0,7	15,7	6,4
1,80	11,00	21,0	11,0	0,7	15,7	6,4
2,00	15,00	26,0	15,0	1,2	12,5	8,0
2,20	7,00	25,0	7,0	0,7	10,0	10,0
2,40	19,00	30,0	19,4	0,5	38,8	2,6
2,60	20,00	28,0	20,0	0,7	28,6	3,5
2,80	30,00	41,0	30,4	0,6	50,7	2,0
3,00	35,00	44,0	35,4	0,9	39,3	2,5
3,20	32,00	45,0	32,0	2,1	15,2	6,6
3,40	27,00	59,0	27,0	1,7	15,9	6,3
3,60	38,00	64,0	38,0	0,8	47,5	2,1
3,80	50,00	62,0	50,0	1,7	29,4	3,4
4,00	41,00	66,0	41,0	1,5	27,3	3,7
4,20	31,00	54,0	31,0	1,9	16,3	6,1
4,40	54,00	82,0	54,0	2,9	18,6	5,4
4,60	60,00	104,0	60,0	4,5	13,3	7,5
4,80	64,00	132,0	64,0	2,5	25,6	3,9
5,00	51,00	89,0	51,0	2,0	25,5	3,9
5,20	106,00	136,0	106,0	2,0	53,0	1,9
5,40	93,00	123,0	93,0	7,2	12,9	7,7
5,60	106,00	214,0	106,0	8,3	12,8	7,8
5,80	78,00	203,0	78,0	5,8	13,4	7,4
6,00	88,00	175,0	88,0	5,8	15,2	6,6
6,20	149,00	236,0	149,0	9,5	15,7	6,4
6,40	191,00	334,0	191,0	11,7	16,3	6,1
6,60	192,00	368,0	192,0	4,3	44,7	2,2
6,80	164,00	229,0	164,0	13,3	12,3	8,1
7,00	135,00	334,0	135,0	9,1	14,8	6,7
7,20	135,00	271,0	135,0	8,3	16,3	6,1
7,40	110,00	235,0	110,0	9,2	12,0	8,4
7,60	119,00	257,0	119,0	6,5	18,3	5,5
7,80	147,00	244,0	147,0	9,7	15,2	6,6
8,00	167,00	312,0	167,0	8,1	20,6	4,9
8,20	214,00	335,0	214,0	11,5	18,6	5,4
8,40	157,00	329,0	157,0	11,3	13,9	7,2
8,60	134,00	304,0	134,0	9,9	13,5	7,4
8,80	141,00	289,0	142,2	0,0		0,0

Prof. Strato (m)	qc Media (Kg/cm <sup>2</sup> )	fs Media (Kg/cm <sup>2</sup> )	Gamma Medio (t/m <sup>3</sup> )	Comp. Geotecnico	Descrizione
2,60	12,5	0,6	1,9	Incoerente-Coesivo	limo sabbioso deb. argilloso
4,20	35,6	1,4	2,1	Incoerente-Coesivo	limo argilloso
6,00	77,8	4,6	2,2	Incoerente-Coesivo	argilla limosa
8,80	154,0	8,7	2,3	Incoerente-Coesivo	argilla e sabbia



---

## STIMA PARAMETRI GEOTECNICI

Nr:	Numero progressivo strato
Prof:	Profondità strato (m)
Tipo:	C: Coesivo. I: Incoerente. CI: Coesivo-Incoerente
Cu:	Coesione non drenata (Kg/cm <sup>2</sup> )
Eu:	Modulo di defomazione non drenato (Kg/cm <sup>2</sup> )
Mo:	Modulo Edometrico (Kg/cm <sup>2</sup> )
G:	Modulo di deformazione a taglio (Kg/cm <sup>2</sup> )
OCR:	Grado di sovraconsolidazione
Puv:	Peso unità di volume (t/m <sup>3</sup> )
PuvS:	Peso unità di volume saturo (t/m <sup>3</sup> )
Dr:	Densità relativa (%)
Fi:	Angolo di resistenza al taglio (°)
Ey:	Modulo di Young (Kg/cm <sup>2</sup> )
Vs:	Velocità onde di taglio (m/s)

Nr.	Prof.	Tipo	Cu	Eu	Mo	G	OCR	Puv	PuvS	Dr	Fi	Ey	Vs
1	2,60	CI	0,9	459,5	47,4	131,0	2,3	1,9	2,0	34,2	18,4	16,3	252,81
2	4,20	CI	2,0	1310,2	71,2	248,4	6,9	2,1	2,1	46,4	22,8	46,3	323,31
3	6,00	CI	3,2	2879,0	155,6	400,4	9	2,2	2,3	62,7	25,3	101,1	388,51
4	8,80	CI	4,3	5716,9	308,0	607,8	9	2,3	2,4	76,3	27,9	200,2	456,1



**STRATI Indagini Geognostiche**

Via Velluti 118 MACERATA

via Piave 5 CIVITANOVA M.

Tel. 0733 28 34 69 - 389 57 18 641

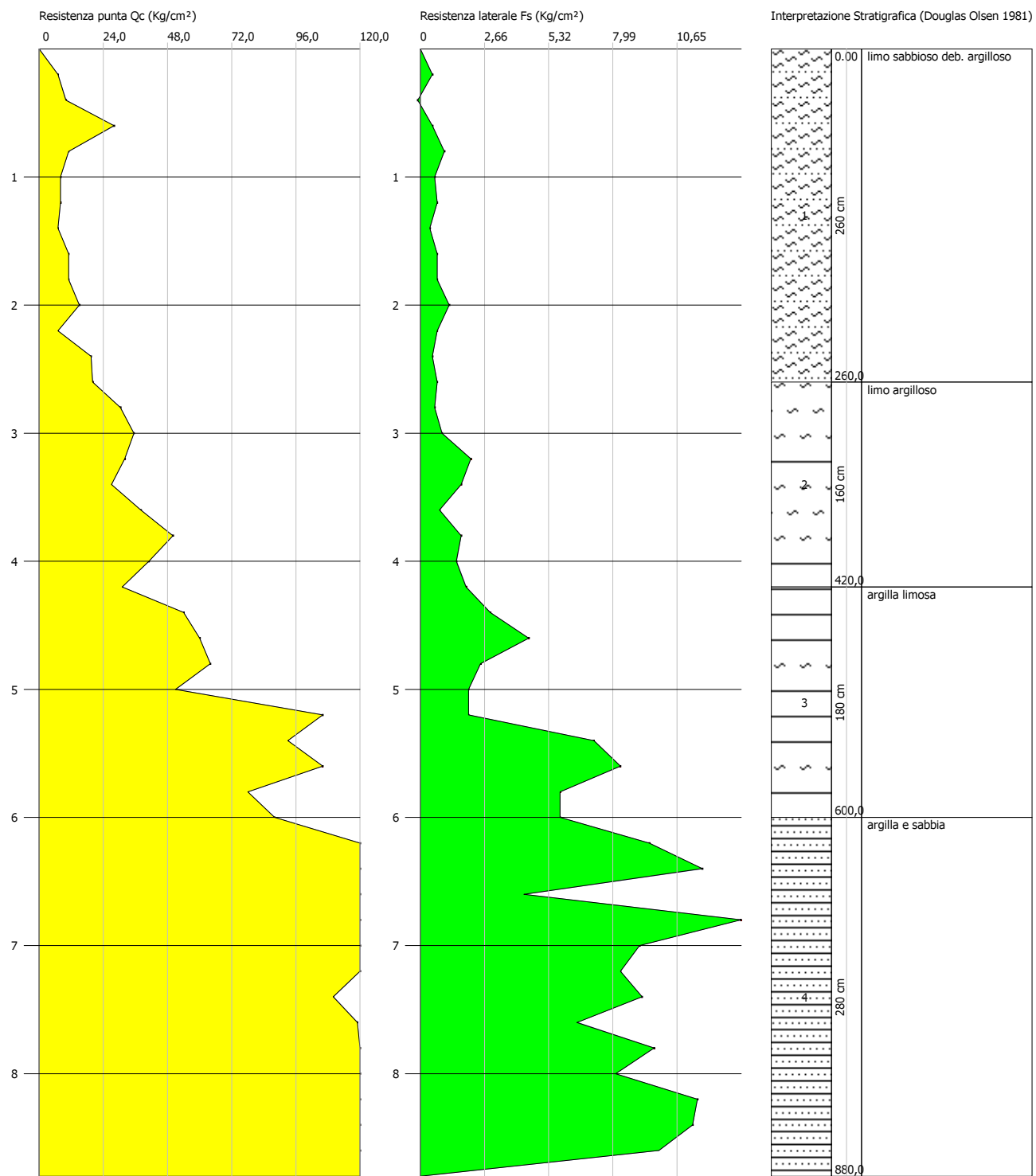
fax 0733 28 78 24 [info@provepenetrometriche.it](mailto:info@provepenetrometriche.it)

