



PROVINCIA DI FERMO
SERVIZIO GENIO CIVILE E PROTEZIONE CIVILE



**COMUNE DI
MONSAMPIETRO MORICO**

CONVENZIONE DI AVVALIMENTO

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

(DGR 306 del 17/03/2014 Approvazione Programma 2014 degli Interventi di manutenzione idraulica e difesa del suolo
e Decreto n. 27/DDS del 29/04/2014 del Dirigente della Difesa del Suolo e Autorità di Bacino)

INTERVENTO DI SISTEMAZIONE FRANA LOCALITA' MONTANELLE

PROGETTO ESECUTIVO

IMPORTO COMPLESSIVO DEL PROGETTO € 150.000,00

ELABORATO

RELAZIONE GEOLOGICO-TECNICA

N. ELAB.

3

PROGETTISTI

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



DATA

Gennaio 2015

IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO
IL DIRIGENTE Ing. Stefano BABINI



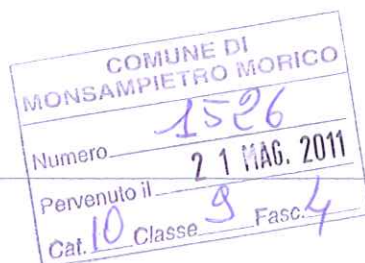
Studio di Geologia
Tecnica ed ambientale

Via Luigi Galvani n.19
63822 Porto S. Giorgio FM
Tel Fax 0734 679003
Tel 347 8679039
E-mail grazianociferri@alice.it

COMUNE DI MONSAMPIETRO MORICO

DISSESTO TRATTO STRADALE

via Montanelle



RELAZIONE GEOLOGICO-TECNICA

Committente: Comune di Monsampietro Morico

Tecnici incaricati: Dr Geol Graziano Ciferri

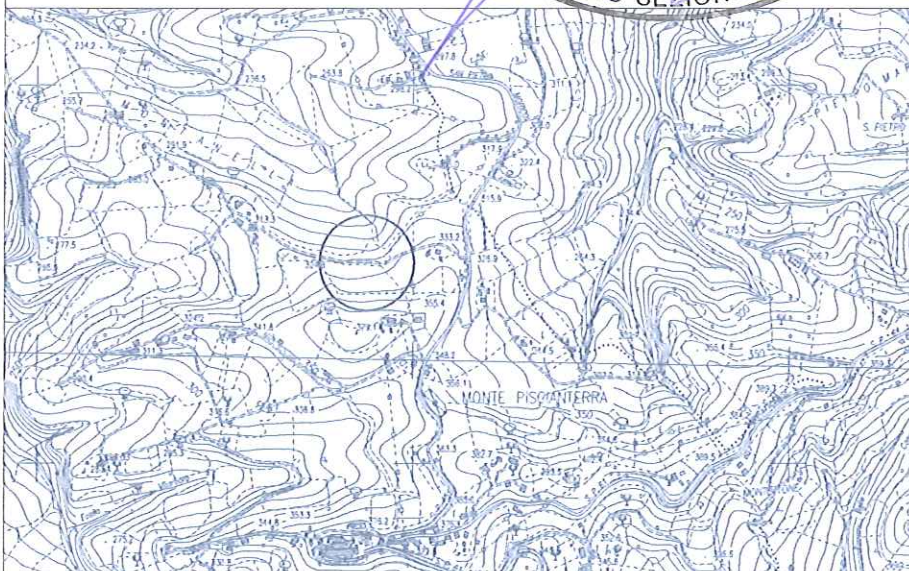
Codice Fiscale: CFR G7N 63P01 G920H
Partita IVA: 01372470441



Dr Geol Germano Cicconi
via Bachelet n.1 - 63900 Fermo



Maggio 2011



INDICE

1 PREMESSA E METODOLOGIA D'ANALISI	3
2 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO ED AMBIENTALE.....	4
3 CARATTERISTICHE GEOLOGICHE.....	6
3.1 Unita' litostratigrafiche.....	7
4 CARATTERISTICHE GEOMORFOLOGICHE.....	8
5 CARATTERISTICHE IDROLOGICHE ED IDROGEOLOGICHE.....	11
6 CARATTERISTICHE LITOTECNICHE	11
7 SISMICITA' DELL'AREA	14
8 AZIONE SISMICA.....	14
8.1 Analisi sismica del sito	15
8.2 Categoria di sottosuolo.....	16
8.3 Condizioni topografiche.....	16
8.4 Valutazione dell'azione sismica	17
9 VERIFICA DELLA STABILITA'.....	19
10 ANALISI DEI DISSESTI E DELLE CAUSE	21
11 CONCLUSIONI	22
11.1 Interventi proposti.....	22

ALLEGATI nel testo:

- COROGRAFIA	scala 1:10.000
- CARTA DEL RISCHIO IDROGEOLOGICO	scala 1:10.000
- CARTA GEOLOGICA	scala 1:10.000
- PLANIMETRIA GENERALE	scala 1:500
- CARTA GEOMORFOLOGICA	scala 1:500
- SEZIONE LITOSTRATIGRAFICA A – A'	scala 1:200
- SEZIONE LITOSTRATIGRAFICA B – B'	scala 1:200
- STRATIGRAFIA S1	
- DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA S1	
- STRATIGRAFIA S2	
- DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA S2	
- ELABORATI PROVE PENETROMETRICHE P1, P2	
- VERIFICA DELLA STABILITA'	
- INDAGINE SISMICA	

1 PREMESSA E METODOLOGIA D'ANALISI

Su incarico dell'Amministrazione comunale di Monsampietro Morico è stata eseguita un'indagine geologica e geotecnica nell'area interessata da dissesto del tratto stradale via Montanelle e finalizzata alla fattibilità geologica e geotecnica per il nuovo tracciato stradale.

L'area in oggetto ricade nella porzione sud del territorio comunale di Monsampietro Morico e censita dal N.C.T. nel foglio n. 6. (cfr.: *Corografia, scala 1:10.000*)

L'indagine è stata eseguita in conformità con la vigente normativa tecnica per le edificazioni in zone sismiche ai sensi della L. n. 64 del 02/02/1974, decreto attuativo (D.M. 11/03/1988 e Circolare LL.PP. n. 30483 del 02/09/1988) e Norme Tecniche per le costruzioni in zone sismiche, D.M. del 16/01/1996 e D.M. del 14/01/2008.

Tale indagine è stata diretta ad approfondire la caratterizzazione e la modellazione geologica del sito, la caratterizzazione fisico-meccanica dei terreni e la definizione del modello geotecnico del sottosuolo, per consentire al progettista una corretta scelta ed esecuzione delle opere per la realizzazione del nuovo tratto stradale.

Il rilievo ha avuto lo scopo di accertare la ricostruzione stratigrafica del sottosuolo, la presenza della falda acquifera e la parametrizzazione delle proprietà fisico-meccaniche dei terreni.

La metodologia adottata per lo svolgimento della presente indagine è stata così articolata:

Ricerca bibliografica

Dalla ricerca bibliografica sono stati acquisiti dati esistenti relativi ad indagini eseguite nell'area in oggetto; gli studi e le pubblicazioni consultate sono:

- *L'AMBIENTE FISICO DELLE MARCHE - autori vari* - Editto a cura dell'Assessorato Urbanistica-Ambiente della Regione Marche; 1991
- *LA GEOLOGIA DELLE MARCHE - Centamore E., Deiana G.* - Studi geologici camerti; numero speciale in occasione del 73° Congresso della Società Geologica Italiana; Roma, 1986.
- *CARTA DEL RISCHIO IDROGEOLOGICO* scala 1:10.000 del "Piano stralcio di bacino per l'assetto idrogeologico (PAI)" L. 183/89- L. 365/00 -L.R. 13/99 redatto dalla regione Marche -Autorità di Bacino Regionale.
- *CODICE DI BUONA PRATICA AGRICOLA* - D.M. del 19 aprile 1999.
- *NORME FUNZIONALI E GEOMETRICHE PER LA COSTRUZIONE DELLE STRADE* – D.M. 5 Novembre 2001.
- *COSTRUZIONE E MANUTENZIONE DELLE STRADE – TECNICA DI IMPIEGO DELLE TERRE* – norma CNR-UNI 10006/63

Rilievo di superficie

Al fine della caratterizzazione e modellazione geologica del sito è stato eseguito un rilievo geologico. L'analisi geologica e geomorfologica di dettaglio, eseguita attraverso il rilievo delle forme e dei depositi ad esse connessi, ha permesso la ricostruzione del modello geologico e morfogenetico in cui ricade l'area in esame e formulare le tendenze evolutive future in relazione sia alle caratteristiche litostratigrafiche e sia alla dinamica geomorfologica.

Ricostruzione litostratigrafica e caratterizzazione fisico-meccanica dei terreni

La ricostruzione litostratigrafica e la caratterizzazione fisico-meccanica dei terreni è avvenuta per mezzo dell'esecuzione di due sondaggi geognostici e due prove penetrometriche statiche eseguite con penetrometro Pagani TG 63 (200 kN). Tali dati hanno consentito la ricostruzione del modello geotecnico del sottosuolo con la caratterizzazione sedimentologica e stratigrafica dei terreni (*natura, colore, qualità, ecc.*) e la valutazione dello spessore e la geometria dei litotipi.

Indagine geofisica

L'indagine geofisica è stata eseguita al fine della caratterizzazione sismica del sottosuolo per valutare la velocità di propagazione delle onde di taglio (V_{s30}) come richiesto dalle N.T.C. del 14/01/2008 ed avvalendosi della metodologia basata sulla tecnica di Nakamura e sul rapporto spettrale H/V.

Valutazione delle caratteristiche idrogeologiche.

Le caratteristiche sedimentologiche e stratigrafiche dell'area hanno consentito la caratterizzazione idrogeologica del sito in oggetto.

Stesura della presente relazione esplicativa e relative carte tematiche.

2 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO ED AMBIENTALE

L'area oggetto di studio ricade geograficamente nei seguenti fogli cartografici:

- foglio n. 314 sezione 314110 della Carta Tematica della Regione Marche in scala 1:10.000;
- foglio n. 125 quadrante III della C. T. R. scala 1:25.000.

Il tratto stradale in oggetto è ubicato a Sud del territorio comunale di Monsampietro Morico, l'ambiente è collinare ed è costituito da case sparse isolate e da un intenso e diffuso sviluppo delle attività agricole.



Ubicazione tratto stradale su foto aerea

Dal punto di vista climatologico l'area può essere inserita nel tipo "*Adriatico Centro-Meridionale*", secondo la classifica adottata dal Mori (1957), che suddivide l'intera regione in tre tipi climatici in rapporto all'altitudine e alla distanza dalla costa, . Nel complesso si tratta di un clima mite con inverni non molto freddi anche se alquanto rigidi, dove si registrano delle temperature minime prossime allo zero durante i mesi invernali, ed estati mediamente calde ed asciutte, nel corso delle quali, nei mesi di Luglio e Agosto, si raggiungono temperature superiori a 30° C. Nel complesso la porzione di territorio in esame è caratterizzata, dal punto di vista pluviometrico, da una piovosità che mostra generalmente dei picchi in corrispondenza delle stagioni intermedie, in accordo con quanto accade nelle regioni dell'Italia centrale (Mosiello e Piccinini, 1982; Enea-Ogs.1987).

Le analisi delle precipitazioni della stagione invernale 2010 – 2011, hanno fatto registrare (dati ASSAM) un totale medio di circa 207 mm con leggero incremento, circa il 13%, rispetto al 1961 – 2000, dovuto alle piogge di gennaio, infatti, 83 mm di pioggia media caduta nel primo mese dell'anno corrispondono a + 44 % rispetto alla norma. Durante gli ultimi giorni del mese di febbraio una lingua di area fredda polare insinuatasi nei Balcani ha emesso un nucleo depressionario che si è posto in rotazione dirigendosi verso l'area basso tirrenica, sviluppando fenomeni precipitativi di prolungata consistenza nelle Marche, localizzati sull'entroterra ascolano a risalire poi lungo la fascia costiera del fermano e maceratese.

Nell'area colpita sono stati segnalati un gran numero di smottamenti, allagamenti diffusi, spesso

causati dall'esondazione dei fiumi, causa di ingenti danni e disagi.

L'apice del fenomeno si è collocato fra il 1 e il 2 marzo. Le stazioni di rilevamento della rete agrometeorologica dell'ASSAM – Regione Marche presenti in zona hanno registrato piogge giornaliere di 182 mm a Montedinove, 181 mm a Maltignano, 155 mm a Castel di Lama nel primo giorno del mese, mentre gli apici del giorno successivo sono stati rilevati a Fermo e Montecosaro, entrambe con un totale di 104 mm.

3 CARATTERISTICHE GEOLOGICHE

Nella regione marchigiana è presente una successione sedimentaria pressoché continua dal Trias superiore al Neogene, che poggia su un basamento cristallino ercinico in evoluzione continua fino al Pleistocene.

Tale successione presenta variazioni di spessori e di facies che riflettono quelle spazio-temporali degli ambienti di sedimentazione (Centamore e Micarelli, 1991).

Nell'area oggetto di studio, ubicata nell'estremo settore sud-orientale del Bacino Marchigiano Esterno, affiorano la successione di sedimenti terrigeni del ciclo plio-pleistocenico.

Il susseguirsi nel corso del tempo di molteplici ambienti di sedimentazione, di concerto con l'evoluzione tettonica quaternaria e le azioni marine trasgressive e regressive combinate alle variazioni climatiche, portarono all'instaurarsi di processi erosivi lineari alternati a fasi di sedimentazione e/o a prevalente erosione laterale. La disposizione strutturale dei litotipi si inserisce dunque nell'ampia "Monoclinale" regionale nel dominio del Bacino Marchigiano Esterno, la quale consiste in una successione di strati debolmente inclinati (11°) ed immergenti verso E/N-E.

Nell'area in oggetto il sottosuolo è costituito da una coltre di copertura di natura coesiva sovrastante la formazione Pelitico-Arenacea di epoca Plio-Pleistocenica. Le unità litostratigrafiche riconosciute e presenti nell'area sono pertanto riferibili a depositi continentali di origine colluviale, sovrastanti i depositi di margine e di riempimento di paleocanali sottomarini che a loro volta mascherano i depositi da neritici ad epibatiali di rilevante potenza.

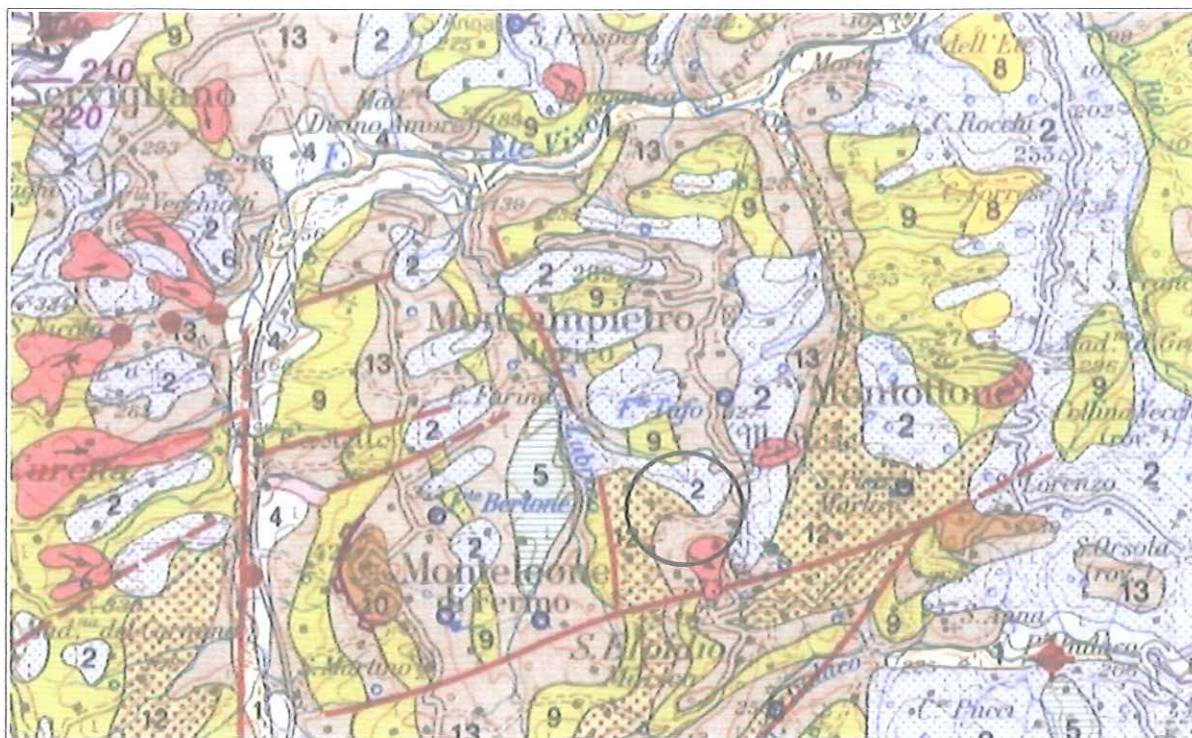


Fig. 1: CARTA GEOLOGICA – GEOMORFOLOGICA - IDROGEOLOGICA. Stralcio planimetrico tratto da L'AMBIENTE FISICO DELLE MARCHE - autori vari - Edito a cura dell'Assessorato Urbanistica-Ambiente della Regione Marche; 1991
 2 - Detriti di falda; depositi di glaciazioni ed eluvio-colluviali (olocene-Pleistocene sup-medio). 9 – Corpi prevalentemente arenaceo-pellici in strati da sottili a spessi (Pleistocene inferiore – Pliocene medio). 13 – depositi pellici (pleistocene inferiore – Pliocene medio).