*Interpretazione  
litostratigrafica  
proposta*

Probe CPT - Cone Penetration Nr.1  
Strumento utilizzato PAGANI TG 63 (200 kN)

Committente: Filantropi  
Cantiere: Ripristino area in frana via Giberti  
Località: Amandola

Data: 25/11/2014  
Pag. 1 Scala 1:47



---

## PROVA PENETROMETRICA DINAMICA (DPSH\_1)

Committente: Filantropi Cantiere: Ripristino area in frana via Giberti Località: Amandola	
---	--

### Caratteristiche Tecniche-Strumentali Sonda: DPSH TG 63-200 PAGANI

Rif. Norme	DIN 4094
Peso Massa battente	63,5 Kg
Altezza di caduta libera	0,75 m
Peso sistema di battuta	0,63 Kg
Diametro punta conica	51,00 mm
Area di base punta	20,43 cm <sup>2</sup>
Lunghezza delle aste	1 m
Peso aste a metro	6,31 Kg/m
Profondità giunzione prima asta	0,40 m
Avanzamento punta	0,20 m
Numero colpi per punta	N(20)
Coeff. Correlazione	1,47
Rivestimento/fanghi	No
Angolo di apertura punta	90 °



PROVA ... Nr.2

Strumento utilizzato... DPSH TG 63-200 PAGANI  
 Prova eseguita in data 25/11/2014  
 Profondità prova 4,80 mt  
 Falda non rilevata

Tipo elaborazione Nr. Colpi: Medio

Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Kg/cm²)	Res. dinamica (Kg/cm²)	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (Kg/cm²)	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (Kg/cm²)
0,20	4	0,855	35,92	42,03	1,80	2,10
0,40	5	0,851	44,70	52,54	2,23	2,63
0,60	9	0,847	73,51	86,79	3,68	4,34
0,80	12	0,843	97,59	115,72	4,88	5,79
1,00	12	0,840	97,18	115,72	4,86	5,79
1,20	15	0,786	113,73	144,65	5,69	7,23
1,40	15	0,783	113,24	144,65	5,66	7,23
1,60	16	0,780	111,14	142,57	5,56	7,13
1,80	16	0,776	110,68	142,57	5,53	7,13
2,00	16	0,773	110,24	142,57	5,51	7,13
2,20	16	0,770	109,80	142,57	5,49	7,13
2,40	16	0,767	109,37	142,57	5,47	7,13
2,60	18	0,764	113,93	149,07	5,70	7,45
2,80	26	0,711	153,19	215,32	7,66	10,77
3,00	29	0,709	170,20	240,17	8,51	12,01
3,20	20	0,756	125,22	165,63	6,26	8,28
3,40	18	0,753	112,31	149,07	5,62	7,45
3,60	15	0,751	87,13	116,03	4,36	5,80
3,80	32	0,648	160,51	247,54	8,03	12,38
4,00	38	0,646	189,90	293,95	9,49	14,70
4,20	28	0,694	150,25	216,59	7,51	10,83
4,40	16	0,741	91,77	123,77	4,59	6,19
4,60	18	0,739	96,56	130,62	4,83	6,53
4,80	38	0,637	175,69	275,76	8,78	13,79

Prof. Strato (m)	NPDM	Rd (Kg/cm²)	Tipo	Clay Fraction (%)	Peso unità di volume (t/m³)	Peso unità di volume saturo (t/m³)	Tension e efficace (Kg/cm²)	Coeff. di correlaz. con Nspt	Nspt	Descrizione
0,4	4,5	47,28	Incoerente - coesivo	0	1,84	1,89	0,04	1,47	6,62	terreno vegetale
1	11	106,08	Incoerente - coesivo	0	2,08	2,29	0,14	1,47	16,17	limo argilloso
2,4	15,71	143,16	Incoerente -	0	2,11	2,17	0,35	1,47	23,09	argilla limosa

			coesivo							
4,8	24,67	193,63	Incoerente - coesivo	0	2,33	2,5	0,77	1,47	36,26	argilla e sabbia

#### STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA Nr.2

Strato	Prof. (m)	Nspt	Tipo	Peso unità di volume (t/m³)	Peso unità di volume saturo (t/m³)	Angolo di resistenza al taglio (°)	Coesione non drenata (Kg/cm²)	Modulo Edometrico (Kg/cm²)	Modulo Elastico (Kg/cm²)	Modulo Poisson	Modulo di taglio G (Kg/cm²)	Velocità di onde di taglio (m/s)
Strato (1) terreno vegetale	0,00-0,40	6,62	Coesivo Incoerente	1,84	1,89	21,89	0,83	30,37	66,20	0,34	384,17	69,54
Strato (2) limo argilloso	0,40-1,00	16,17	Coesivo Incoerente	2,08	2,29	24,62	2,02	74,19	161,70	0,32	889,41	103,36
Strato (3) argilla limosa	1,00-2,40	23,09	Coesivo Incoerente	2,11	2,17	26,6	2,89	105,94	230,90	0,31	1243,17	130,46
Strato (4) argilla e sabbia	2,40-4,80	36,26	Coesivo Incoerente	2,33	2,50	30,36	4,53	166,36	362,60	0,28	1900,10	163,03



**STRATI Indagini Geognostiche**  
Via Velluti 118 MACERATA  
via Piave 5 CIVITANOVA M.  
Tel. 0733 28 34 69 - 389 57 18 641  
fax 0733 28 78 24 [info@provepenetrometriche.it](mailto:info@provepenetrometriche.it)

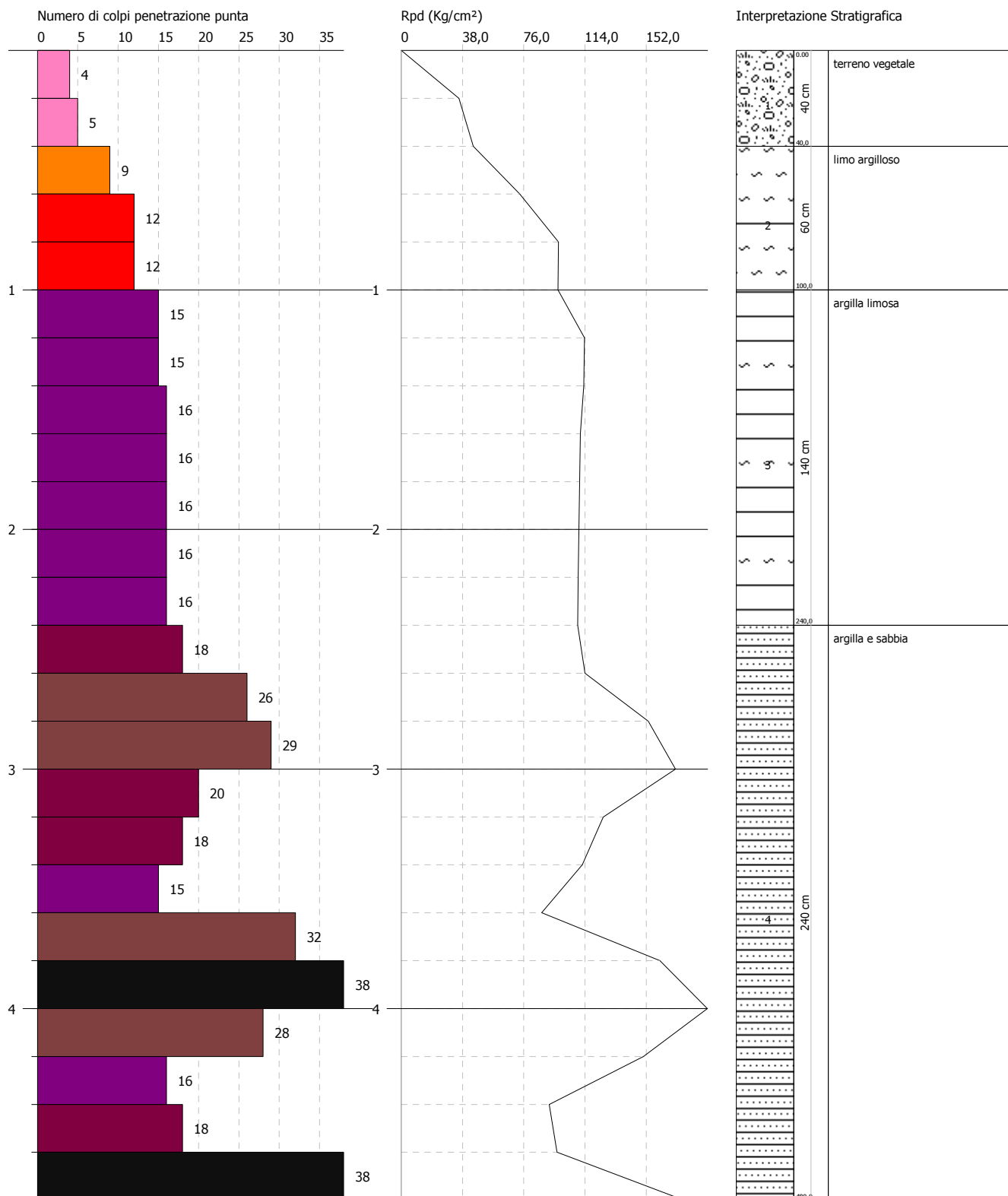
Interpretazione litologica e  
stratigrafica proposta