3.1 Unità litostratigrafiche

Nell'area sono presenti in superficie i *Depositi Continentali* riconducibili cronologicamente all'*Olocene* ed in profondità, per interdigitazione stratigrafica, l'*Unità Pelitico-Arenacea* riconducibile cronologicamente al *Pleistocene inferiore – Pliocene medio*.

La successione stratigrafica dell'area in oggetto, dai depositi recenti ai depositi antichi, è la seguente:

Depositi continentali

Depositi antropici (Terreno di riporto) – sono costituiti da sedimenti eterogenei da incoerenti a debolmente coesivi, derivanti dalle operazioni di scavo e di sbancamento. Nella zona in esame lo spessore rilevato è di 2,70 m in corrispondenza del sondaggio S1.

Depositi eluvio-colluviali. La composizione litologica di tali depositi è dovuta a processi di alterazione e disaggregazione, con successiva risedimentazione dei terreni appartenenti al substrato. I processi di alterazione derivano dall'azione prolungata degli agenti esogeni, al dilavamento delle acque meteoriche ed alla gravità.

I depositi sono costituiti da limi sabbiosi e limi argillosi, con assenza di stratificazione, gli spessori tendono ad aumentare a quote inferiori in prossimità della valle. Lo spessore massimo rilevato è di 13,0 m in corrispondenza del sondaggio S2. Olocene Pleistocene superiore – medio

Depositi marini

Unità Pelitico-Arenacea del Pleistocene inferiore – Pliocene medio. L'unità è costituita da alternanze di argille siltose grigio-azzurre e strati sabbiosi torbiditici, a granulometria medio-fine. Ogni evento è rappresentato da una coppia pelitico-arenacea, con rapporto sabbia/argilla di circa 0,5. Gli strati sabbiosi si presentano gradati uniformemente. Tali sedimenti sono indicativi di una deposizione avvenuta in ambiente di piana sottomarina o di bordo rialzato di bacino.

La porzione di tale unità risulta alterata in superficie, il grado di alterazione e fratturazione diminuisce gradualmente con la profondità.

4 CARATTERISTICHE GEOMORFOLOGICHE

La porzione di territorio in oggetto si sviluppa lungo il versante di una dorsale collinare con un asse lungo la direzione Est – Sud e ricade all'interno del bacino idrografico del fosso di Vordo, tributario di destra idrografica del fiume Ete Vivo.

La struttura collinare, così come l'intero assetto geomorfologico generale della zona, deriva dall'azione della tettonica e dalla natura litologica (grado di erodibilità) dei litotipi presenti.

La quota altimetrica è di 325 m sul livello medio del mare.

Il tracciato stradale in oggetto non rientra in area soggetta a pericolosità ed a rischio idrogeologico gravitativo per fenomeni franosi; aree individuate negli strumenti urbanistici comunali e in altri studi specifici di settore (C.A.R.G., S.C.A.I., R.I.M., studi GNDCl) ed acquisite nel Piano stralcio di bacino per l'assetto idrogeologico (PAI), approvato con D.C.R. n.116 del 21.01.2004.

(cfr.: *Carta del rischio idrogeologico, scala 1:10.000*).

Dal punto di vista morfologico il versante, esteso per una lunghezza di circa 300 m è interessato da un movimento gravitativo nel tratto mediano, per una lunghezza massima di 40 m coincidente con la sede stradale via Montanelle.

Il versante ha una pendenza regolare a monte ed a valle della strada pari al 29 %, mentre in corrispondenza della sede stradale l'assetto morfologico è costituito da scarpate e superfici con lievi pendenze.

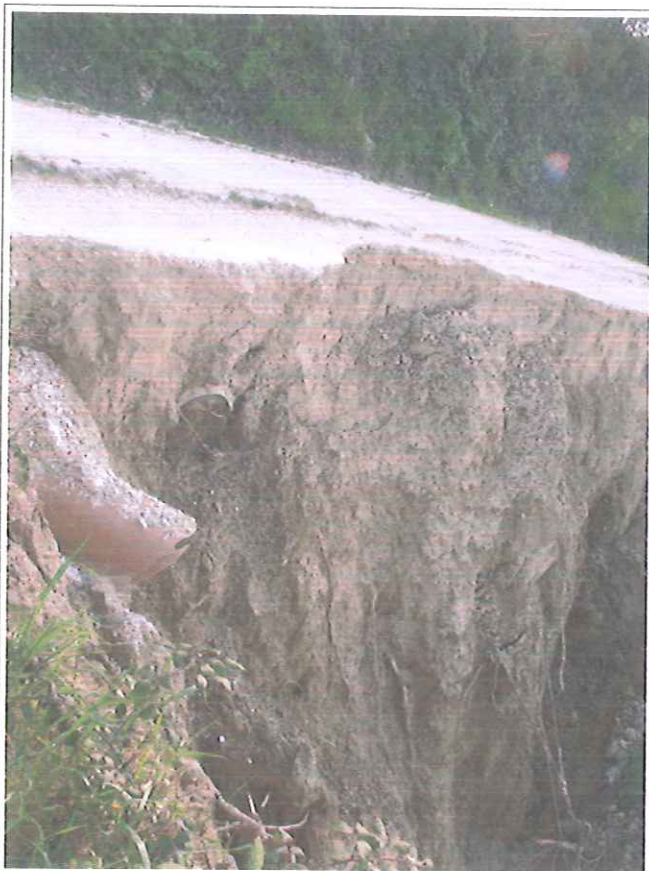
A monte del tracciato stradale è presente una superficie sub-pianeggiante digradante verso Nord, ciò a testimonianza di un processo di sedimentazione lungo il ciglio della scarpata a monte della strada, avvenuta negli ultimi decenni.

La genesi è legata con molta probabilità a:

- mancanza di regimazione delle acque superficiali, libere di ruscellare lungo il pendio;
- naturale predisposizione dell'assetto litostratigrafico del sottosuolo, caratterizzato da una coltre disposta su un pendio suscettibile a fenomeni di saturazione;
- costante processo di alterazione ad opera dei fattori esogeni.



In corrispondenza del tracciato stradale è presente un movimento gravitativo, che si sviluppa per una lunghezza di circa 95,0 m, attivatosi i primi giorni del mese di marzo ed evolvendosi fino a raggiungere la completa interruzione del tratto stradale.



Le forme riconducibili al processo morfodinamico e cartografate nella carta geomorfologica allegata, sono:

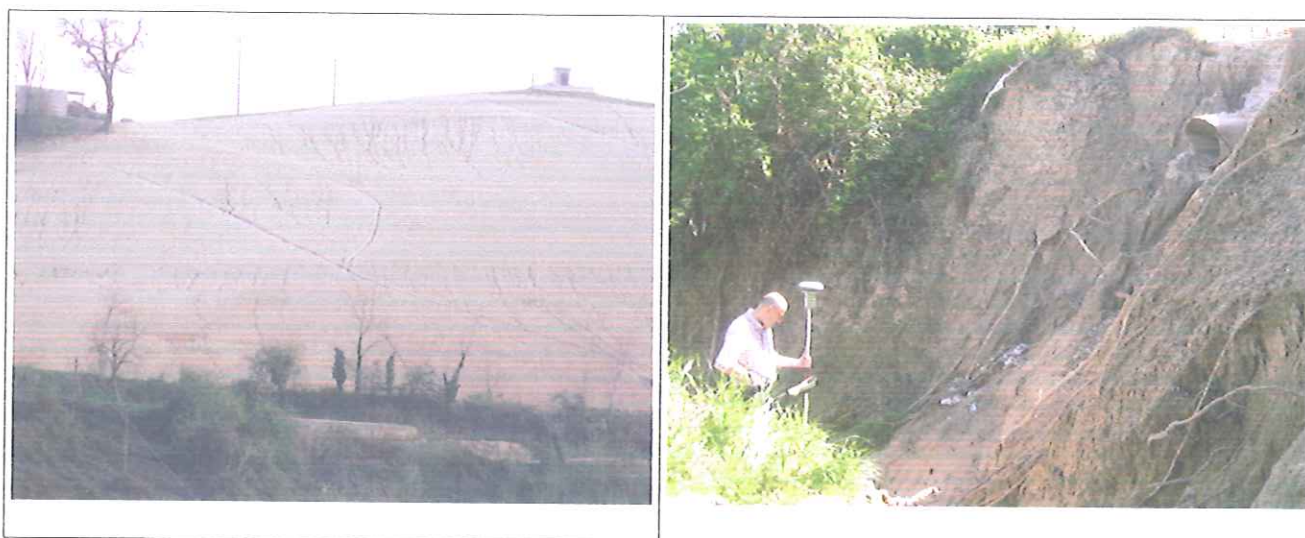
- **corona di frana**, con estensione di 95,0 m e con una scarpata principale di altezza pari a 3,0 m;
- **gradini di frana**, con scarpate secondarie di altezza variabile da 1,0 a 2,0 m;
- **area di accumulo** per scorrimento roto-traslazionale;
- **superficie di rottura o movimento**, ubicata alla profondità massima di circa 4,0 – 5,0 m (cfr.: Sezione litostratigrafica A – A' e B – B', scala 1:200);
- **materiale mobilizzato**, con volume stimato tra 5.000 – 10.000 mc.

Il movimento franoso cartografato nella tavola allegata è classificabile come scorrimento roto-traslazionale (*Vames*), di rapida evoluzione.

Sono presenti, inoltre, a causa dell'azione energetica delle acque correnti superficiali, i seguenti fenomeni:

- erosione concentrata lungo il fosso nel tratto a valle della strada, con scarpate di altezza massima di 4,0 m;
- ristagno d'acqua superficiale a causa della non regolare deflusso delle acque di scorrimento provenienti dal versante a monte della sede stradale;
- ruscellamento diffuso lungo i versanti.

(cfr.: *Carta geomorfologica*, scala 1:500)



5 CARATTERISTICHE IDROLOGICHE ED IDROGEOLOGICHE

Lo schema idrogeologico dell'area in oggetto, in stretta dipendenza tra assetto litostrutturale e circolazione idrica, è caratterizzato da un complesso costituito dall'unità pelitico-arenacee. In tale complesso la circolazione idrica è modesta e limitata ai livelli sabbiosi. A tali litotipi sono associate delle falde che alimentano modeste sorgenti emergenti lungo i versanti delle colline (antica fonte presente in corrispondenza del sondaggio S1) al contatto tra corpi arenaceo-sabbiosi e le sottostanti argille. La permeabilità di questi litotipi, costituiti da sabbie medio-fini, presentano valori medi.

Idrologia

L'evoluzione del sistema idrografico superficiale risulta fortemente condizionato dai fenomeni neotettonici avvenuti a partire dal Pliocene inferiore-medio che hanno favorito il rapido approfondimento dell'intero reticolo idrografico.

Il reticolo idrografico dell'area è caratterizzato dal fosso Vordo, tributario di destra idrografica del fiume Ete Vivo e da un reticolo antropico secondario, costituito da vallecole e solchi artificiali atti alla raccolta e lo smaltimento delle acque meteoriche in eccesso.

Idrogeologia

Per quanto riguarda la circolazione idrica profonda, viste le caratteristiche litologiche e tessiturali dei terreni e la sovrapposizione stratigrafica di litotipi poco permeabili (limi sabbiosi) su litotipi impermeabili e/o scarsamente permeabili (argille), esistono condizioni favorevoli per la formazione di una circolazione idrica ipogea stagionale, coincidente nei periodi di intense precipitazioni meteoriche. Durante le perforazioni dei sondaggi sono state rilevate percolazioni idriche nel sondaggio S1, alle profondità di 3,50 m, 6,0 m e 7,50 m, mentre nel sondaggio S2 non sono state rilevate percolazioni idriche.

6 CARATTERISTICHE LITOTECNICHE

Al fine di ricostruire la successione litologica e la parametrizzazione geotecnica dei terreni sono state eseguite due prove penetrometriche statiche e due sondaggi geognostici.

(cfr.: *Carta geomorfologica, scala 1:500*)

Le caratteristiche geotecniche dei terreni sono state desunte dall'interpretazione dei dati ottenuti dall'esecuzione di prove effettuate in sito, in dettaglio sono state eseguite prove di resistenza a compressione semplice (ELL) tramite pocket penetrometer (ST-308) sui campioni di terreno prelevati durante l'esecuzione dei sondaggi, l'andamento dei valori ottenuti è piuttosto regolare dalla superficie verso la profondità, rilevando un aumento di resistenza in corrispondenza della formazione con valori

sempre superiori a 5.0 kg/cmq, i valori rilevati con le profondità relative sono riportati nelle stratigrafie allegate. (cfr.: *Stratigrafia S1-S2*)

Le prove penetrometriche statiche, eseguite tramite penetrometro statico Pagani TG 63 (200kN), consentono dal punto di vista qualitativo l'individuazione di strati di terreno con bassa consistenza, mentre, dal punto di vista quantitativo consentono una stima del valore della resistenza al taglio in condizioni di drenaggio impedito nei terreni coesivi (coesione) e la valutazione dello stato d'addensamento e dell'angolo d'attrito nei terreni incoerenti (D_r e ϕ).

(cfr.: *Elaborati prove penetrometriche P1 – P2*)

I parametri geotecnici di seguito riportati sono stati ricavati dall'elaborazione e dalla correlazione dei dati sperimentali secondo l'interpretazione di Terzaghi, D'Appolonia, Sanglerat ed altri autori, che tengono conto della resistenza di rottura dinamica della punta. Inoltre sono stati correlati ad analisi di laboratorio eseguite su terreni simili.

I litotipi rilevati a partire dal piano campagna sono:

a1/a2. Terreno vegetale e di riporto

Il processo pedogenetico in fase di stasi ha permesso la progressiva alterazione con lo sviluppo di un suolo ben evoluto di colore bruno costituito da **limi sabbiosi**, con inclusi elementi vegetali, clasti calcarei eterometrici e trovanti in laterizio. Tale litotipo si presenta a tessitura eterogenea ed alterato dai fattori climatici.

I parametri geotecnici sono:

Peso dell'unità di volume	$\gamma = 1,80 \div 1,85$	g/cmc
Coesione non drenata	$C_u = 0,2 \div 0,4$	kg/cmq
Coesione drenata	$C' = 0,0$	kg/cmq
Angolo d'attrito drenato	$\phi' = 15^\circ \div 17^\circ$	gradi
Modulo edometrico	$E_d = 35 \div 45$	kg/cmq

b. limi sabbiosi e limi argillosi

Il litotipo, di colore avana-bruno, è costituito da sedimenti a granulometria fine con tessitura eterogenea ed inglobante concrezioni carbonatiche. Sono terreni prevalentemente coesivi con stato di compattezza variabile da moderatamente consistente a consistente (A.G.I. 1977). Tale litotipo è suscettibile di alterare i propri requisiti geotecnici in relazione alla variazione del contenuto naturale d'acqua.