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA Nr.2  
Strumento utilizzato... DPSH TG 63-200 PAGANI

Committente: Filantropi  
Cantiere: Ripristino area in frana via Giberti  
Località: Amandola

Data: 25/11/2014

Scala 1:24





# INDAGINE GEOFISICA

REPORT D'INDAGINE MASW

(MULTICHANNEL ANALYSIS OF SURFACE WAVES)

e

PASSIVA A STAZIONE SINGOLA HVSR

(HORIZONTAL VERTICAL SPECTRAL RATIO)

Comune di Amandola (FM)

Oggetto: risultati di indagine geofisica tipo HVSR e MASW per  
progetto di risanamento frana sotto l'ospedale.

committente: Dott. Geol. Mauro Filantropi

2014

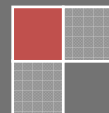


**GeA S.n.c.**  
**INDAGINI GEOFISICHE**

www.geasnc.it – info@geasnc.it  
Tel/Fax 0736 344383  
Via del Commercio, 3  
63100 Ascoli Piceno  
P.IVA/C.F. 01852210440  
Reg.Imp.CCIAA 178609

DOTT. GEOL. MASSIMO LEONELLI

25/11/2014





## PREMESSA

A seguito della richiesta del **Dott. Mauro Filantropi, Geologo specialista**, con sede in Amandola, alla scrivente GeA snc "Indagini Geofisiche" di Ascoli Piceno (AP), è stato dato l'incarico per l'esecuzione di due prospezioni sismiche: a rifrazione tipo MASW e passiva tipo HVSR; entrambe eseguite nel territorio comunale di Amandola (FM), nel versante in frana al di sotto dell'ospedale (vedi figure n.1 e n.2). Alle operazioni di acquisizioni fa seguito il presente report d'indagine, a firma dello scrivente Dott. Geol. Massimo Leonelli, necessario al progetto di risanamento della frana.

L'indagine tipo MASW si basa sulla misurazione e sull'analisi delle onde di Rayleigh in un semispazio stratificato, al fine della **definizione della  $V_{s30}$**  secondo quanto previsto dal D.M. 14/09/2005 Norme Tecniche per le Costruzioni, emanate con D.M. Infrastrutture del 14/01/2008, pubblicato su Gazzetta Ufficiale Supplemento ordinario n. 29 del 04/02/2008; lo strumento utilizzato per la misurazione è il sismografo multicanale modello PASI SGH24; l'acquisizione è stata eseguita mediante stendimento standard a 24 geofoni, con interasse a 2 metri, ed energizzazione con massa battente da 10 Kg. La successiva elaborazione dei dati registrati in campagna è stata effettuata mediante software WinMasw 4.1.1 Pro (Surface wave analysis modelling and inversion of Rayleigh and Love waves MASW, ReMi and attenuation analysis by ELIOSOFT).

L'indagine tipo HVSR è stata eseguita mediante **tromometro digitale** (modello Tromino©, stazione sismica passiva tridirezionale), effettuando una registrazione a stazione singola con tromino, della durata di 20 minuti, che permette la misura diretta della **frequenza di risonanza** del sito in studio: particolarmente utile in fase progettuale per verificare l'interazione dal punto di vista sismico del sistema terreno-struttura. La conoscenza della frequenza di risonanza del sottosuolo è un parametro fondamentale per il progettista, perché deve assolutamente evitare, in fase progettuale, situazioni di "doppia risonanza suolo-struttura": cioè coincidenza delle frequenze di vibrazione proprie del sottosuolo con quelle degli edifici. Il verificarsi di tale sincronismo, o anche l'approssimarsi ad esso, comporterebbe situazioni problematiche dal punto di vista della vulnerabilità sismica. La successiva analisi della misura registrata, mediante software Grilla (vers.6.2beta - 2012), ha permesso anche di ricavare profili di  $V_s$  con successiva stima del parametro  **$V_{s30}$** , particolarmente utile nella progettazione geologico-tecnica per la definizione della categoria di suolo del sito in oggetto come da normativa sismica vigente.

La campagna di indagine mediante MASW e HVSR è stata condotta in data 24 novembre 2014 nel sito di progetto; l'ubicazione dei punti di misura realizzati sono riportati nella successiva figura 2.

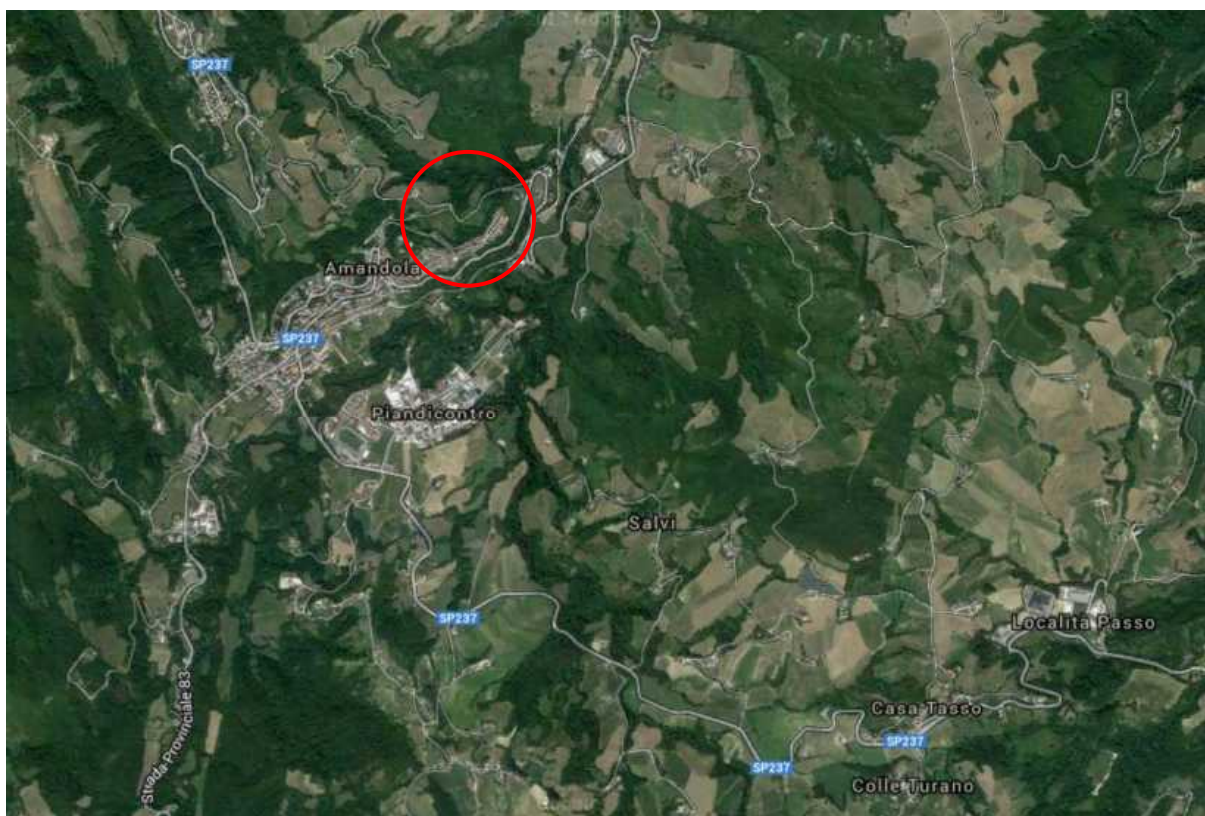


Figura 1- ubicazione area.