I parametri geotecnici sono:

Peso dell'unità di volume	$\gamma = 1,90 \div 2,0$	g/cmc
Coesione non drenata	$C_u = 0,8 \div 1,3$	kg/cmq
Coesione drenata	$C' = 0,0 \div 0,1$	kg/cmq
Angolo d'attrito drenato	$\varphi' = 23^\circ \div 25^\circ$	gradi
Modulo edometrico	$E_d = 43 \div 69$	kg/cmq

Unità Pelitico-Arenacia,

L'unità è costituita da argille marnoso-siltose di colore grigio stratificate a livelli sabbiosi debolmente cementati, è stata rilevata in superficie la porzione alterata di colore avana-grigio con fratture di decompressione generalmente sub verticali o molto inclinate, dove sono più accentuati i fenomeni d'alterazione. Il grado d'alterazione e di fratturazione diminuisce in maniera graduale con la profondità.

Dal punto di vista geotecnico sono terreni coesivi, sovraconsolidati di consistenza da solido-plastica a semisolida. Lo stato di compattezza rientra in terreni estremamente consistenti (A.G.I. 1977).

c. porzione alterata

Peso dell'unità di volume	$\gamma = 2,0 - 2,1$	g/cmc
Coesione non drenata	$C_u = 1,8 \div 2,2$	kg/cmq
Coesione drenata	$C' = 0,1 \div 0,2$	kg/cmq
Angolo d'attrito drenato	$\varphi' = 24^\circ \div 28^\circ$	gradi
Modulo edometrico	$E_d = 90 - 130$	kg/cmq

d. porzione integra

Peso dell'unità di volume	$\gamma = 2,0 - 2,1$	g/cmc
Coesione non drenata	$C_u = 2,0 \div 2,6$	kg/cmq
Coesione drenata	$C' = 0,1 \div 0,2$	kg/cmq
Angolo d'attrito drenato	$\varphi' = 24^\circ \div 28^\circ$	gradi
Modulo edometrico	$E_d \geq 130$	kg/cmq

Il **valore caratteristico**, inteso come una stima cautelativa del parametro che influenza l'insorgere dello stato limite in considerazione, dovrà essere utilizzato in qualsiasi tipo di verifica geotecnica. Le opere dovranno essere verificate per gli stati limite ultimi che possono presentarsi in conseguenza alle diverse combinazioni delle azioni e per gli stati limite di esercizio, definiti in relazione alle prestazioni attese.

I **valori caratteristici**, sulla base delle "Istruzioni del Consiglio Superiore dei Lavori pubblici", possono essere assunti valori prossimi ai **valori medi** quando nello stato limite considerato è coinvolto un elevato volume di terreno, con possibile compensazione delle eterogeneità.

I **parametri geotecnici medi** sono:

<i>litotipo</i>	<i>Parametri geotecnici medi</i>					
	γ g/cmc	ϕ m (°)	Cu m (Kg/cm ²)	C' m (Kg/cm ²)	E' m (Kg/cm ²)	Eed m (Kg/cm ²)
a	1,84	16	0,3	0,0	-	42
b	2,00	24	1,0	0,1	-	55
c	2,10	26	1,9	0,2	-	110
d	2,10	26	2,4	0,2	-	130

7 SISMICITA' DELL'AREA

In relazione alla normativa sismica O.P.C.M. 3274 del 20.03.03 all. 1 "*criteri per l'individuazione delle zone sismiche, individuazione, formazione e aggiornamento degli elenchi nelle medesime zone*", l'area in esame ricade in zona sismica 2, con valori di accelerazione di picco orizzontale del suolo a_g con probabilità di superamento del 10% in 50 anni, pari a:

<i>zona</i>	<i>Accelerazione orizzontale con probabilità di superamento pari al 10 % in 50 anni [ag/g]</i>	<i>Accelerazione orizzontale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico (Norme Tecniche) [ag/g]</i>
1	> 0,25	0,35
2	0,15 – 0,25	0,25
3	0,05 – 0,15	0,15
4	< 0,05	0,05

8 AZIONE SISMICA

Le azioni sismiche di progetto, in base alle quali valutare il rispetto dei diversi stati limite considerati, si definiscono a partire dalla "*pericolosità sismica di base*" del sito in oggetto.

La pericolosità sismica è definita in termini di accelerazione orizzontale massima attesa a_g in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale, nonché di ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente $S_e(T)$, con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza P_{vR} , nel periodo di riferimento V_R .

Ai fini della normativa le forme spettrali sono state definite, per ciascuna delle probabilità di superamento nel periodo di riferimento P_{VR} , a partire dai valori dei seguenti parametri su sito di riferimento rigido orizzontale:

- a_g accelerazione orizzontale massima al sito;
- F_0 valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- T^*_c periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

Nella presente relazione sono riportati i valori di a_g , F_0 , T^*_c , del sito in oggetto, necessari per la determinazione delle azioni sismiche, in relazione agli stati limite, sia di esercizio che ultimi e alle probabilità di superamento nel periodo di riferimento P_{VR} , cui riferirsi per individuare l'azione sismica agente in ciascuno degli stati limite considerati (D.M. 14/01/2008 tab. 3.2.I).

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, si è fatto riferimento ad un approccio semplificato, che si basa sull'individuazione di categorie di sottosuolo di riferimento (D.M. 14/01/2008 tab. 3.2.II e 3.2.III) e categorie di condizioni topografiche (D.M. 14/01/2008 tab. 3.2.IV).

8.1 Analisi sismica del sito

L'analisi sismica del sito ha il fine di caratterizzare sismicamente il sottosuolo e, in particolare, individuare le discontinuità sismiche nonché ricostruire la profondità del locale sub-strato geologico (o meglio bedrock geofisico). Con tale metodo viene stimata la velocità di propagazione delle onde di taglio (V_{s30}) come esplicitamente richiesto dalle Norme Tecniche per le Costruzioni del 14 Gennaio 2008. L'indagine geofisica proposta si avvale della metodologia basata sulla tecnica di Nakamura e sul rapporto spettrale H/V. La tecnica dei rapporti spettrali o HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio) permette di ottenere i seguenti risultati:

- la **frequenza caratteristica di risonanza del sito** che rappresenta un parametro fondamentale per il corretto dimensionamento delle opere da realizzare;
- la **velocità media delle onde di taglio V_s e V_{s30}** calcolata con un apposito codice di calcolo, tramite la curva H/V;
- la **stratigrafia del sottosuolo** con un range di indagine compreso tra 0.5 e 700 m di profondità, anche se il dettaglio maggiore si ha nei primi 100 m. Il principio su cui si basa la presente tecnica, in termini di stratigrafia del sottosuolo, è rappresentato dalla definizione di strato inteso come unità distinta da quelle sopra e sottostanti per un contrasto d'impedenza, ossia per il rapporto tra i prodotti di velocità delle onde sismiche nel mezzo e densità del mezzo stesso.

Nella tabella di seguito esposta vengono riportati i valori della velocità delle onde di taglio a partire dal piano campagna:

Sismostrati	Profondità (m)	Spessore (m)	Velocità onde di taglio (m/sec)
1	1,20	1,20	86
2	3,80	2,60	185
3	12,50	8,70	250
4	31,70	19,20	380
5	Inf.	0,00	580

Dall'espressione seguente è stata calcolata la velocità equivalente delle onde di taglio entro 30 m di profondità, calcolata dal piano campagna attuale:

$$V_{s,30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{V_{s,i}}}$$

$$V_{s,30} = 276 \text{ m/sec}$$

Nella valutazione della categoria di suolo e nell'approccio alla progettazione strutturale del manufatto in questione, non vanno comunque trascurate le informazioni acquisite con l'indagine sismica circa la frequenza di risonanza del sito. Nel caso specifico è stata individuata una **frequenza caratteristica di risonanza del terreno è pari a 3,0 – 3,5 Hz**, a significare che il terreno in questione amplifica le onde di superficie a quella frequenza rispetto all'imput su bedrock di riferimento.

8.2 Categoria di sottosuolo

La categoria del sottosuolo, in base al valore V_{s30} della velocità media di propagazione delle onde di taglio entro 30 m di profondità, rientra nella categoria C, *depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti* con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < N_{SPT,30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < c_{u,30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina).

8.3 Condizioni topografiche

In relazione agli effetti di amplificazione locale legati alla morfologia del suolo, la categoria relativa alla superficie topografica dell'area in esame rientra nella categoria T2, pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$.

8.4 Valutazione dell'azione sismica

La stima dei parametri spettrali necessari per la definizione dell'azione sismica di progetto viene effettuata calcolandoli direttamente per il sito in esame, utilizzando le informazioni disponibili nel reticolo di riferimento (Tab. 1 Alleg. B del D.M. 14/01/2008)

Nodi del reticolo

	<p>Sito in esame.</p> <p>latitudine: 43,052252 longitudine: 13,563004 Classe: 1 Vita nominale: 50</p> <p>Siti di riferimento</p> <p>Sito 1 ID: 23422 Lat: 43,0350Lon: 13,5585 Distanza: 1959,012</p> <p>Sito 2 ID: 23423 Lat: 43,0349Lon: 13,6269 Distanza: 5536,747</p> <p>Sito 3 ID: 23201 Lat: 43,0849Lon: 13,6270 Distanza: 6336,669</p> <p>Sito 4 ID: 23200 Lat: 43,0850Lon: 13,5585 Distanza: 3654,295</p>
--	---

I parametri sismici calcolati, in relazione agli stati limite considerati ed al sito in oggetto, sono:

- Tr periodo di ritorno dell'azione sismica, espresso in anni;
- ag accelerazione orizzontale massima attesa al sito, dipende dalle coordinate che identificano il sito su cui dovrà insistere la fondazione;
- Fo valore massimo di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale. Il valore è dipendente dalle coordinate che identificano il sito su cui dovrà insistere la costruzione;
- Tc* periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale. Il valore è dipendente dalle coordinate che identificano il sito su cui dovrà insistere la costruzione.

Parametri sismici

Categoria sottosuolo: C

Categoria topografica: T2

Periodo di riferimento: 35anni

Coefficiente cu: 0,7

Operatività (SLO):

Probabilità di superamento: 81 %

Tr: 30 [anni]

ag: 0,056 g

Fo: 2,462

Tc*: 0,274 [s]

Danno (SLD):

Probabilità di superamento: 63 %

Tr: 35 [anni]

ag: 0,060 g

Fo: 2,455

Tc*: 0,279 [s]

Salvaguardia della vita (SLV):

Probabilità di superamento: 10 %

Tr: 332 [anni]

ag: 0,156 g

Fo: 2,427

Tc*: 0,335 [s]

Prevenzione dal collasso (SLC):

Probabilità di superamento: 5 %

Tr: 682 [anni]

ag: 0,204 g

Fo: 2,453

Tc*: 0,344 [s]

I coefficienti sismici in relazione agli stati limite considerati, calcolati sono:

Ss coefficiente di amplificazione topografica (D.M. 14/01/2008 tab. 3.2.V);

Cc coefficiente in funzione della categoria di sottosuolo (D.M. 14/01/2008 tab. 3.2.V);

St coefficiente di amplificazione topografica (D.M. 14/01/2008 tab. 3.2.VI);

Kh coefficiente di intensità sismica orizzontale;

Kv coefficiente di intensità sismica verticale;

Amx accelerazione massima orizzontale attesa al sito ed è dipendente dagli effetti di amplificazione stratigrafica e dagli effetti di amplificazione topografica;

Beta coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito. Nel caso di opere di sostegno o stabilità di pendii esso è funzione della categoria del suolo e del valore di ag, mentre nel caso di paratie è funzione dello spostamento massimo ammissibile Us.

Coefficienti sismici

SLO:

Ss: 1,500
Cc: 1,610
St: 1,200
Kh: 0,020
Kv: 0,010
Amax: 0,990
Beta: 0,200

SLD:

Ss: 1,500
Cc: 1,600
St: 1,200
Kh: 0,022
Kv: 0,011
Amax: 1,063
Beta: 0,200

SLV:

Ss: 1,470
Cc: 1,510
St: 1,200
Kh: 0,066
Kv: 0,033
Amax: 2,700
Beta: 0,240

SLC:

Ss: 1,400
Cc: 1,490
St: 1,200
Kh: 0,096
Kv: 0,048
Amax: 3,356
Beta: 0,280

Le coordinate espresse in questo file sono in ED50
Geostru software - www.geostru.com

9 VERIFICA DELLA STABILITA'

Dal rilevamento eseguito sono stati evidenziati elementi morfologici di dissesto gravitativo nella porzione mediana del versante, in corrispondenza del rilevato stradale, come indicato nella sezione allegata.

In tale tratto con estensione lungo la linea di massima pendenza di circa 40 m sono presenti elementi caratteristici di una frana di tipo roto-traslazionale, come: corona di frana, gradini di frana, fratture trasversali ed area di accumulo.

Nella zona a monte ed a valle del tracciato stradale il versante è privo di elementi e forme riconducibili ad un dissesto gravitativo in atto.

Le analisi relative alla stabilità del pendio sono state eseguite su una sezione costruita lungo la direzione di massima pendenza ed effettuate per mezzo del programma di calcolo "Slope 2010" collaudato dalla ditta GeoStru.

Le verifiche sono state eseguite su ipotetiche superfici di scivolamento cinematicamente possibili, il coefficiente di sicurezza "Fs" è stato calcolato applicando il metodo dei conci "Janbu 1967", sono state effettuate verifiche sull'intero profilo del versante, sul profilo del corpo di frana attuale e modificato in relazione alle opere di consolidamento (riprofilatura topografica e miglioramento dei parametri geotecnici).

Sono stati utilizzati parametri geotecnici medi, secondo le indicazioni del C.S.L.P. (Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici), si è ritenuto opportuno tenere conto, inoltre, come indicato dalla vigente normativa per le zone sismiche, dell'influenza delle sollecitazioni sismiche sulla stabilità globale del versante, supponendo che il sisma agisca come sistema di forze sul pendio d'intensità e verso costante per tutta la durata dell'evento tellurico (metodo pseudostatico esplicitato con il criterio di Bhawani & Anbalagan).

Nel metodo pseudostatico la condizione di Stato Limite Ultimo (SLU) è riferito al cinematismo di collasso critico, caratterizzato dal più basso valore del coefficiente sismico Fs.

$$F_s = \tau_s / \tau_m$$

τ_s = resistenza al taglio disponibile

τ_m = sforzo di taglio mobilitante lungo la superficie di scorrimento (effettiva o potenziale)

Nelle verifiche pseudostatiche di sicurezza si assume:

Approccio 1 – Condizione 2 (A2 – M2 – R2) con R2 = 1,1

superficie di scivolamento n.1 – <i>intero versante</i>	Fs min = 2,06
superficie di scivolamento n.2 – <i>corpo di frana</i>	Fs min = 0,79
superficie di scivolamento n.2 – <i>profilo modificato</i>	Fs min = 2,05

In relazione al coefficiente di sicurezza richiesto, l'analisi di stabilità nelle condizioni geotecniche e morfologiche attuali del versante risulta soddisfatta, mentre la verifica risulta non soddisfatta nelle condizioni attuali del corpo di frana (frana attiva), invece è soddisfatta nelle condizioni morfologiche e geotecniche modificate, in relazione alle opere di consolidamento che vergono descritte nel capitolo n. 11 Interventi proposti.

(cfr.: *Relazione di calcolo – verifica della stabilità*)

10 ANALISI DEI DISSESTI E DELLE CAUSE

Le indagini eseguite ed il rilievo geomorfologico hanno permesso di ricostruire un modello interpretativo del dissesto in atto, gli elementi rilevati sono:

- corpo di frana attiva,
- erosione concentrata lungo il fosso,
- area interessata da ruscellamento diffuso,
- zona di ristagno d'acqua superficiale,
- dissesto delle opere antropiche: sede stradale e condotta per lo smaltimento delle acque superficiali.

Nell'area sono presenti una serie di corpi roto-traslazionali le cui superfici di scorrimento hanno una profondità massima di circa 4,0 – 5.0 m, coinvolgendo terreni di riporto e porzione superficiale dei depositi eluvio-colluviali.

Per quanto riguarda il cinematismo del movimento franoso, ad oggi non è stato possibile eseguire letture inclinometriche a causa del breve periodo di osservazione.

Dal rilievo geomorfologico è stato possibile cartografare gli elementi che costituiscono il corpo frana: corona, gradini, superficie di rottura o movimento, area di accumulo e fessure di trazione.

Sono presenti, inoltre, lungo il fosso un'erosione concentrata, con conseguenti dissesti delle scarpate di sponda con caduta di detrito in alveo, inoltre la presenza di abbondante vegetazione in alveo ostacola il naturale deflusso delle acque.

Nell'area a monte del dissesto sono presenti solchi con erosione concentrata a testimonianza di un ruscellamento diffuso e non regolamentato, che ha generato nella zona a monte del tracciato stradale il ristagno d'acqua.

Le cause che hanno contribuito a perturbare l'equilibrio statico della porzione di versante possono essere suddivise in due tipologie principali: cause predisponenti e cause innescanti.

- cause predisponenti

Le cause predisponenti favoriscono l'insorgere dei fenomeni e sono legate prevalentemente a:

- natura litologica dei terreni di riporto e dei depositi eluvio-colluviali superficiali;
- forte acclività delle scarpate della sede stradale, scarpata a monte con pendenza del 70 % ed altezza variabile da 4,0 a 5,0 m, mentre la scarpata a valle con pendenza del 60 %;
- mancanza di idonea regimazione acque superficiali.

- cause innescanti

Le cause innescanti danno inizio al movimento franoso e sono legate a:

- condizioni meteorologiche, a causa delle abbondanti precipitazioni nella stagione invernale 2010 – 2011, con valori massimi nel febbraio e nei primi giorni di marzo (cfr.: *Cap. 2 inquadramento geografico ed ambientale*) hanno generato fenomeni di erosione concentrata con approfondimento dell'alveo del fosso e ruscellamento diffuso lungo il versante con ristagno d'acqua a monte della scarpata del rilevato stradale (cfr.: *Carta geomorfologica, scala 1:500*), tale persistenza idrica ha generato la saturazione dei terreni superficiali, con conseguente decremento delle tensioni efficaci, variazioni del peso di volume dei terreni e la variazione del valore di coesione modificando l'equilibrio statico a causa dell'alterazione dei legami H^+ e OH^- .
- perturbazione dello stato naturale a causa di opere antropiche, non efficiente regimazione delle acque meteoriche, accumulo del terreno a monte della sede stradale con incremento di carico sul versante ed aumentando dell'angolo di scarpata.

11 CONCLUSIONI

Dallo studio geologico e geotecnico eseguito, al fine di realizzare il nuovo tracciato stradale e ripristinare la stabilità dell'area, si giudica fattibile sia la realizzazione il nuovo tracciato a monte della vecchia sede stradale e sia ripristinare il vecchio tracciato.

Tale scelta è condizionata ad una serie di interventi atti a garantire la stabilità e funzionalità dell'opera contestualmente ad una valutazione costi-benefici che solo il progettista dell'opera può valutare correttamente.

11.1 Interventi proposti

Qualora venga scelto il ripristino del vecchio tracciato si consigliano i seguenti interventi in grado di raggiungere gli obiettivi prefissati.

1. **opere di consolidamento del corpo frana;**
2. **regimazione acque;**
3. **sistemazione alveo del fosso;**
4. **opere di riqualificazione ambientale.**

1. Opere di consolidamento del corpo frana

Al fine del consolidamento del corpo frana si consiglia, dato il modesto volume di terreno mobilitato stimato tra 5.000 e 10.000 mc, l'asportazione della porzione mobilitata e la successiva ricostruzione del rilevato stradale, le fasi lavorative vendono di seguito elencate:

- rimozione materiale organico (rami, radici ecc.);
- asportazione del terreno mobilitato;
- preparazione del piano di posa a gradoni;
- formazione del rilevato stradale, con livellamento del terreno e compattazione in strati, la compattazione ha il fine di raggiungere idonee caratteristiche geotecniche, il controllo del risultato dovrà essere eseguito attraverso la determinazione della capacità portante del terreno in sito espressa in modulo di deformazione M_d (non minore a 150 kg/cm² per tutte le categorie di strade, norme CNR-UNI 10006) mediante la prova di carico su piastra circolare, che dovrà essere eseguita prima della posa in opera dei successivi strati della soprastruttura, per la compattazione del terreno costituito da limi sabbiosi e limi argillosi, si consiglia di utilizzare compattatori tipo rullo a punte;
- preparazione del sottofondo, operazioni mirate a rendere la portanza del sottofondo stradale sufficientemente elevata, durevole e uniforme.

2. Regimazione acque

Al fine di mantenere stabile nel tempo il rilevato stradale si consiglia la realizzazione di opere di difesa dalle acque, distinte in acque superficiali e acque sotterranee.

- Per garantire il naturale deflusso delle acque superficiali, evitando così il ruscellamento concentrato lungo la sede stradale e lungo il versante, con conseguente erosione dei terreni superficiali, si consiglia di realizzare canali permanenti mantenuti efficienti nel tempo attraverso sfalci e ripristino delle sezioni, tali opere possono essere realizzate in geocomposito o in terra battuta di natura argillosa, al fine di evitare infiltrazione concentrata nel sottosuolo, tali acque dovranno essere recapitate nel fosso esistente.
- Al fine garantire nel tempo un naturale deflusso delle acque sotterranee, in quanto la loro presenza generano l'alterazione delle caratteristiche meccaniche dei terreni, si consiglia di realizzare opere di drenaggio, come tincee drenanti allineate lungo la linea di massima pendenza, che per effetto della gravità permettono di convogliare le acque fuori dal corpo stradale.

Per garantire la stabilità della sede stradale nel tempo, occorre evitare, nelle fasce di rispetto, arature ed attività che possono alterare le proprietà meccaniche dei terreni e la geometria del corpo stradale.

3. sistemazione alveo fosso

Al fine di contrastare i processi erosivi che si verificano attraverso il ruscellamento concentrato lungo l'alveo e lo scalzamento lungo le sponde con conseguenti fenomeni di cedimento delle scarpate, si consiglia un intervento atto a mitigare le conseguenze e gli effetti con una protezione lungo il tratto interessato dal dissesto.

La soluzione consigliata per tale fenomeno è il rivestimento dell'alveo e delle sponde con materassi tipo Reno. L'intervento consigliato rientra nelle tecniche d'ingegneria naturalistica, in base alla quale l'abbinamento e la combinazione tra materiali inerti e quelli vivi (le piante) garantiscono immediata stabilizzazione e rinaturalizzazione dell'habitat.

Si raccomanda, inoltre, per motivi di sicurezza idraulica, la rimozione di materiali organici (rami, radici ecc..) in quanto l'eccesso sviluppo della vegetazione nell'alveo crea un ostacolo al naturale deflusso idrico.

4. opere di riqualificazione ambientale

Al fine di ricostituire ecosistema del paesaggio, si consiglia la sistemazione a verde delle scarpate mediante semina e messa a dimora di essenze vegetali autoctone legate al paesaggio circostante, favorendo il consolidamento ed impedendo l'erosione superficiale.

Si consiglia di realizzare lungo i versanti fossi di guardia distanti circa 30 m, al fine di evitare il trasporto e l'accumulo del terreno durante le piogge (fino ad una distanza di 15 m di lunghezza l'erosione ha un incremento lineare, mentre oltre queste misure l'erosione diventa esponenziale).

Qualora venga scelto di realizzare il nuovo tracciato a monte della vecchia sede stradale, si consigliano interventi atti a ridurre le condizioni di rischio limitando l'evoluzione del fenomeno di dissesto.

Le opere mirate a limitare l'evoluzione del fenomeno riguardano in sintesi:

- rimozione materiale organico (rami, radici ecc.);
- riprofilatura corpo di frana, al fine di permettere un regolare deflusso delle acque superficiali;
- realizzare canali permanenti mantenuti efficienti nel tempo, tali opere possono essere realizzate in geocomposito o terra battuta di natura argillosa;
- realizzare opere di drenaggio, come tincee drenanti allineate lungo la linea di massima pendenza, che per l'effetto della gravità permettono di convogliare le acque fuori dal corpo frana;
- piantumazione lungo la fascia marginale della sede stradale.

Si rimanda ai punti precedentemente descritti gli interventi mirati alla realizzazione della strada, alla sistemazione dell'alveo del fosso ed alle opere di riqualificazione ambientale.

Porto San Giorgio, 18 Maggio 2011

Dr. Geol. Graziano Ciferri



Dr. Geol. Germano Cicconi







Area in oggetto

CARTA DEL RISCHIO IDROGEOLOGICO

scala 1:10.000

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

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

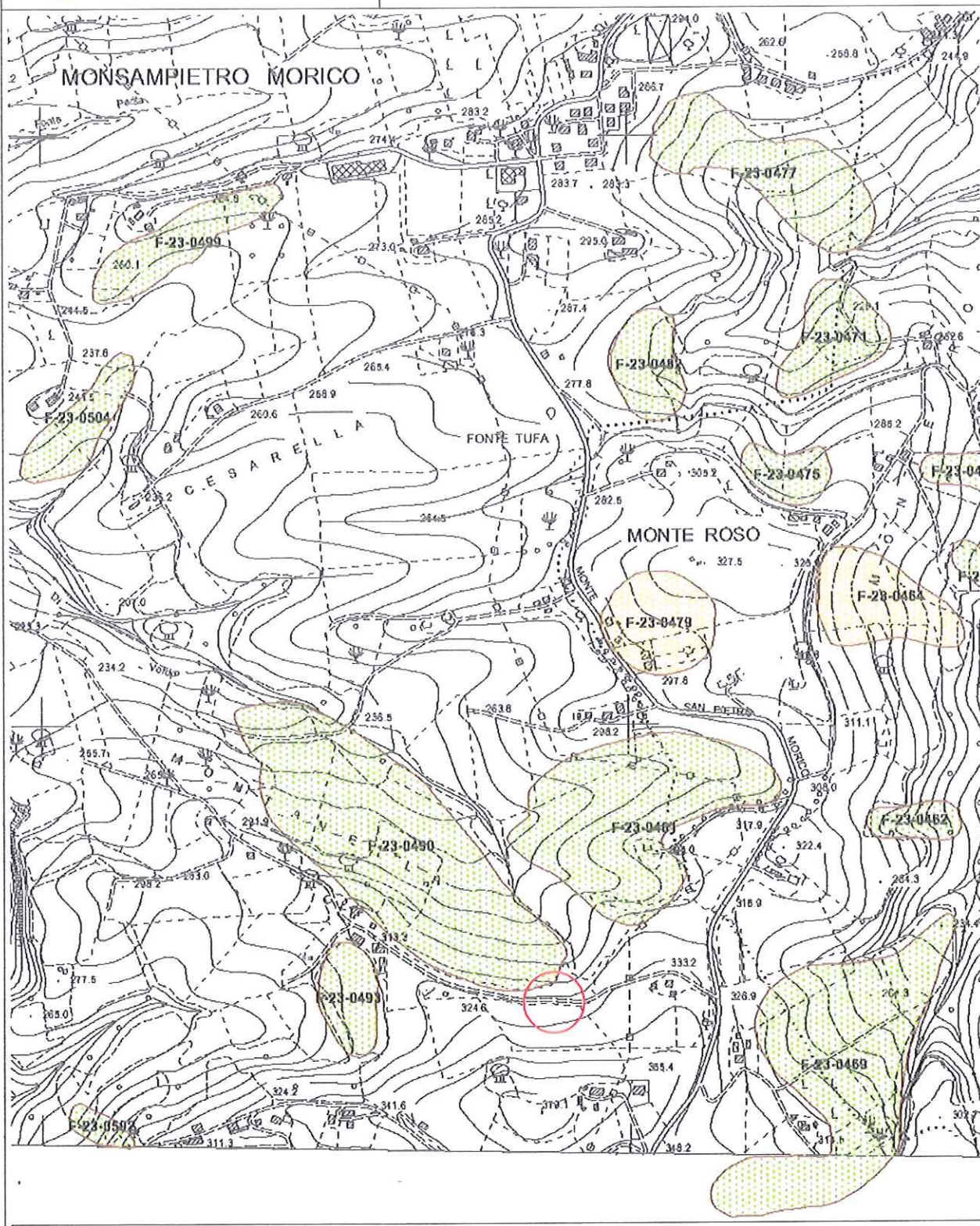
Aree a rischio esondazione (Codice E-xx-yyyy)

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

PIANO STRALCIO DI BACINO PER L'ASSETTO IDROGEOLOGICO
P.A.I.

L.183/89-L.365/00-L.R.13/99 Regione Marche - Autorità di Bacino Regionale.
Approvato con deliberazione del Consiglio Regionale n. 116 del 21.01.2004

TAVOLA RI 66 d



LEGENDA:



Area in oggetto



Depositi eluvio colluviali (MUS₆₂)

Depositi limo argillosi di origine eluvio-colluviale con frazione sabbiosa.

Menbro del Monte dell'Ascensione (FAA₄)

E' costituito da varie associazioni spesso in eteropia tra loro. Conglomeratica, arenaceo-conglomeratica, arenacea, arenaceo-pellica, pellico-arenacea; talora sono presenti peliti laminate. Spessore fino a 100 m.



Giacitura strati immersione/finclinazione

CARTA GEOLOGICA

scala 1:10.000

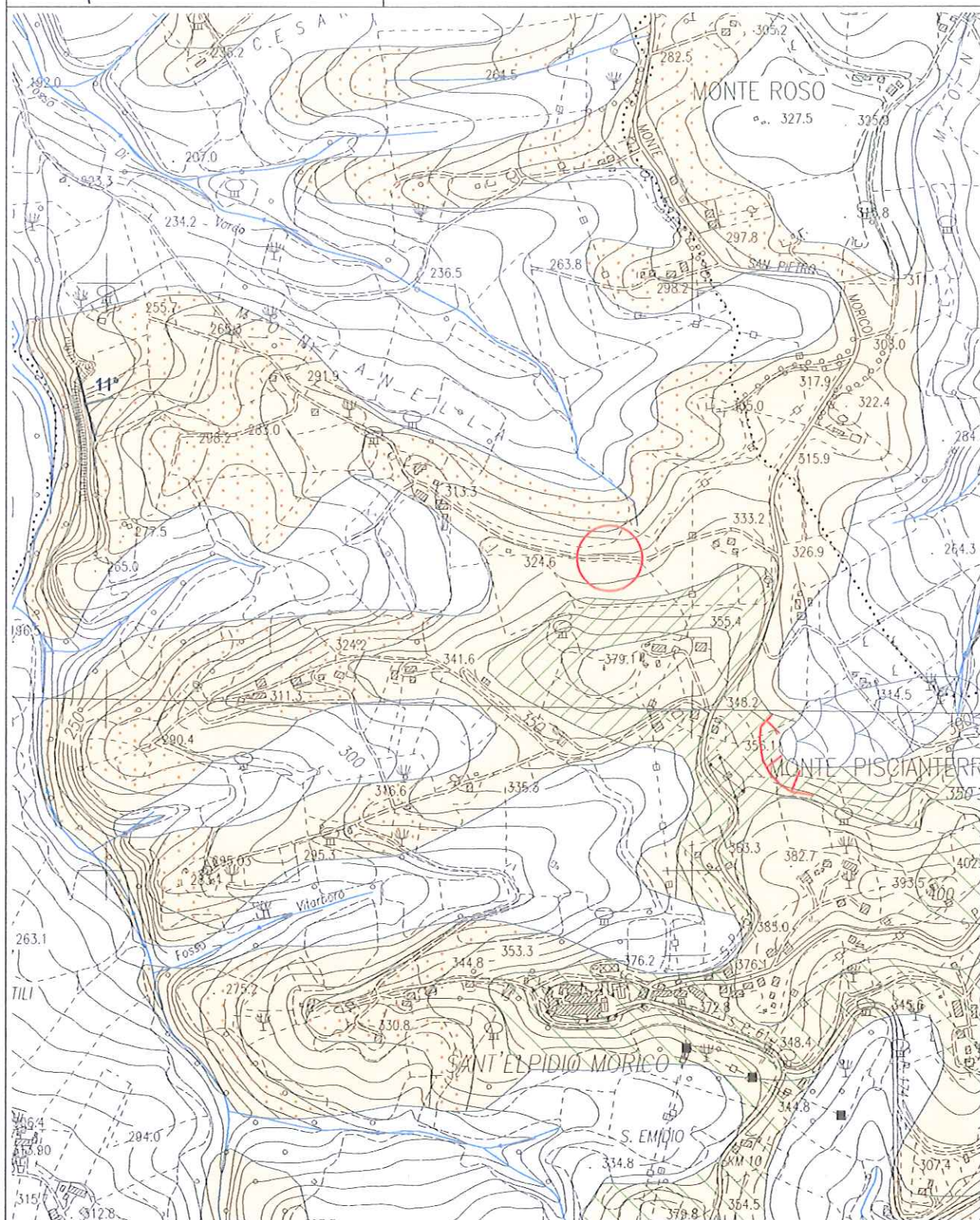


Base cartografica:

Carta geologica d'Italia scala 1:50.000, foglio n.314 "Montegiorgio".