Figura 2 - ubicazione indagine: ● misura HVSR - misura MASW e centro indagine —■—

## INDAGINE MASW

### METODOLOGIA D'INDAGINE

L'indagine geofisica tipo MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) si basa sulla misurazione e sull'analisi delle onde di Rayleigh in un semispazio stratificato, al fine della definizione della VS30, secondo quanto previsto dal D.M. 14/09/2005 Norme Tecniche per le Costruzioni, emanate con D.M. Infrastrutture del 14/01/2008, pubblicato su Gazzetta Ufficiale Supplemento ordinario n° 29 del 04/02/2008.

Il metodo MASW è una tecnica di indagine non invasiva che consente la definizione del profilo di velocità delle onde di taglio verticali Vs, basandosi sulla misura delle onde superficiali fatta in corrispondenza di n.24 sensori posti sulla superficie del suolo.

Il contributo predominante alle onde superficiali è dato dalle onde di Rayleigh, che si trasmettono con una velocità correlata alla rigidezza della porzione di terreno interessata dalla propagazione delle onde.

In un mezzo stratificato le onde di Rayleigh sono dispersive, cioè onde con diverse lunghezze d'onda si propagano con diverse velocità di fase e velocità di gruppo o detto in maniera equivalente la velocità di fase (o di gruppo) apparente delle onde di Rayleigh dipende dalla frequenza di propagazione, cioè sono onde la cui velocità dipende dalla frequenza.

### STRUMENTAZIONE

L'acquisizione è stata effettuata con apparecchiatura Pasi mod.16SG24 a 24 canali, con tempo di registrazione impostato in 4096 millisecondi ed un passo di campionamento impostato in 500 microsecondi.

I collegamenti elettrici sono stati realizzati con cavi con connettori NK2721C e Geofoni aventi una frequenza di 4,5 Hz, ancorati verticalmente al terreno ad una distanza tra loro di 2,00 metri.

### ACQUISIZIONE DATI

La base sismica è costituita da 24 geofoni disposti ad intervalli di 2,00 metri per cui risulta lunga 51 metri compreso il punto di energizzazione.

La base sismica è stata disposta, su richiesta della committenza, nelle zone di maggiore interesse per le finalità del progetto ed in funzione della morfologia e degli ostacoli presenti.

Per l'acquisizione è stato effettuato un punto di energizzazione, posto a cinque metri (5m) dal primo geofono, mediante mazza di battuta di Kg 10 con starter, posto a cinque metri dal primo geofono.

### ELABORAZIONE DATI

L'analisi MASW può essere ricondotta in quattro fasi:

- la prima fase prevede la trasformazione delle serie temporali nel dominio frequenza  $f$  – numero d'onda  $K$ .
- la seconda fase consiste nella individuazione delle coppie  $f-k$  cui corrispondono i massimi spettrali d'energia (densità spettrale) che consentono di risalire alla curva di dispersione delle onde di Rayleigh nel piano Vfase (m/sec) – frequenza (lentezza (s/m) – frequenza (Hz).
- la terza fase consiste nel calcolo della curva di dispersione teorica attraverso la formulazione del profilo di velocità delle onde di taglio verticali Vs, modificando opportunamente lo spessore  $h$ , la densità di massa  $\rho$  degli strati che costituiscono il modello del suolo, le velocità delle onde di taglio Vs e di compressione Vp.
- la quarta ed ultima fase consiste nella modifica della curva teorica, fino a raggiungere una sovrapposizione ottimale tra la velocità di fase (o curva di dispersione) sperimentale e la velocità di fase (o curva di dispersione) numerica corrispondente al modello di suolo.



**RISULTATO INDAGINE MASW**

Elaborazione eseguita in data 25/11/2014 – Time 10.59 – Dataset: *h302.DAT*; curva di dispersione considerata:

“2014.11.25\_Amandola\_Ospedale.02.cdp”

STRATO	MODELLO MEDIO		
	N.1	N.2	N.3
Vs (m/s)	276	332	682
Spessore (m)	3.8	5.2	21

**VALORI APPROSSIMATI per Vp, DENSITÀ e MODULI ELASTICI**

STRATO	N.1	N.2	N.3
Spessore (m)	3.8	5.2	21
Density (gr/cm <sup>3</sup> )	1.92	1.96	2.14
Shear modulus (MPa)	146	217	995
Vp (m/s)	575	691	1420
Poisson	0.35	0.35	0.35
Bulk modulus (MPa)	440	649	2987
Young's modulus (MPa)	395	585	2686
Lamé (MPa)	342	505	2323

**Vs<sub>30</sub> e SOIL TYPE**

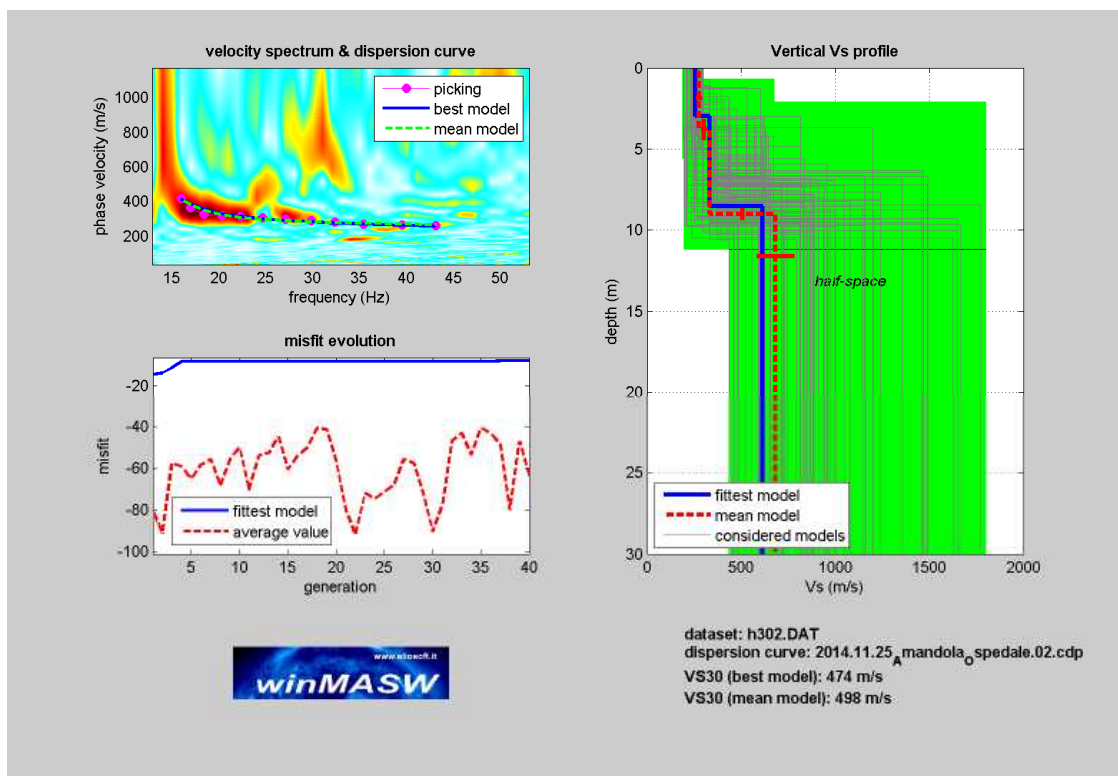
Vs <sub>30</sub> (m/s):	<b>498</b>
Soil Type	<b>B</b>