Dai rilievi geologici scala 1:10.000 (progetto CARG)

Carta Tecnica Regionale scala 1:10.000, equidistanza curve di livello 10,0 m, l'altimetria espressa in metri è riferita al livello medio del mare.



LEGENDA:



Area in oggetto



Reticolo idrografico



Curve di livello
quota altimetrica s.l.m.



Confine comunale

COROGRAFIA

scala 1:10.000

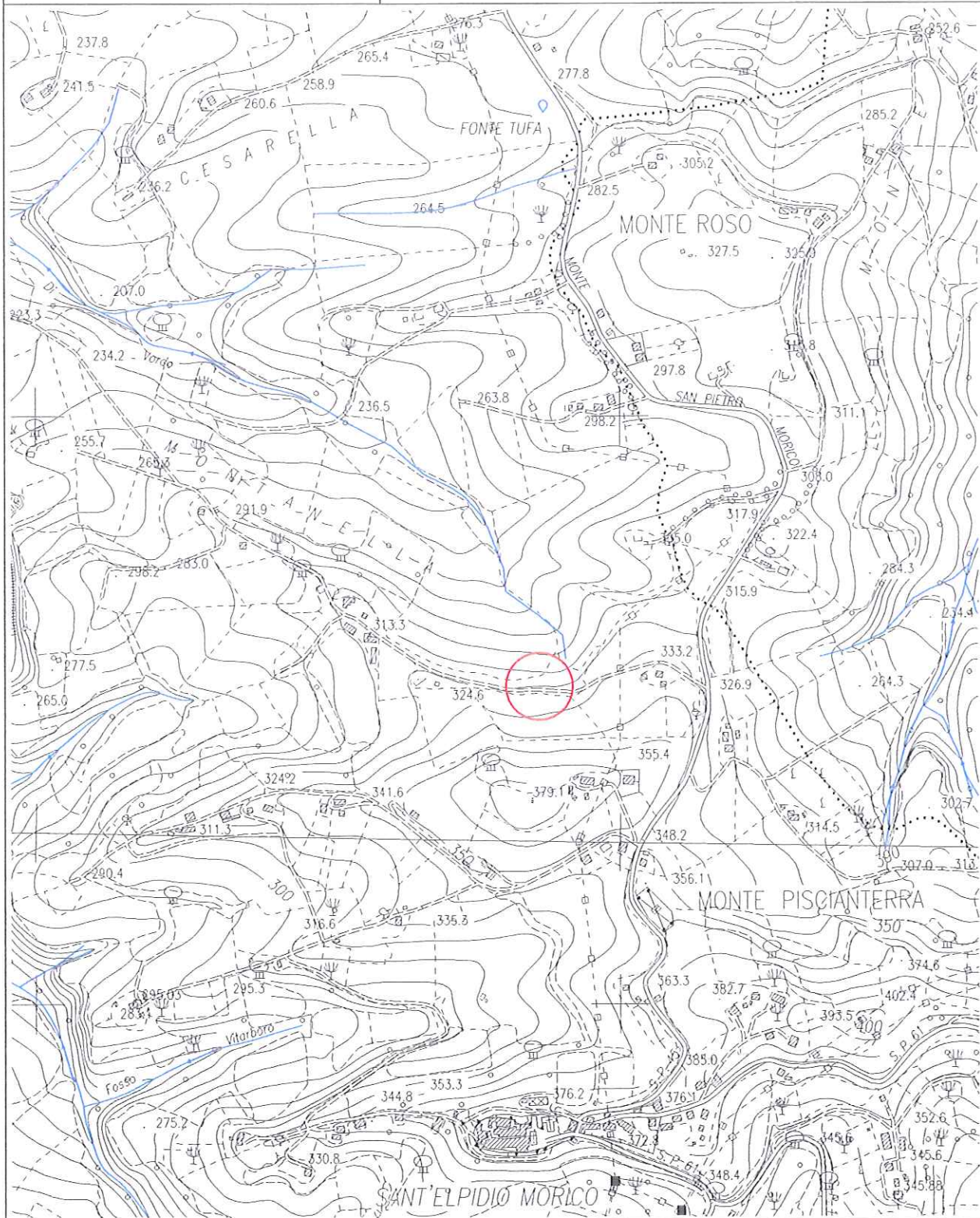


Base cartografica:

CARTA TOPOGRAFICA REGIONALE scala 1:10.000 (agg. 2000)

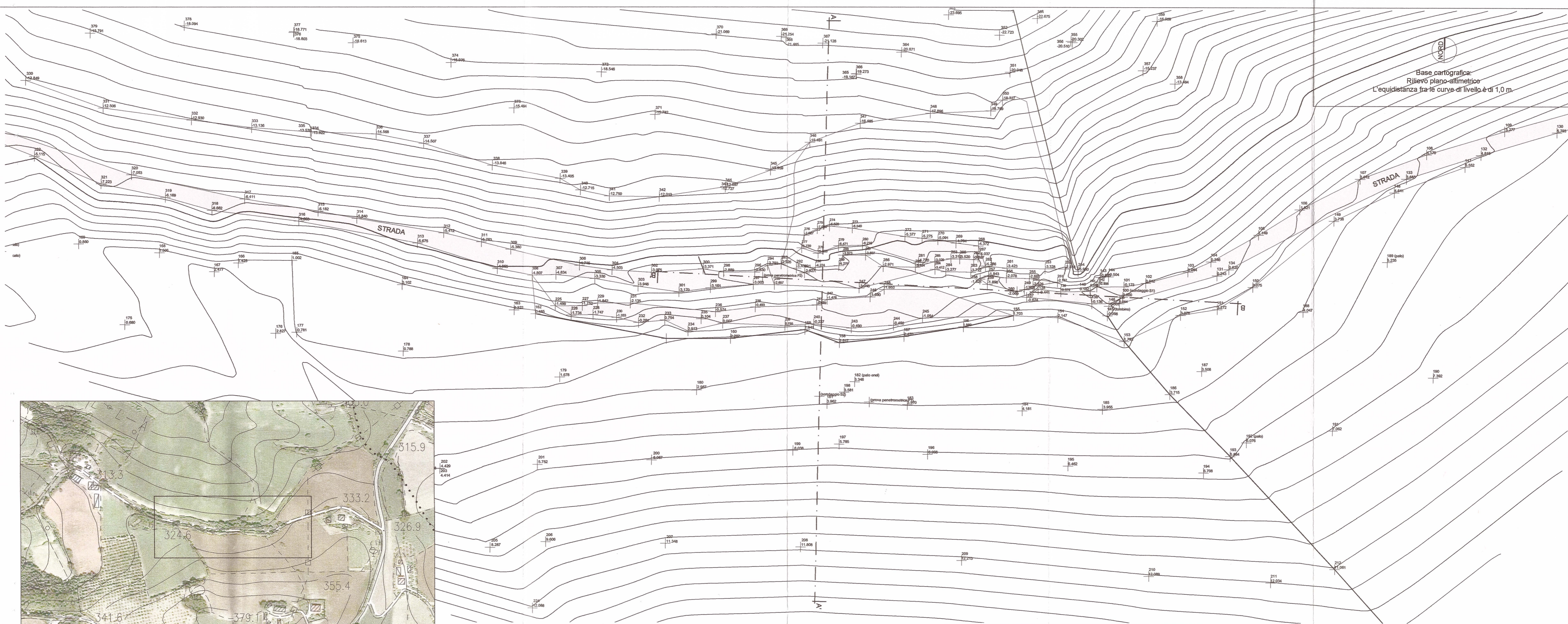
Foglio n.314 Sezione 314110

L'equidistanza fra le curve di livello è di 10,0 m,
l'altimetria espressa in metri è riferita al livello medio del mare.



PLANIMETRIA GENERALE

scala 1:500



PLANIMETRIA scala 1:5.000 Base cartografica: C. T. regione Marche, l'equidistanza fra le curve di livello è di 10,0 m.

CARTA GEOMORFOLOGICA

scala 1:500



LEGENDA

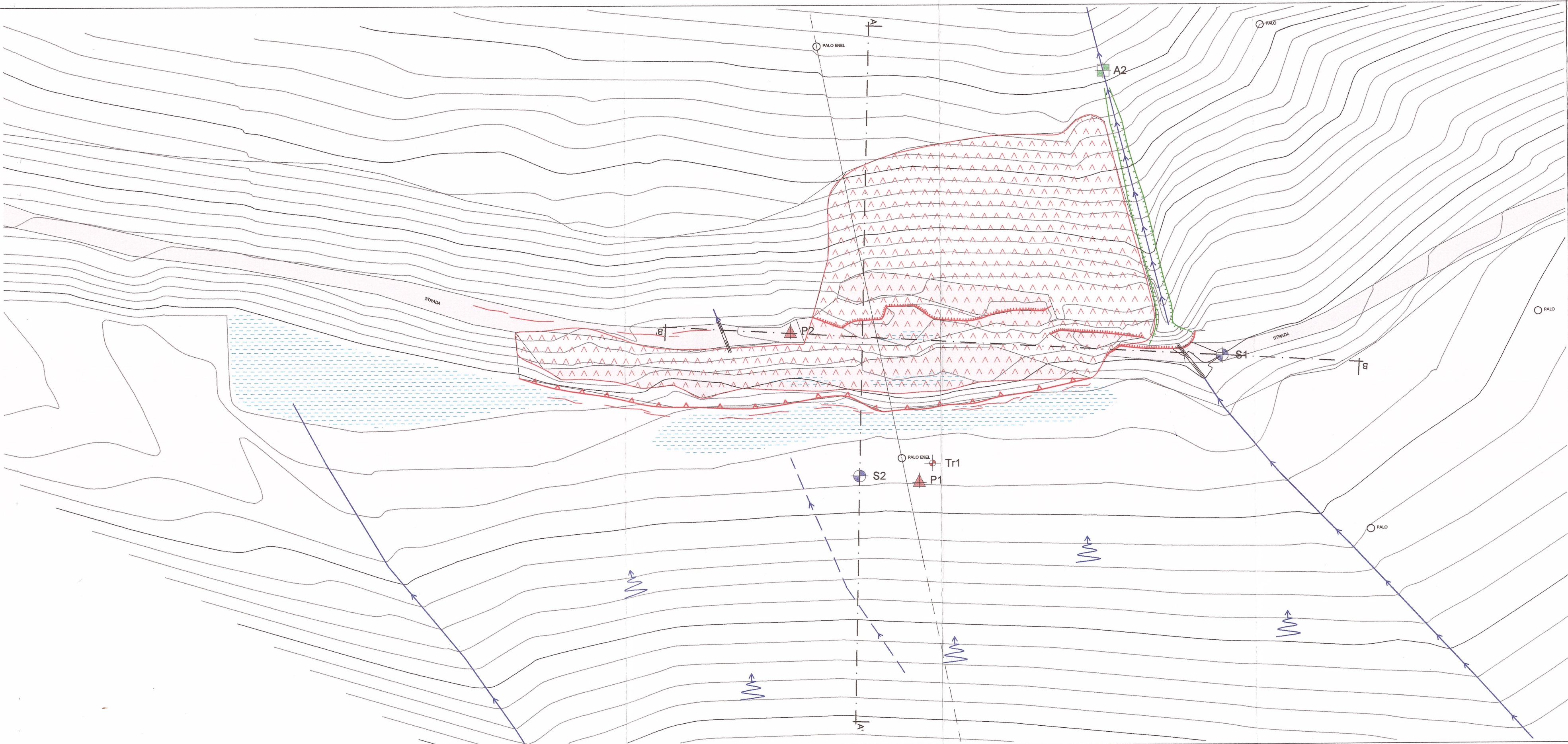
FORME, DEPOSITI E PROCESSI DI VERSANTE
DOVUTI ALL'AZIONE DELLA GRAVITA'

- Corona di frana attiva
- Gradino di frana
- Lesioni di trazione
- Accumulo di frana per scorrimento roto-traslazionale

FORME, DEPOSITI DOVUTI ALL'AZIONE DELLE
ACQUE CORRENTI SUPERFICIALI

- Orlo di scarpata di erosione
- Fosso con erosione concentrata
- Solco di scolo
- Area interessata da ruscellamento diffuso
- Zona di ristagno acqua superficiale
- Tratto intubato











- P1 Ubicazione prova penetrometrica statica
- S1 Ubicazione sondaggio geognostico reperito
- A1 Affioramento litologico
- Traccia sezione
- Tr1 Ubicazione stazione indagine sismica

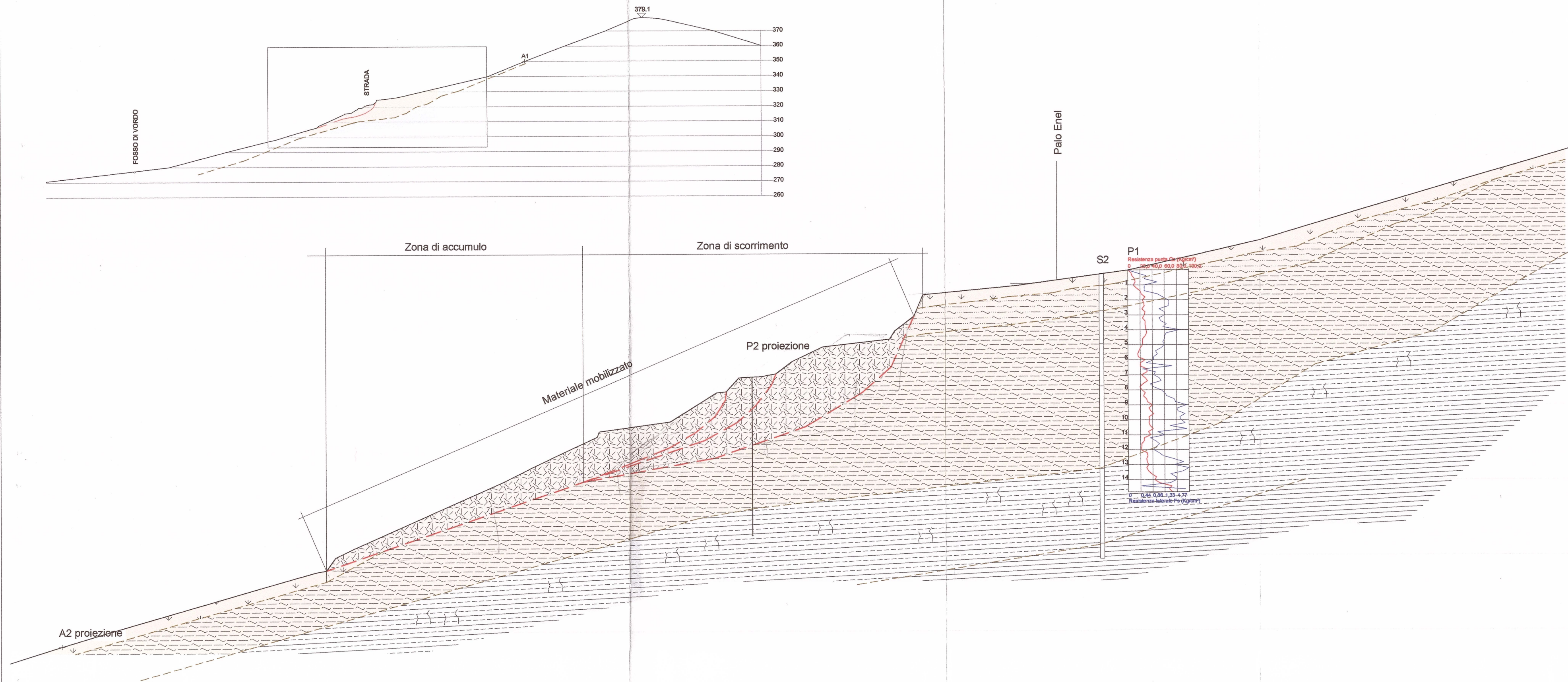


SEZIONE LITOSTRATIGRAFICA A-A'

scala 1:200

LEGENDA

- a  Terreno vegetale e di riporto
- b  **Depositi Eluvio-Colluviali**
Limi sabbiosi e limi argillosi di colore avana-bruno, a luoghi grigi, con inclusi concrezioni carbonatiche di dimensioni millimetriche, a tessitura eterogenea.
- c  **Formazione alterata "Pelitico-Arenacea"**
Argille marnose di colore grigio, stratificate a livelli sabbiosi di spessore millimetrico, fratturate.
- d  **Formazione integra "Pelitico-Arenacea"**
Argille marnose di colore grigio, stratificate a livelli sabbiosi debolmente cementate.
- e  Corpo di frana.
-  Superficie di rottura / scivolamento
-  Limite litologico
- P1  Prova penetrometrica statica
- S1  Sondaggio geognostico
-  Percolazione idrica