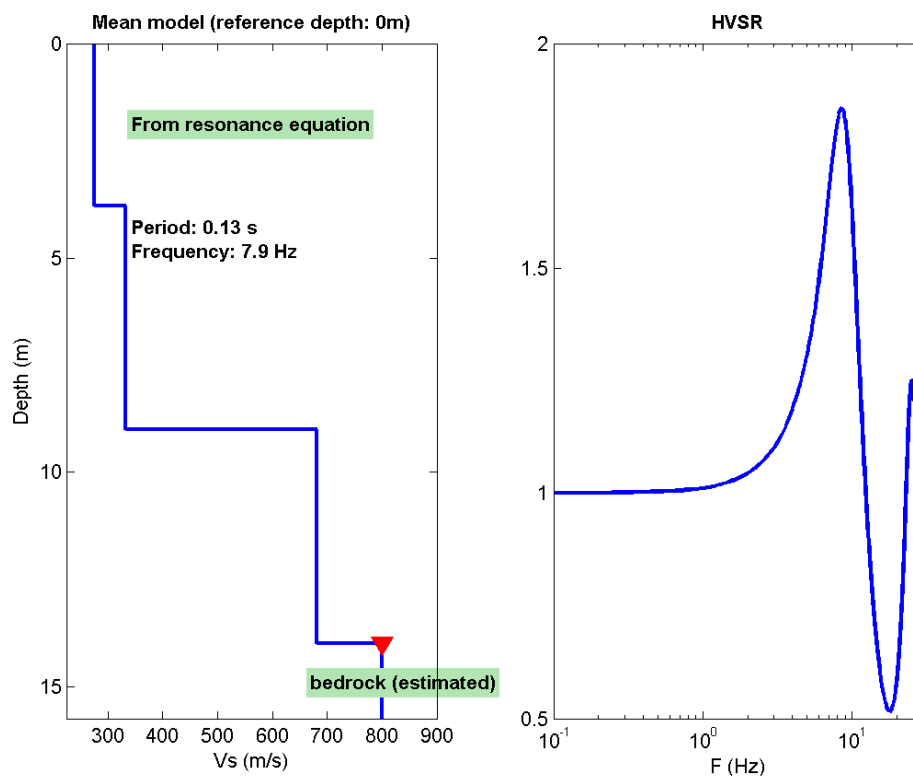
**Foto 1** – vista dello stendimento MASW realizzato.



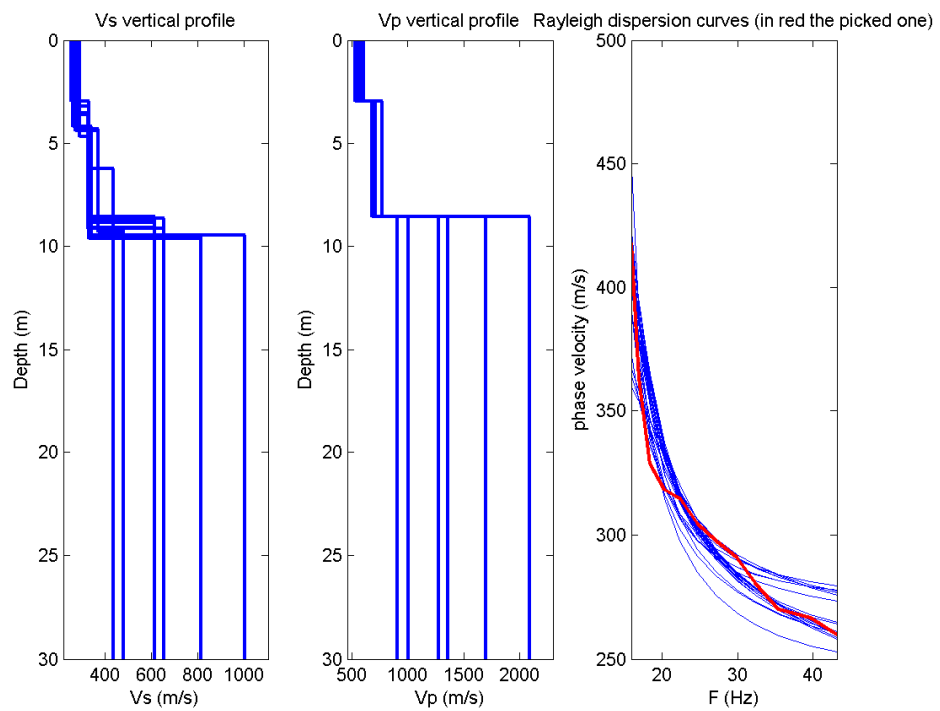
## Curva di Dispersione, Profilo Verticale Vs



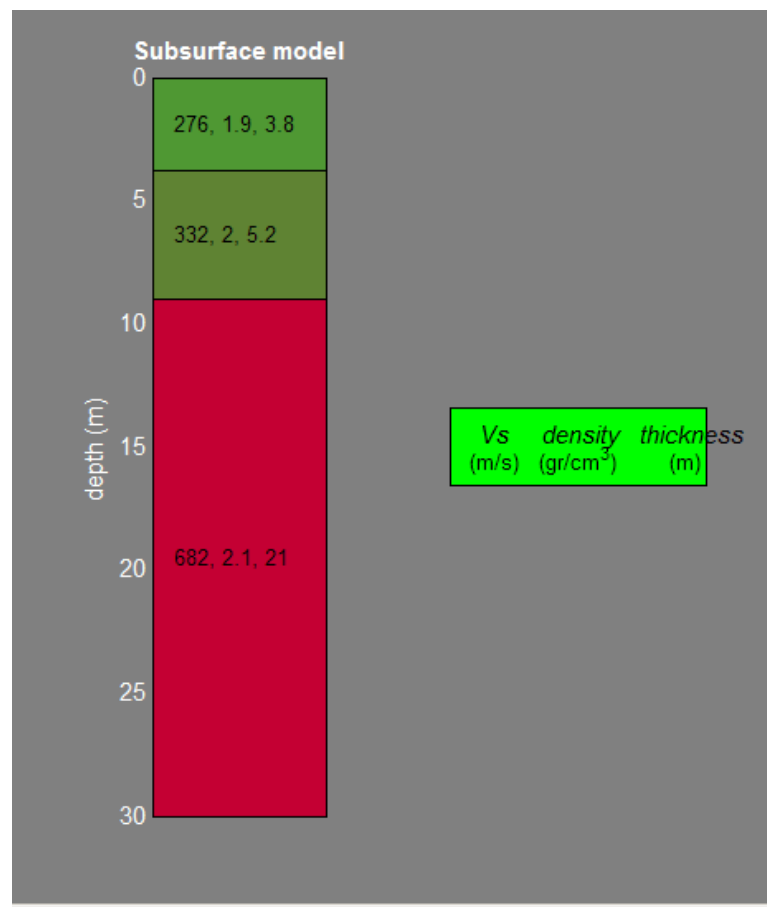
## Profilo verticale Vs, Vp e curva di dispersione Rayleigh



## Modello medio e HSVR



## Profilo verticale

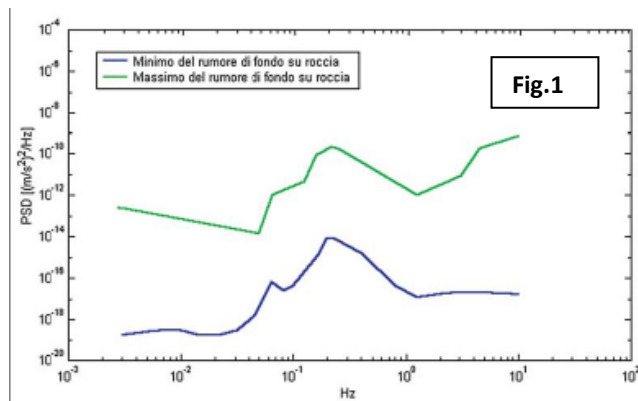


## INDAGINE HVSr

### SISMICA PASSIVA, MISURA DEL MICROTREMORE

La sismica passiva è il ramo della sismologia/sismica che si basa sull'analisi del **microtremore sismico** (rumore sismico) ossia sulla parte del segnale che veniva scartato dall'indagine sismica tradizionale

Il *rumore sismico*, generato dai fenomeni atmosferici (onde oceaniche, vento) e dall'attività antropica, è presente ovunque sulla superficie terrestre. Si chiama anche microtremore poiché riguarda oscillazioni molto più piccole di quelle indotte dai terremoti nel campo prossimo all'epicentro. Anche l'attività industriale o il traffico veicolare possono generare tremore sismico, soprattutto in alta frequenza (alcuni Hz), che si attenua rapidamente allontanandosi dalla sorgente. In aree prive di sorgenti locali di tremore, in assenza di vento o su basamenti rocciosi tabulari, lo spettro del tremore assume la forma mostrata in Figura 1: dove le curve blu e verdi indicano rispettivamente le ampiezze 'massima' e 'minima' assunte come standard per il rumore sismico di fondo dal Servizio Geologico degli Stati Uniti (USGS).



Lo spettro del rumore sismico diminuisce in corrispondenza delle alte frequenze e mostra due massimi a 0.14 e 0.07 Hz.

Questi massimi sono probabilmente legati al moto ondoso degli oceani i cui effetti si propagano a distanze anche dell'ordine delle migliaia di km dalla costa a causa delle particolari modalità di propagazione delle onde superficiali.

I metodi che si basano sulla sua acquisizione si dicono passivi in quanto il rumore non è generato, come ad esempio le esplosioni della sismica attiva.

Durante un terremoto, se la frequenza di risonanza del sottosuolo coincide con quella degli edifici presenti, può avere luogo un fenomeno di accoppiamento fra le due modalità di vibrazione. Questo effetto di amplificazione sismica produrrà un grande aumento della sollecitazione sugli edifici.

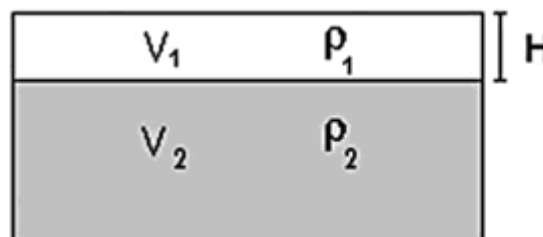
L'amplificazione sismica è la prima causa dei danni indotti dal terremoto, anche più importante della dimensione del terremoto stesso.

### STRUMENTAZIONE

Le misura del microtremore ambientale, della durata minima di 10 minuti, è stata effettuata con un tromografo digitale progettato specificamente per l'acquisizione del rumore sismico. Lo strumento (Tromino, 10 x 7 x 14 cm per 1,1 kg di peso) è dotato di tre sensori elettrodinamici (velocimetri) orientati N-S, E-W e verticalmente, alimentato da 2 batterie AA da 1.5 V, 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.

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.

Le misura a stazione singola in campo aperto è stata orientata secondo il Nord.



### ACQUISIZIONE DATI

Per l'acquisizione il Tromino viene posizionato sul terreno cercando di ottimizzare al meglio l'accoppiamento terreno strumento, più importante del livellamento.

Nel posizionamento è preferibile posizionare lo strumento con l'asse maggiore in direzione del Nord nelle misure su terreno, mentre per le misure su edifici viene posizionato lungo l'asse principale dell'edificio.

Una volta posizionato lo strumento, come precedentemente detto, si parte con l'acquisizione che ha una durata di circa 10 minuti.

### BASI TEORICHE DEL METODO H/V

Le basi teoriche dell'H/V sono relativamente semplici in un mezzo del tipo strato + bedrock (o strato assimilabile al bedrock) in cui i parametri sono costanti in ciascuno strato (1-D).

Consideriamo il sistema di Figura 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'interfaccia 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 ( $\lambda$ ) è 4 volte (o suoi multipli dispari) lo spessore  $H$  del primo strato.

La frequenza fondamentale di risonanza ( $f_r$ ) dello strato 1 relativa alle onde S (o P) è pari a:

$$(f_r) = V_s/4H \quad (f_r) = V_p/4H \quad [1]$$

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

Questo effetto è sommabile, anche se non in modo lineare e senza una corrispondenza 1:1.

Ciò significa che la curva H/V relativa ad un sistema a più strati contiene l'informazione relativa alle frequenze di risonanza (e quindi allo spessore) di ciascuno di essi, ma non è interpretabile semplicemente applicando l'equazione [1].

L'inversione richiede l'analisi delle singole componenti e del rapporto H/V, che 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 situazione, nel caso di un suolo reale, è spesso più complessa. Innanzitutto il modello di strato piano al di sopra del bedrock si applica molto raramente. Poi, la velocità aumenta con la profondità, possono esserci eterogeneità laterali importanti ed infine la topografia può non essere piana. L'inversione delle misure di tremore a fini stratigrafici, nei casi reali, sfrutta quindi la tecnica del confronto degli spettri singoli e dei rapporti H/V misurati con quelli 'sintetici', cioè con quelli calcolati relativamente al campo d'onde completo di un modello 3D. L'interpretazione è tanto più soddisfacente, e il modello tanto più vicino alla realtà, quanto più i dati misurati e quelli sintetici sono vicini.

In questo lavoro i segnali sono stati analizzati non solo attraverso i rapporti spettrali H/V ma anche attraverso gli spettri delle singole componenti, e nei casi più significativi, le curve HVSr sono state invertite secondo la procedura descritta da Arai e Tokimatsu (2004).

### PROCEDURA ANALISI DATI

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

1. le curve HVSr, ottenute col software Grilla in dotazione al tromografo TROMINO, 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 a 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).



**RISULTATO INDAGINE HVSR****AMANDOLA (FM), OSPEDALE GEOL. MAURO FILANTROPI**

Strumento: TEP-0064/01-10

Inizio registrazione: 24/11/14 14:32:52 Fine registrazione: 24/11/14 14:52:53

Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

Dato GPS non disponibile

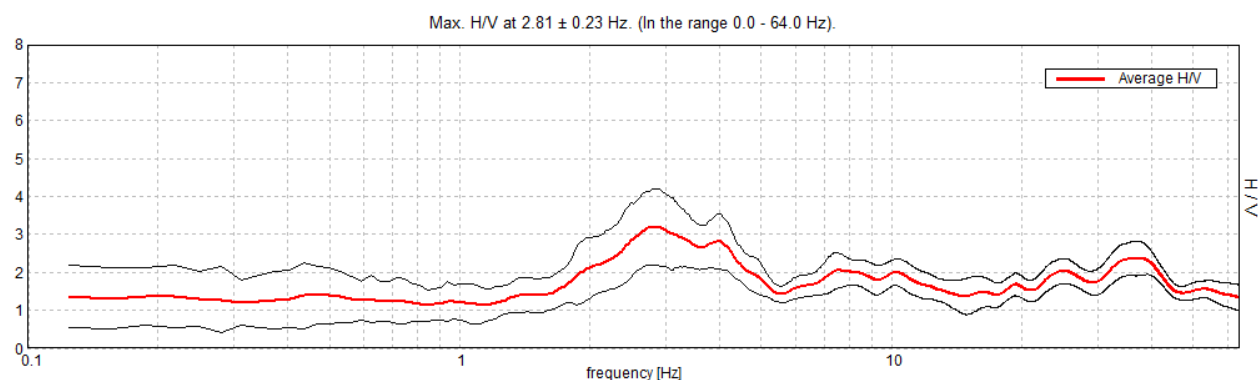
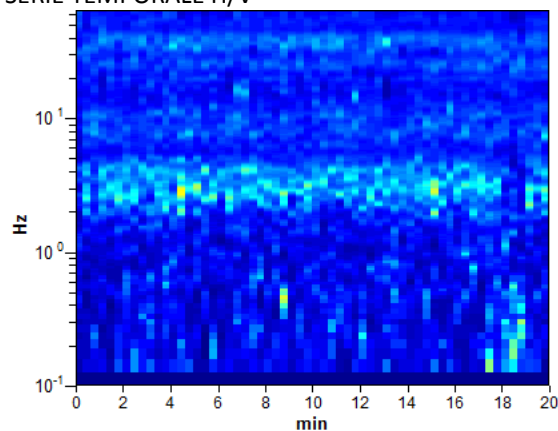
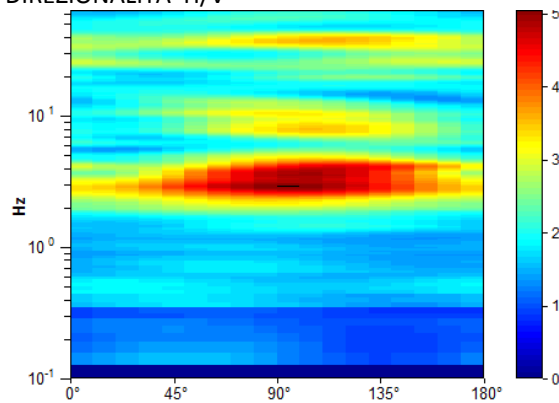
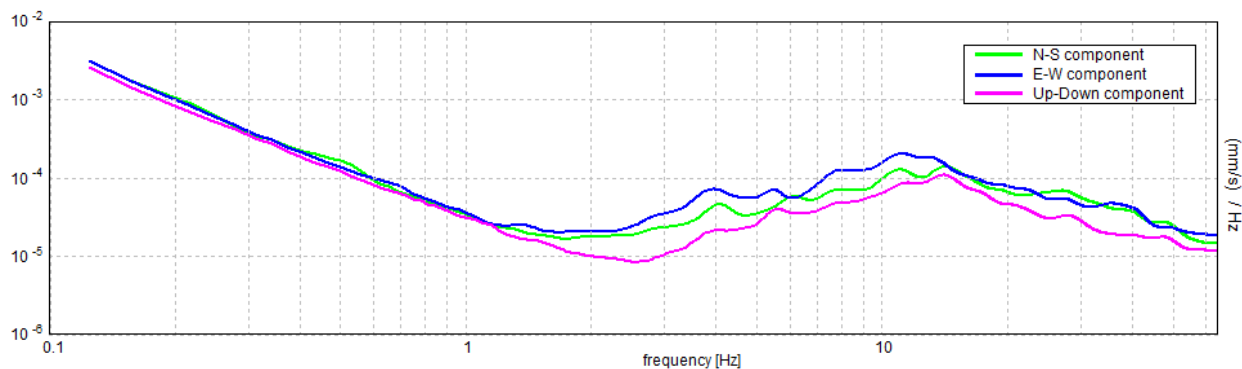
Durata registrazione: 0h20'00". Analizzato 100% tracciato (selezione manuale)