SEZIONE LITOSTRATIGRAFICA B-B'


scala 1:200

LEGENDA


- a




Terreno vegetale e di riporto
- b




Depositi Eluvio-Colluviali
Limi sabbiosi e limi argillosi di colore avana-bruno, a luoghi grigi, con inclusi concrezioni carbonatiche di dimensioni millimetriche, a tessitura eterogenea.
- c





Formazione alterata "Pelitico-Arenacea"
Argille marnose di colore grigio, stratificate a livelli sabbiosi di spessore millimetrico, fratturate.
- d




Formazione integra "Pelitico-Arenacea"
Argille marnose di colore grigio, stratificate a livelli sabbiosi debolmente cementate.
- e




Corpo di frana.
- 


Superficie di rottura / scivolamento
- 

Limite litologico
- P1



Prova penetrometrica statica
- S1



Sondaggio geognostico
- 

Percolazione idrica

Materiale mobilizzato

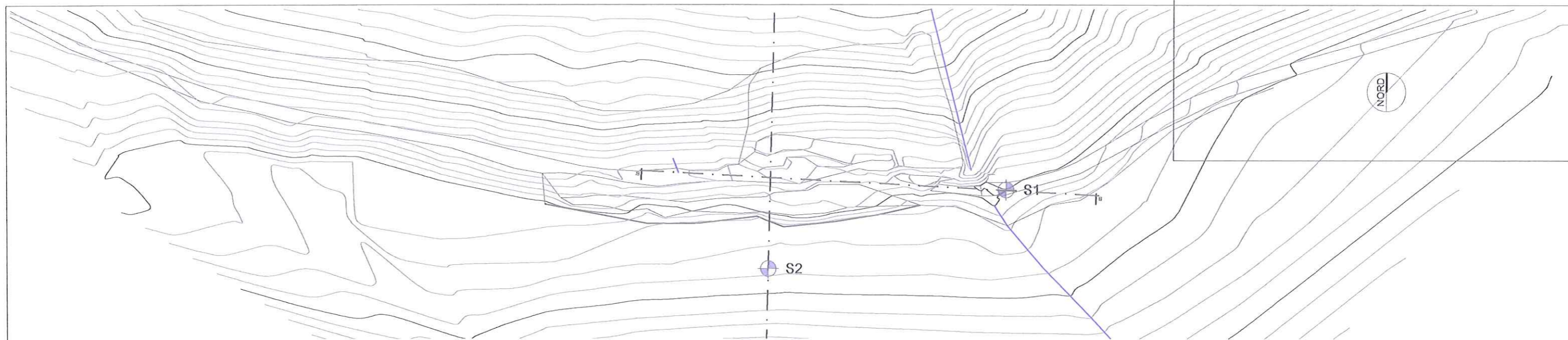
strada

S1

P2

Resistenza punta Q_z (Kg/cm²)
0 20.0 40.0 60.0 80.0 100.0

Resistenza laterale F_s (Kg/cm²)
0 0.5 1.0 1.5 2.0



F.1: Ubicazione sondaggio S1



F.2: prelievo campioni da 0.0 a 3.0 m



F.3: prelievo campioni da 4.0 a 6.0 m



F.4: prelievo campioni da 7.0 a 9.0 m



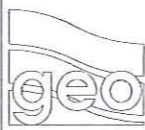
F.5: prelievo campioni da 10.0 a 12.0 m

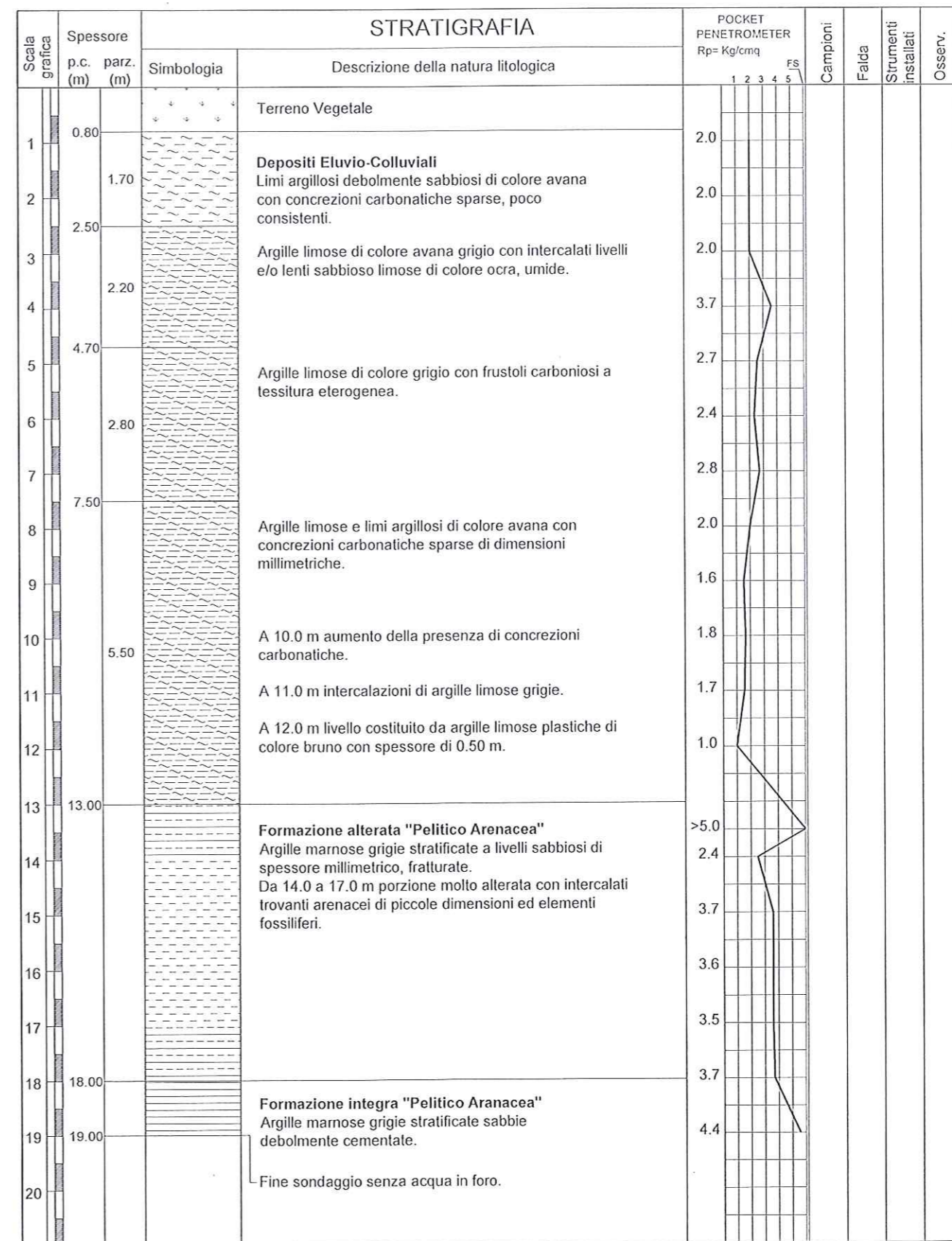


F.6: prelievo campioni da 12.0 a 13.0 m

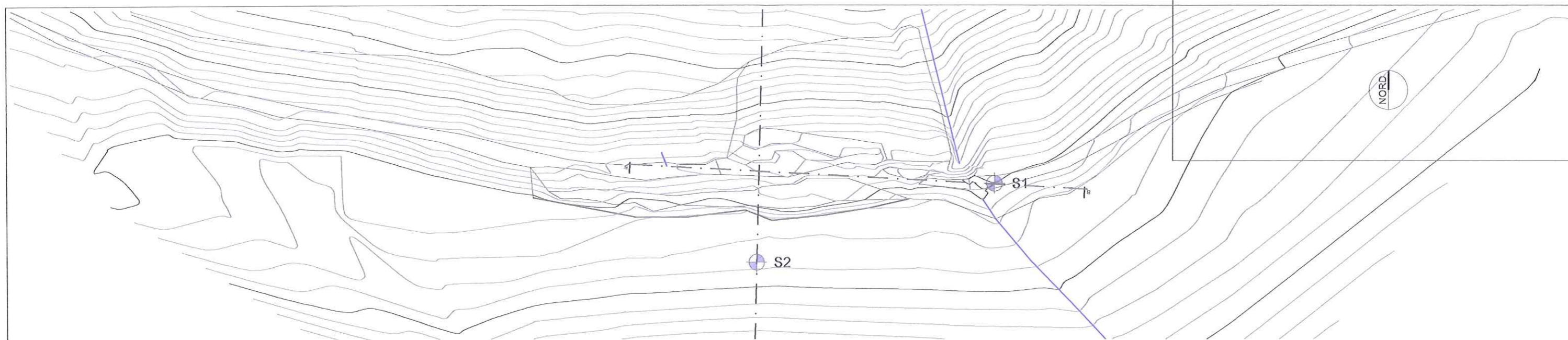


F.7: campione prelevato a 13.0 m, Argille marnose di colore grigio stratificate a livelli sabbiosi debolmente cementati.

 Dr. Graziano Ciferri — Geologo — Via Luigi Galvani n. 19 63017 Porto S. Giorgio AP Tel. 0734 / 679003	Oggetto: DISSESTO STATICO TRATTO STRADALE VIA MONTANELLE	SONDAGGIO N. 2
	Data: 8 Aprile 2011	
Cantiere: Via Montanelle		
Metodo di perforazione: rotazione		
Diametro di perforazione: 220 mm		Inclinazione (gradi): 0°
Quota boccaforo: 328 m s.l.m.		Scala stratigrafia 1:100



Note:



F.8: Ubicazione sondaggio S2



F.9: prelievo campioni da 0.0 a 3.0 m



F.10: prelievo campioni da 4.0 a 6.0 m



F.10: prelievo campioni da 7.0 a 9.0 m



F.11: prelievo campioni da 10.0 a 11.0 m



F.12: prelievo campioni da 12.0 a 14.0 m



F.13: prelievo campioni da 15.0 a 17.0 m



F.14: prelievo campioni da 18.0 a 19.0 m



F.15: campione prelevato a 19.0 m, Argille marnose di colore grigio stratificate a livelli sabbiosi debolmente cementati.

PROVE PENETROMETRICHE STATICHE

Committente: Comune
Cantiere: Area in frana
Località: Monsampietro Morico

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

OPERATORE
Raffaele Achilli

RESPONSABILE
Dott. Geol. Graziano Ciferri



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

Interpretazione
 litostratigrafica
 proposta

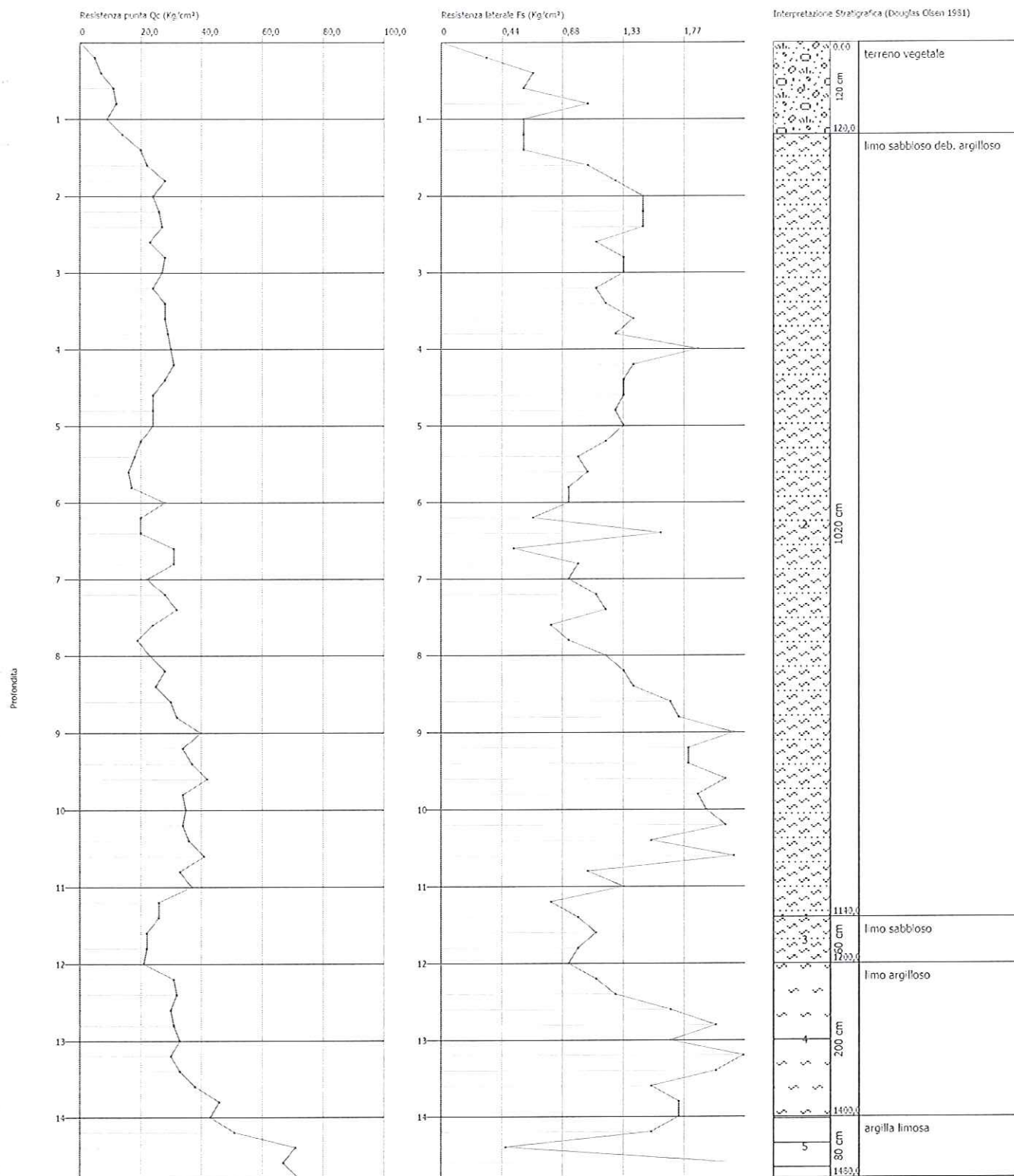
Probe CPT - Cone Penetration Nr.1
 Strumento utilizzato... PAGANI TG 63 (200 kN)
 Diagramma Resistenze qc fs

Committente :
 Cantiere :
 Località :

Comune
 Area in frana
 Monsampietro Morico

Data :11/04/2011

Scala 1:25



PROVA ... Nr.1

Strumento utilizzato...
Prova eseguita in data

PAGANI TG 63 (200 kN)

11/04/2011

Profondità prova

14.80 mt

Profondità (m)	Lettura punta (Kg/cm ²)	Lettura laterale (Kg/cm ²)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	qc/fs Begemann	fs/qcx100 (Schmertmann)
0,20	5,0	9,0	5,0	0,33	15,15	6,6
0,40	7,0	12,0	7,0	0,67	10,45	9,57
0,60	11,0	21,0	11,0	0,6	18,33	5,45
0,80	12,0	21,0	12,0	1,07	11,21	8,92
1,00	9,0	25,0	9,0	0,6	15,0	6,67
1,20	14,0	23,0	14,0	0,6	23,33	4,29
1,40	20,0	29,0	20,0	0,6	33,33	3,0
1,60	22,0	31,0	22,0	1,07	20,56	4,86
1,80	28,0	44,0	28,0	1,27	22,05	4,54
2,00	24,0	43,0	24,0	1,47	16,33	6,13
2,20	26,0	48,0	26,0	1,47	17,69	5,65
2,40	27,0	49,0	27,0	1,47	18,37	5,44
2,60	23,0	45,0	23,0	1,13	20,35	4,91
2,80	28,0	45,0	28,0	1,33	21,05	4,75
3,00	27,0	47,0	27,0	1,33	20,3	4,93
3,20	24,0	44,0	24,0	1,13	21,24	4,71
3,40	28,0	45,0	28,0	1,2	23,33	4,29
3,60	28,0	46,0	28,0	1,4	20,0	5,0
3,80	29,0	50,0	29,0	1,27	22,83	4,38
4,00	30,0	49,0	30,0	1,87	16,04	6,23
4,20	31,0	59,0	31,0	1,4	22,14	4,52
4,40	28,0	49,0	28,0	1,33	21,05	4,75
4,60	24,0	44,0	24,0	1,33	18,05	5,54
4,80	24,0	44,0	24,0	1,27	18,9	5,29
5,00	24,0	43,0	24,0	1,33	18,05	5,54
5,20	20,0	40,0	20,0	1,2	16,67	6,0
5,40	18,0	36,0	18,0	1,0	18,0	5,56
5,60	16,0	31,0	16,0	1,07	14,95	6,69
5,80	17,0	33,0	17,0	0,93	18,28	5,47
6,00	28,0	42,0	28,0	0,93	30,11	3,32
6,20	20,0	34,0	20,0	0,67	29,85	3,35
6,40	20,0	30,0	20,0	1,6	12,5	8,0
6,60	30,0	54,0	30,97	0,53	58,43	1,71
6,80	31,0	39,0	31,0	1,0	31,0	3,23
7,00	22,0	37,0	22,0	0,93	23,66	4,23
7,20	28,0	42,0	28,0	1,13	24,78	4,04
7,40	32,0	49,0	32,0	1,2	26,67	3,75
7,60	24,0	42,0	24,0	0,8	30,0	3,33
7,80	19,0	31,0	19,0	0,93	20,43	4,89
8,00	23,0	37,0	23,0	1,2	19,17	5,22
8,20	28,0	46,0	28,0	1,33	21,05	4,75
8,40	25,0	45,0	25,0	1,4	17,86	5,6
8,60	30,0	51,0	30,0	1,67	17,96	5,57
8,80	32,0	57,0	32,0	1,73	18,5	5,41
9,00	40,0	66,0	40,0	2,13	18,78	5,33
9,20	34,0	66,0	34,0	1,8	18,89	5,29
9,40	37,0	64,0	37,0	1,8	20,56	4,86
9,60	42,0	69,0	42,0	2,07	20,29	4,93
9,80	34,0	65,0	34,0	1,87	18,18	5,5
10,00	35,0	63,0	35,0	1,93	18,13	5,51
10,20	34,0	63,0	34,0	2,07	16,43	6,09
10,40	36,0	67,0	36,0	1,53	23,53	4,25
10,60	41,0	64,0	41,0	2,13	19,25	5,2
10,80	33,0	65,0	33,0	1,07	30,84	3,24
11,00	37,0	53,0	37,0	1,33	27,82	3,59
11,20	26,0	46,0	26,0	0,8	32,5	3,08
11,40	26,0	38,0	26,0	1,0	26,0	3,85
11,60	22,0	37,0	22,0	1,13	19,47	5,14
11,80	22,0	39,0	22,0	1,0	22,0	4,55
12,00	21,0	36,0	21,0	0,93	22,58	4,43
12,20	31,0	45,0	31,0	1,13	27,43	3,65

12,40	32,0	49,0	32,0	1,27	25,2	3,97
12,60	30,0	49,0	30,0	1,67	17,96	5,57
12,80	31,0	56,0	31,0	2,0	15,5	6,45
13,00	33,0	63,0	33,0	1,67	19,76	5,06
13,20	30,0	55,0	30,0	2,2	13,64	7,33
13,40	33,0	66,0	33,0	2,0	16,5	6,06
13,60	38,0	68,0	38,0	1,53	24,84	4,03
13,80	46,0	69,0	46,0	1,73	26,59	3,76
14,00	43,0	69,0	43,0	1,73	24,86	4,02
14,20	51,0	77,0	51,0	1,53	33,33	3,0
14,40	71,0	94,0	71,0	0,47	151,06	0,66
14,60	67,0	74,0	67,0	2,07	32,37	3,09
14,80	70,0	101,0	72,07	0,0		0,0

Prof. Strato (m)	qc Media (Kg/cm ²)	fs Media (Kg/cm ²)	Gamma Medio (t/m ³)	Comp. Geotecnico	Descrizione
1,20	9,67	0,65	1,84	Coesivo	terreno vegetale
11,40	27,72	1,32	2,02	Incoerente-Coesivo	limo sabbioso deb. argilloso
12,00	21,67	1,02	1,97	Incoerente-Coesivo	limo sabbioso
14,00	34,7	1,69	2,05	Coesivo	limo argilloso
14,80	65,27	1,02	2,16	Coesivo	argilla limosa

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI

Nr: Numero progressivo strato
 Prof: Profondità strato (m)
 Tipo: C: Coesivo. I: Incoerente. CI: Coesivo-Incoerente
 Cu: Coesione non drenata (Kg/cm²)
 Eu: Modulo di deformazione non drenato (Kg/cm²)
 Mo: Modulo Edometrico (Kg/cm²)
 G: Modulo di deformazione a taglio (Kg/cm²)
 OCR: Grado di sovraconsolidazione
 Puv: Peso unità di volume (t/m³)
 PuvS: Peso unità di volume saturo (t/m³)
 Dr: Densità relativa (%)
 Fi: Angolo di resistenza al taglio (°)
 Ey: Modulo di Young (Kg/cm²)
 K: Permeabilità (cm/s)

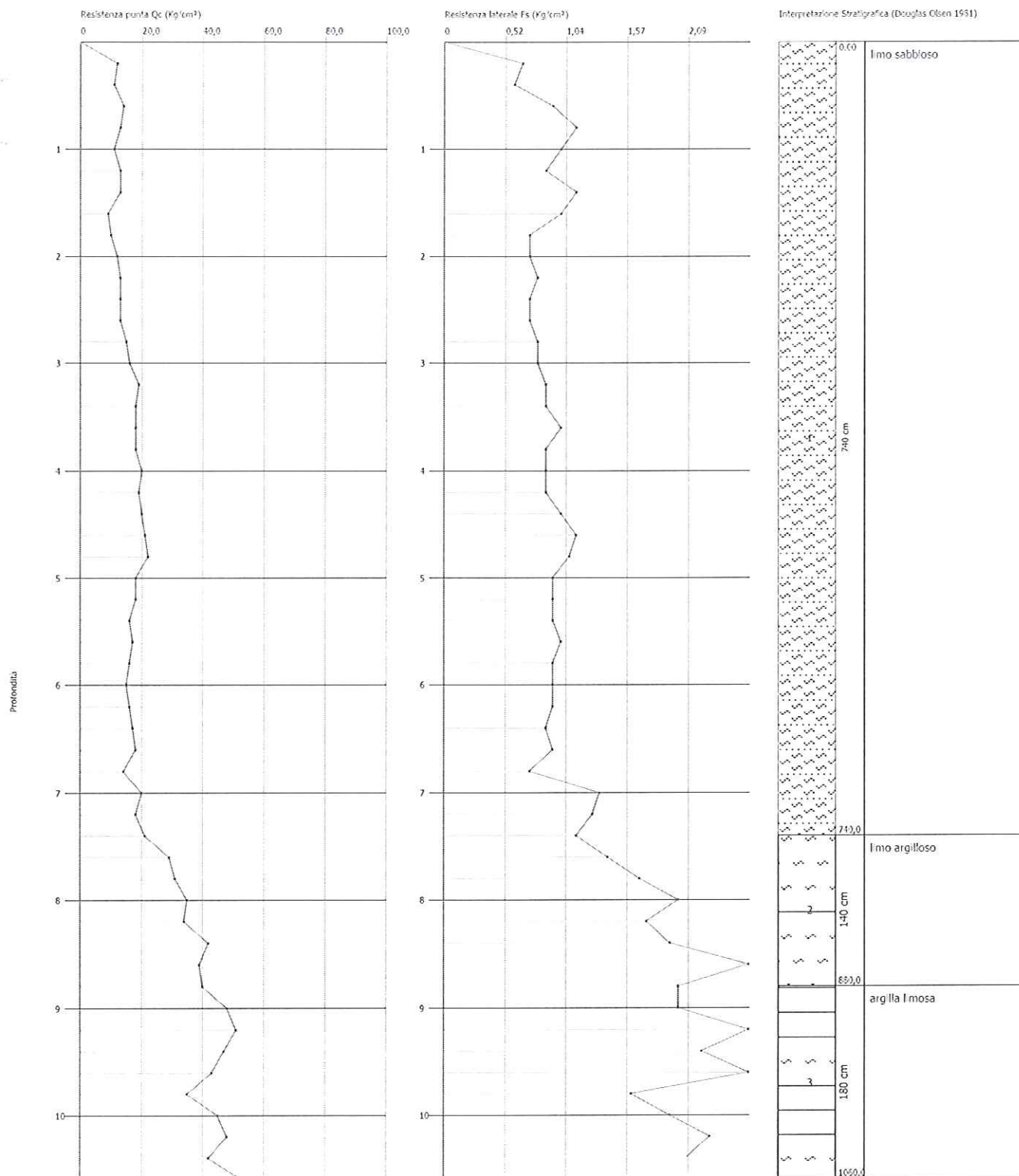
Nr.	Prof.	Tipo	Cu	Eu	Mo	G	OCR	Puv	PuvS	Dr	Fi	Ey	K
1	1,20	C	0,37	358,48	42,83	112,01	4,34	1,85	1,93	--	--	--	1,00E-11
2	11,40	CI	1,12	992,59	55,44	213,16	0,52	2,02	2,1	26,24	22,65	55,44	1,25E-09
3	12,00	CI	0,8	724,86	43,34	183,39	<0,5	1,97	2,05	10,34	21,73	43,34	2,81E-09
4	14,00	C	1,36	1203,58	69,4	244,51	9,0	2,05	2,13	--	--	--	3,54E-10
5	14,80	C	2,69	2339,03	130,54	359,71	9,0	2,16	2,24	--	--	--	2,35E-03

Probe CPT - Cone Penetration Nr.2
Strumento utilizzato... PAGANI TG 63 (200 kN)
Diagramma Resistenze qc fs

Committente :
Cantiere :
Località :
Comune
Area in frana
Monsampietro Morico

Data :11/04/2011

Scala 1:51



PROVA ... Nr.2

Strumento utilizzato...PAGANI TG 63 (200 kN)

Prova eseguita in data 11/04/2011

Profondità prova 10.60 mt

Profondità (m)	Lettura punta (Kg/cm ²)	Lettura laterale (Kg/cm ²)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	qc/fs Begemann	fs/qcx100 (Schmertmann)
0,20	12,0	22,0	12,0	0,67	17,91	5,58
0,40	11,0	21,0	11,0	0,6	18,33	5,45
0,60	14,0	23,0	14,0	0,93	15,05	6,64
0,80	13,0	27,0	13,0	1,13	11,5	8,69
1,00	11,0	28,0	11,0	1,0	11,0	9,09
1,20	13,0	28,0	13,0	0,87	14,94	6,69
1,40	13,0	26,0	13,0	1,13	11,5	8,69
1,60	9,0	26,0	9,0	1,0	9,0	11,11
1,80	10,0	25,0	10,0	0,73	13,7	7,3
2,00	12,0	23,0	12,0	0,73	16,44	6,08
2,20	13,0	24,0	13,0	0,8	16,25	6,15
2,40	13,0	25,0	13,0	0,73	17,81	5,62
2,60	13,0	24,0	13,0	0,73	17,81	5,62
2,80	15,0	26,0	15,0	0,8	18,75	5,33
3,00	16,0	28,0	16,0	0,8	20,0	5,0
3,20	19,0	31,0	19,0	0,87	21,84	4,58
3,40	18,0	31,0	18,0	0,87	20,69	4,83
3,60	18,0	31,0	18,0	1,0	18,0	5,56
3,80	18,0	33,0	18,0	0,87	20,69	4,83
4,00	20,0	33,0	20,0	0,87	22,99	4,35
4,20	19,0	32,0	19,0	0,87	21,84	4,58
4,40	20,0	33,0	20,0	1,0	20,0	5,0
4,60	21,0	36,0	21,0	1,13	18,58	5,38
4,80	22,0	39,0	22,0	1,07	20,56	4,86
5,00	18,0	34,0	18,0	0,93	19,35	5,17
5,20	18,0	32,0	18,0	0,93	19,35	5,17
5,40	16,0	30,0	16,0	0,93	17,2	5,81
5,60	17,0	31,0	17,0	1,0	17,0	5,88
5,80	16,0	31,0	16,0	0,93	17,2	5,81
6,00	15,0	29,0	15,0	0,93	16,13	6,2
6,20	16,0	30,0	16,0	0,93	17,2	5,81
6,40	17,0	31,0	17,0	0,87	19,54	5,12
6,60	18,0	31,0	18,0	0,93	19,35	5,17
6,80	14,0	28,0	14,0	0,73	19,18	5,21
7,00	20,0	31,0	20,0	1,33	15,04	6,65
7,20	18,0	38,0	18,0	1,27	14,17	7,06
7,40	21,0	40,0	21,0	1,13	18,58	5,38
7,60	29,0	46,0	29,0	1,4	20,71	4,83
7,80	31,0	52,0	31,0	1,67	18,56	5,39
8,00	35,0	60,0	35,0	2,0	17,5	5,71
8,20	34,0	64,0	34,0	1,73	19,65	5,09
8,40	42,0	68,0	42,0	1,93	21,76	4,6
8,60	39,0	68,0	39,0	2,6	15,0	6,67
8,80	40,0	79,0	40,0	2,0	20,0	5,0
9,00	48,0	78,0	48,0	2,0	24,0	4,17
9,20	51,0	81,0	51,0	2,6	19,62	5,1
9,40	47,0	86,0	47,0	2,2	21,36	4,68
9,60	43,0	76,0	43,0	2,6	16,54	6,05
9,80	35,0	74,0	35,0	1,6	21,88	4,57
10,00	45,0	69,0	45,0	1,93	23,32	4,29
10,20	48,0	77,0	48,0	2,27	21,15	4,73
10,40	42,0	76,0	42,0	2,07	20,29	4,93
10,60	51,0	82,0	52,52	0,0		0,0

Prof. Strato (m)	qc Media (Kg/cm ²)	fs Media (Kg/cm ²)	Gamma Medio (t/m ³)	Comp. Geotecnico	Descrizione
7,40	15,86	0,92	1,92	Incoerente-Coesivo	limo sabbioso
8,80	35,71	1,9	2,06	Coesivo	limo argilloso
10,60	45,72	1,92	2,1	Coesivo	argilla limosa

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 ²)
Eu:	Modulo di deformazione non drenato (Kg/cm ²)
Mo:	Modulo Edometrico (Kg/cm ²)
G:	Modulo di deformazione a taglio (Kg/cm ²)
OCR:	Grado di sovraconsolidazione
Puv:	Peso unità di volume (t/m ³)
PuvS:	Peso unità di volume saturo (t/m ³)
Dr:	Densità relativa (%)
Fi:	Angolo di resistenza al taglio (°)
Ey:	Modulo di Young (Kg/cm ²)
K:	Permeabilità (cm/s)

Nr.	Prof.	Tipo	Cu	Eu	Mo	G	OCR	Puv	PuvS	Dr	Fi	Ey	K
1	7,40	CI	0,62	568,11	48,1	151,55	0,52	1,93	2,01	18,41	22,62	31,72	1,72E-11
2	8,80	C	1,45	1280,44	71,42	248,84	9,0	2,06	2,14	--	--	--	1,72E-11
3	10,60	C	1,88	1643,32	91,44	289,39	9,0	2,1	2,18	--	--	--	9,13E-09

RELAZIONE DI CALCOLO

VERIFICA DELLA STABILITA'

Definizione

Per pendio s'intende una porzione di versante naturale il cui profilo originario è stato modificato da interventi artificiali rilevanti rispetto alla stabilità. Per frana s'intende una situazione di instabilità che interessa versanti naturali e coinvolgono volumi considerevoli di terreno.