Freq. campionamento: 128 Hz

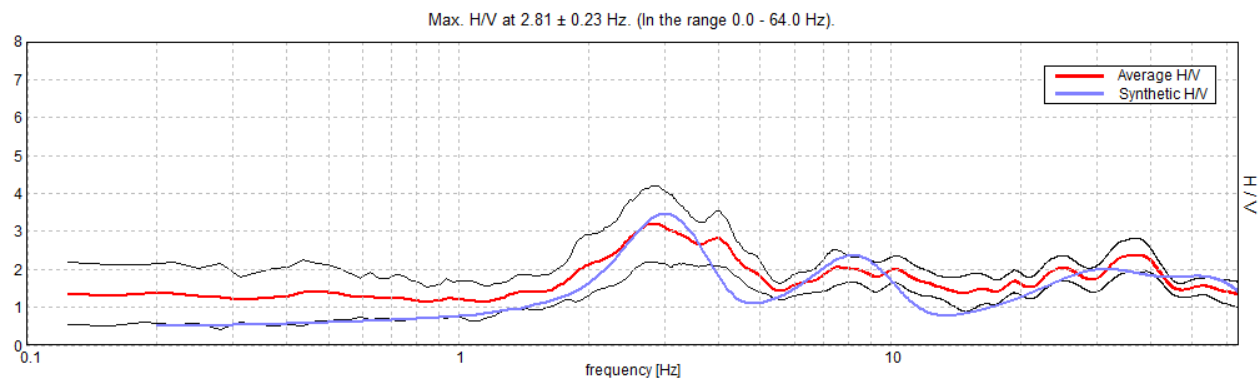
Lunghezza finestre: 20 s

Tipo di lisciamento: Triangular window

Lisciamento: 10%

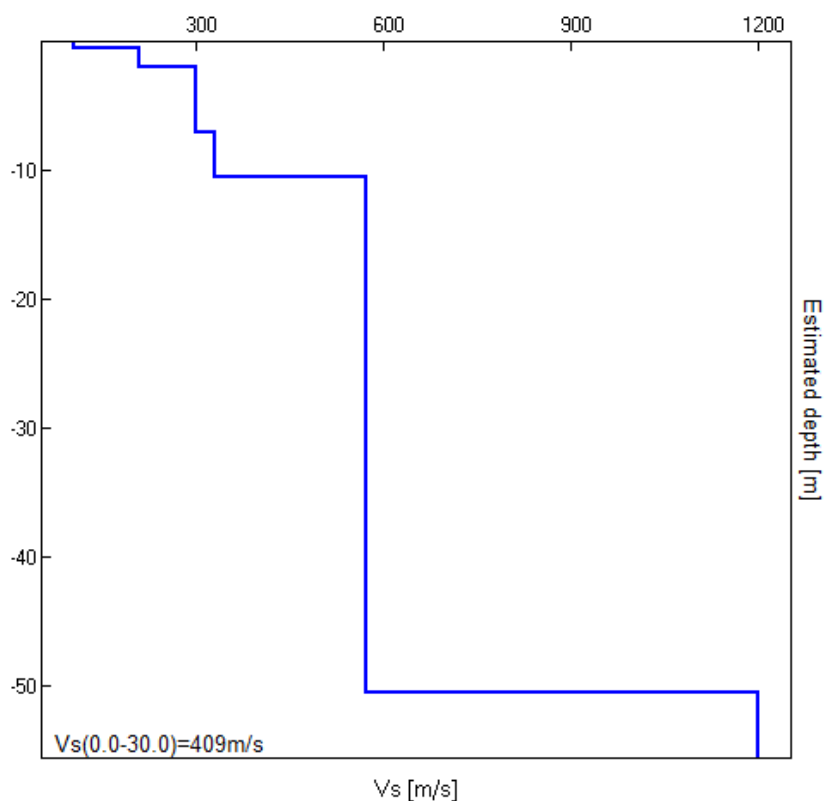
**RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE****SERIE TEMPORALE H/V****DIREZIONALITA' H/V****SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI**

## H/V SPERIMENTALE vs. H/V SINTETICO



Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Rapporto di Poisson
0.50	0.50	105	0.42
2.00	1.50	210	0.40
7.00	5.00	300	0.38
10.50	3.50	330	0.33
50.50	40.00	572	0.30
inf.	inf.	1200	0.27

Vs(0.0-30.0)=409m/s



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

**Picco H/V a  $2.81 \pm 0.23$  Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).**

**Criteri per una curva H/V affidabile**

[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

$f_0 > 10 / L_w$	$2.81 > 0.50$	OK	
------------------	---------------	----	--

$n_c(f_0) > 200$	3375.0 > 200	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Superato 0 volte su 136	OK	
<b>Criteri per un picco H/V chiaro</b> [Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]			
Esiste $f^-$ in $[f_0/4, f_0]$   $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	1.719 Hz	OK	
Esiste $f^+$ in $[f_0, 4f_0]$   $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	5.25 Hz	OK	
$A_0 > 2$	3.19 > 2	OK	
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.08335  < 0.05$		NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.23441 < 0.14063$		NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$1.0045 < 1.58$	OK	

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

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



Foto 2 - ubicazione indagine HVSR.

**CONCLUSIONI**

Dall'analisi dell'indagine MASW, effettuata mediante geophysical software WinMASW (vers. 4.1.1 pro – EliaSoft), sono stati ottenuti risultati che appaiono compatibili con il modello geofisico del sottosuolo elaborato.

Per quello che concerne il  $V_{s30}$  l'analisi ha evidenziato il seguente valore di:

$V_{s30}$	498 m/s
-----------	---------

Con tale valore di  $V_{s30}$  in base alla normativa vigente si può classificare l'area in oggetto come tipo di suolo:

tipo di suolo	B
---------------	---

Dall'analisi della registrazione HVSR (eseguita con software Grilla vers.6.2beta - 2012) nello spettro H/V è possibile osservare che non esiste un **picco massimo di frequenza**, che soddisfa i criteri Sesame (2005) nella loro totalità.

La registrazione presenta picchi di frequenza con caratteristiche tali da soddisfare comunque la validità della registrazione ottenuta (primi tre "criteri Sesame"), e rispettare l'aspetto statistico del secondo gruppo dei criteri Sesame (2005).

Quindi dall'analisi dello spettro H/V è possibile osservare il seguente **picco massimo di frequenza**:

registrazione H1 a  $2.81 \pm 0.23$  Hz;

Il relativo **periodo di oscillazione T** corrispondente è:

registrazione H1 a **0.3558 s**;

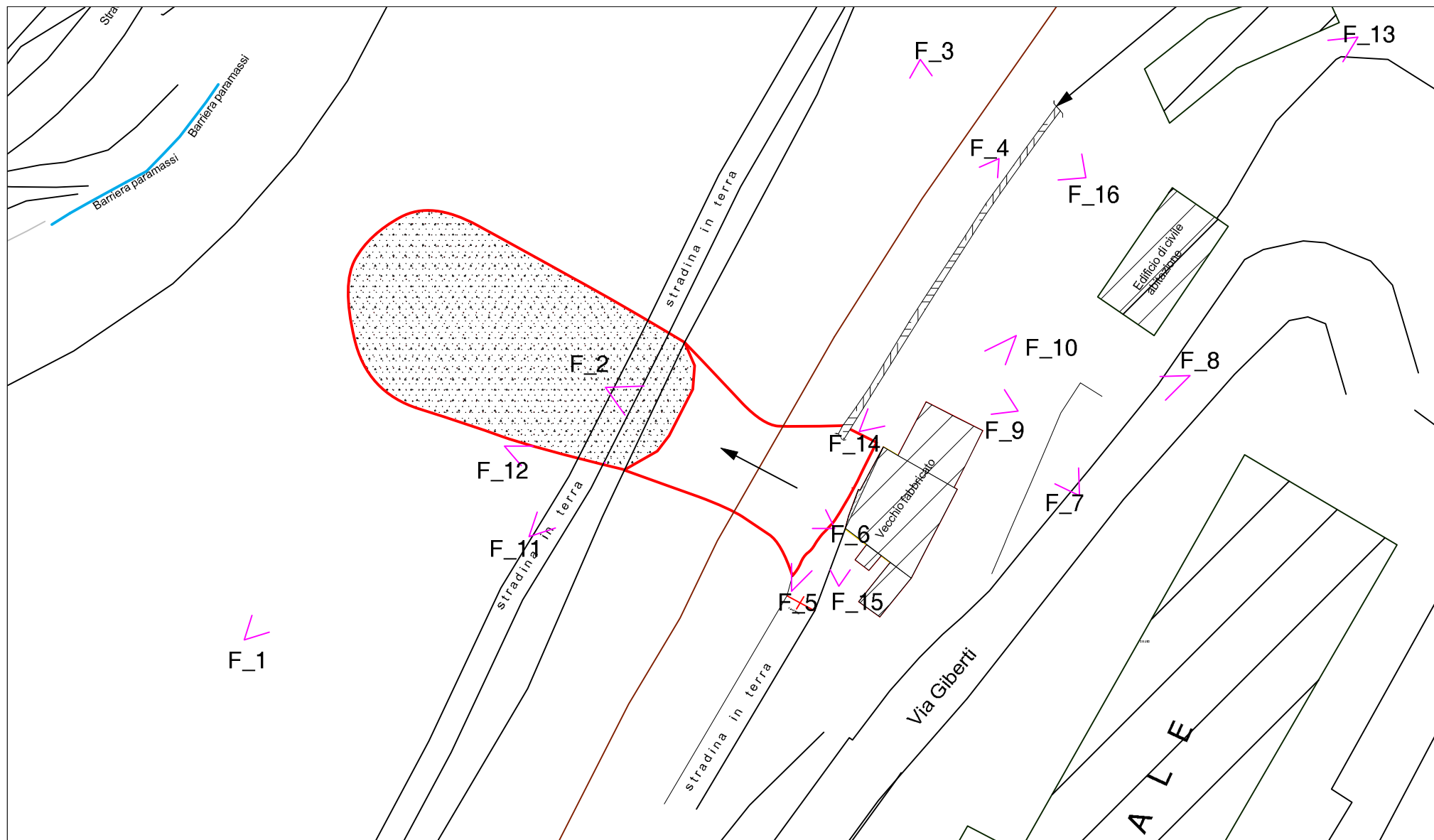
Per quello che concerne il  $V_{s30}$ , approssimando la curva H/V sintetica a quella sperimentale, si è ottenuto un valore di  $V_{s30}$  pari a **409 m/s**.

I risultati ottenuti e sopra riportati appaiono concordanti in entrambe le indagini.

**Elaborazione - GeA S.n.c.**  
**Dott. Geol. Massimo Leonelli**

**GeA s.n.c.**  
Via del Commercio, 3 - Tel. 0736.344383  
63100 ASCOLI PICENO  
Partita IVA: 01862210440





Ubicazione degli scatti fotografici

## DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



Foto 1 - Vista della frana da Sud-Ovest.



Foto 2 - Vista della frana da Nord-Ovest.



## DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



Foto 3 - Vista del muro di cinta.



Foto 4 -Vista del muro di cinta.



## DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



Foto5 - Vista del versante in frana da Sud.



Foto6 - Vista del versante in frana da Sud-est.



## DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



Foto 7 - Sondaggio a carotaggio continuo.

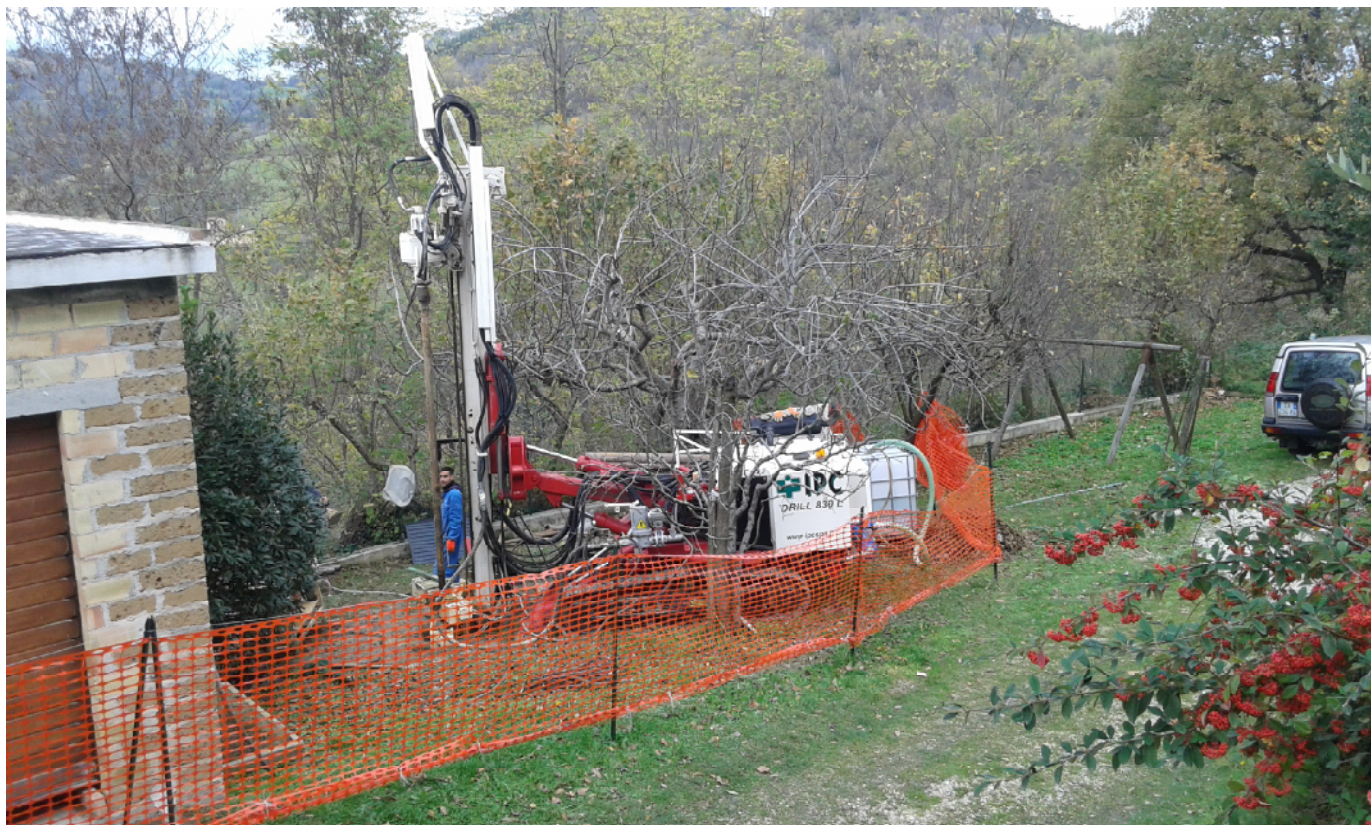


Foto 8 - Sondaggio a carotaggio continuo



## DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



Foto 9 - Indagine penetrometrica CPT\_1.



Foto 10 - Indagine penetrometrica CPT\_1.



## DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



Foto 11 - Prpva penetrometrica DPSH\_1.



Foto 12 - Prova penetrometrica DPSH\_1.



## DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



Foto 13 - Prova sismica di tipo MASW.



Foto 14 - Prova sismica di tipo MASW.



## DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



Foto 15 - Prova sismica con Tromino (HVRs).



Foto 16 - Particolare della linea di trazione generata sul terreno al momento del crollo del muro di cinta (dicembre 2013).