Introduzione all'analisi di stabilità

La risoluzione di un problema di stabilità richiede la presa in conto delle equazioni di campo e dei legami costitutivi. Le prime sono di equilibrio, le seconde descrivono il comportamento del terreno. Tali equazioni risultano particolarmente complesse in quanto i terreni sono dei sistemi multifase, che possono essere ricondotti a sistemi monofase solo in condizioni di terreno secco, o di analisi in condizioni drenate.

Nella maggior parte dei casi ci si trova a dover trattare un materiale che se saturo è per lo meno bifase, ciò rende la trattazione delle equazioni di equilibrio notevolmente complicata. Inoltre è praticamente impossibile definire una legge costitutiva di validità generale, in quanto i terreni presentano un comportamento non-lineare già a piccole deformazioni, sono anisotropi ed inoltre il loro comportamento dipende non solo dallo sforzo deviatorico ma anche da quello normale. A causa delle suddette difficoltà vengono introdotte delle ipotesi semplificative:

- (a) Si usano leggi costitutive semplificate: modello rigido perfettamente plastico. Si assume che la resistenza del materiale sia espressa unicamente dai parametri coesione (c) e angolo di resistenza al taglio (ϕ), costanti per il terreno e caratteristici dello stato plastico; quindi si suppone valido il criterio di rottura di Mohr-Coulomb.
- (b) In alcuni casi vengono soddisfatte solo in parte le equazioni di equilibrio.

Metodo dei concii

La massa interessata dallo scivolamento viene suddivisa in un numero conveniente di concii. Se il numero dei concii è pari a n , il problema presenta le seguenti incognite:

- n valori delle forze normali N_i agenti sulla base di ciascun concio;
- n valori delle forze di taglio alla base del concio T_i
- $(n-1)$ forze normali E_i agenti sull'interfaccia dei concii;
- $(n-1)$ forze tangenziali X_i agenti sull'interfaccia dei concii;
- n valori della coordinata a che individua il punto di applicazione delle E_i ;
- $(n-1)$ valori della coordinata che individua il punto di applicazione delle X_i ;
- una incognita costituita dal fattore di sicurezza F .

Complessivamente le incognite sono $(6n-2)$.

mentre le equazioni a disposizione sono:

- Equazioni di equilibrio dei momenti n
- Equazioni di equilibrio alla traslazione verticale n
- Equazioni di equilibrio alla traslazione orizzontale n
- Equazioni relative al criterio di rottura n
- Totale numero di equazioni $4n$

Il problema è staticamente indeterminato ed il grado di indeterminazione è pari a

$$i = (6n-2) - (4n) = 2n-2.$$

Il grado di indeterminazione si riduce ulteriormente a $(n-2)$ in quando si fa l'assunzione che

N_i sia applicato nel punto medio della striscia, ciò equivale ad ipotizzare che le tensioni normali totali siano uniformemente distribuite.

I diversi metodi che si basano sulla teoria dell'equilibrio limite si differenziano per il modo in cui vengono eliminate le $(n-2)$ indeterminazioni.

Metodo di JANBU (1967)

Janbu estese il metodo di Bishop a superfici di scorrimento di forma qualsiasi.

Quando vengono trattate superfici di scorrimento di forma qualsiasi il braccio delle forze cambia (nel caso delle superfici circolari resta costante e pari al raggio) a tal motivo risulta più conveniente valutare l'equazione del momento rispetto allo spigolo di ogni blocco.

$$F = \frac{\sum \{ c_i \times b_i + (W_i - u_i \times b_i + \Delta X_i) \times \tan \phi_i \} \times \frac{\sec^2 \alpha_i}{1 + \tan \alpha_i \times \tan \phi_i / F}}{\sum W_i \times \tan \alpha_i}$$

Assumendo $DX_i = 0$ si ottiene il metodo ordinario.

Janbu propone inoltre un metodo per la correzione del fattore di sicurezza ottenuto con il metodo ordinario secondo la seguente:

$$F_{\text{corretto}} = f_o F$$

dove f_o è riportato in grafici funzione di geometria e parametri geotecnici.

Tale correzione è molto attendibile per pendii poco inclinati.

VALUTAZIONE DELL'AZIONE SISMICA

Nelle verifiche agli Stati Limite Ultimi la stabilità dei pendii nei confronti dell'azione sismica viene eseguita con il metodo pseudo-statico. Per i terreni che sotto l'azione di un carico ciclico possono sviluppare pressioni interstiziali elevate viene considerato un aumento in percento delle pressioni neutre che tiene conto di questo fattore di perdita di resistenza.

Ai fini della valutazione dell'azione sismica, nelle verifiche agli stati limite ultimi, vengono considerate le seguenti forze statiche equivalenti:

$$F_H = K_o \cdot W$$

$$F_V = K_v \cdot W$$

Essendo:

F_H e F_V rispettivamente la componente orizzontale e verticale della forza d'inerzia applicata al baricentro del concio;

W : peso concio

K_o : Coefficiente sismico orizzontale

K_v : Coefficiente sismico verticale.

Calcolo coefficienti sismici

Le NTC 2008 calcolano i coefficienti K_o e K_v in dipendenza di vari fattori:

$$K_o = \beta_s \times (a_{\text{max}}/g)$$

$$K_v = \pm 0,5 \times K_o$$

Con

β_s coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito;

a_{max} accelerazione orizzontale massima attesa al sito;

g accelerazione di gravità.

Tutti i fattori presenti nelle precedenti formule dipendono dall'accelerazione massima attesa sul sito di riferimento rigido e dalle caratteristiche geomorfologiche del territorio.

$$a_{\text{max}} = SS \cdot ST \cdot a_g$$

SS (effetto di amplificazione stratigrafica): $0.90 \leq SS \leq 1.80$; è funzione di F_0 (Fattore massimo di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale) e della categoria di suolo (A, B, C, D, E).

ST (effetto di amplificazione topografica).

Il valore di ST varia con il variare delle quattro categorie topografiche introdotte:

$$T1(ST = 1.0) \quad T2(ST = 1.20) \quad T3(ST = 1.20) \quad T4(ST = 1.40).$$

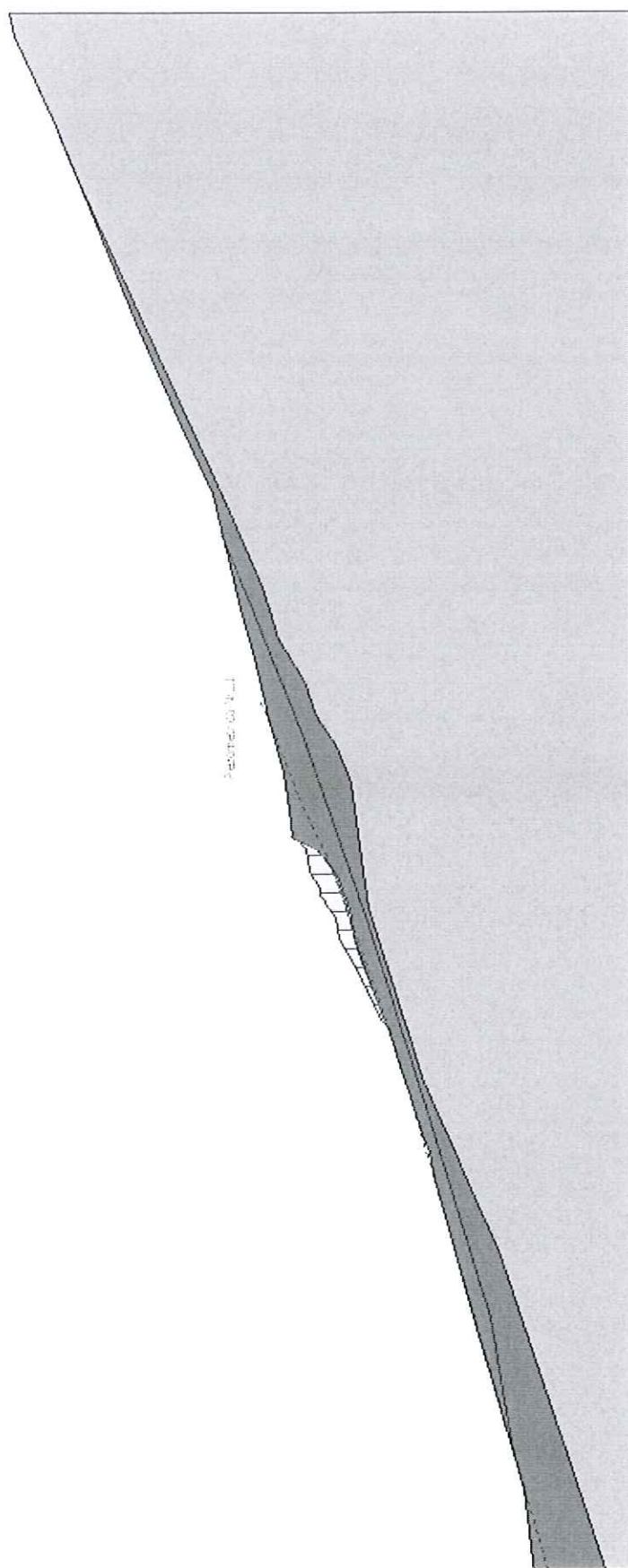
Questi valori sono calcolati come funzione del punto in cui si trova il sito oggetto di analisi. Il parametro di entrata per il calcolo è il tempo di ritorno dell'evento sismico che è valutato come segue:

$$TR = -VR / \ln(1 - PVR)$$

Con VR vita di riferimento della costruzione e PVR probabilità di superamento, nella vita di riferimento, associata allo stato limite considerato. La vita di riferimento dipende dalla vita nominale della costruzione e dalla classe d'uso della costruzione (in linea con quanto previsto al punto 2.4.3 delle NTC). In ogni caso VR dovrà essere maggiore o uguale a 35 anni.

Ricerca della superficie di scorrimento critica

In presenza di mezzi omogenei non si hanno a disposizione metodi per individuare la superficie di scorrimento critica ed occorre esaminare un numero elevato di potenziali superfici. Nel caso vengano ipotizzate superfici di forma circolare, la ricerca diventa più semplice, in quanto dopo aver posizionato una maglia dei centri costituita da m righe e n colonne saranno esaminate tutte le superfici aventi per centro il generico nodo della maglia $m \times n$ e raggio variabile in un determinato range di valori tale da esaminare superfici cinematicamente ammissibili.



Analisi di stabilità dei pendii con JANBU

Lat./Long.	43,052252/13,563004
Normativa	NTC 2008
Numero di strati	3,0
Numero dei conci	10,0
Grado di sicurezza ritenuto accettabile	1,1
Coefficiente parziale resistenza	1,1
Analisi	Condizione drenata
Superficie di forma generica	

Coefficienti sismici [N.T.C.]

Dati generali

Tipo opera:	2 - Opere ordinarie
Classe d'uso:	Classe I
Vita nominale:	50,0 [anni]
Vita di riferimento:	35,0 [anni]

Parametri sismici su sito di riferimento

Categoria sottosuolo:	C
Categoria topografica:	T2

S.L. Stato limite	TR Tempo ritorno [anni]	ag [m/s ²]	F0 [-]	TC* [sec]
S.L.O.	30,0	0,55	2,46	0,27
S.L.D.	35,0	0,59	2,46	0,28
S.L.V.	332,0	1,53	2,43	0,34
S.L.C.	682,0	2,0	2,45	0,34

Coefficienti sismici orizzontali e verticali

Opera:	Stabilità dei pendii e Fondazioni
--------	-----------------------------------

S.L. Stato limite	amax [m/s ²]	beta [-]	kh [-]	kv [sec]
S.L.O.	0,99	0,2	0,0202	0,0101
S.L.D.	1,062	0,2	0,0217	0,0108
S.L.V.	2,7035	0,24	0,0662	0,0331
S.L.C.	3,3604	0,28	0,096	0,048

Coefficiente azione sismica orizzontale	0,022
Coefficiente azione sismica verticale	0,011

Vertici profilo

N	X m	y m
1	4090,24	1729,96
2	4111,71	1732,42
3	4149,98	1742,42
4	4178,44	1749,57
5	4183,54	1750,57
6	4193,2	1753,57
7	4196,61	1754,57
8	4203,58	1756,57
9	4207,06	1757,57
10	4210,6	1758,57
11	4211,29	1758,7
12	4211,92	1759,57
13	4213,18	1760,17
14	4223,11	1764,57
15	4227,22	1766,57
16	4229,36	1767,57
17	4229,49	1767,92
18	4234,3	1768,57
19	4237,39	1770,5
20	4238,03	1770,57
21	4238,88	1771,51

22	4240,35	1771,57
23	4241,35	1771,76
24	4242,43	1772,57
25	4244,45	1773,54
26	4248,95	1774,05
27	4249,28	1774,57
28	4250,58	1775,57
29	4251,23	1777,0
30	4257,38	1777,57
31	4264,9	1778,57
32	4276,21	1781,14
33	4290,29	1784,37
34	4302,35	1787,14
35	4314,52	1789,94
36	4325,32	1792,42
37	4338,1	1797,59
38	4350,89	1802,74
39	4361,75	1806,85
40	4376,42	1812,42
41	4403,91	1822,42
42	4423,38	1830,58
43	4428,5	1831,52

Piezometrica Nr..1

Nr.	X m	y m
1	4090,24	1726,62
2	4183,13	1750,89
3	4210,18	1757,96
4	4229,24	1764,11
5	4247,38	1770,26
6	4260,6	1775,79
7	4272,59	1779,79
8	4277,82	1781,94
9	4428,5	1843,99

Vertici strato1

N	X m	y m
1	4090,24	1729,96
2	4111,71	1732,42
3	4149,98	1742,42
4	4178,44	1749,57
5	4183,54	1750,57
6	4193,2	1753,57
7	4196,61	1754,57
8	4203,58	1756,57
9	4207,06	1757,57
10	4210,6	1758,57
11	4211,29	1758,7
12	4212,98	1759,29
13	4217,91	1760,98
14	4224,49	1763,23
15	4228,42	1764,57
16	4231,37	1765,1
17	4234,21	1765,61
18	4237,25	1766,15
19	4240,26	1767,18
20	4242,32	1767,88
21	4243,28	1768,21
22	4244,26	1768,8
23	4245,19	1769,36
24	4247,11	1770,5
25	4248,06	1771,34
26	4249,02	1772,18
27	4249,79	1773,88
28	4250,57	1775,57
29	4251,23	1777,0
30	4257,38	1777,57
31	4264,9	1778,57

32	4276,21	1781,14
33	4290,29	1784,37
34	4302,35	1787,14
35	4314,52	1789,94
36	4325,32	1792,42
37	4338,1	1797,59
38	4350,89	1802,74
39	4361,75	1806,85
40	4376,42	1812,42
41	4403,91	1822,42
42	4423,38	1830,58
43	4428,5	1831,52

Vertici strato2

N	X m	y m
1	4090,24	1715,16
2	4162,53	1736,94
3	4198,87	1751,47
4	4236,13	1762,11
5	4262,98	1765,36
6	4270,9	1768,28
7	4277,41	1772,25
8	4285,27	1774,44
9	4294,12	1779,57
10	4305,13	1782,52
11	4322,87	1789,75
12	4350,63	1801,05
13	4396,37	1819,67
14	4403,91	1822,42
15	4415,38	1827,22
16	4423,38	1830,58
17	4428,5	1831,52

Vertici superficie Nr...1

N	X m	y m
1	4119,27	1734,5
2	4148,51	1738,74
3	4194,91	1751,26
4	4235,8	1763,05
5	4273,37	1774,84
6	4304,3	1785,89
7	4316,61	1790,43

Vertici superficie Nr...2

N	X m	y m
1	4210,98	1758,75
2	4226,57	1764,16
3	4229,02	1764,86
4	4236,84	1766,38
5	4243,85	1768,71
6	4248,52	1771,86
7	4250,97	1775,36
8	4251,59	1777,11

Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

Tangente angolo di resistenza al taglio	1,0
Coesione efficace	1,0
Coesione non drenata	1,0
Riduzione parametri geotecnici terreno	No

Stratigrafia

c: coesione; cu: coesione non drenata; Fi: Angolo di attrito; G: Peso Specifico; Gs: Peso Specifico Saturo

Strato	c (kg/cm ²)	cu (kg/cm ²)	Fi (°)	G (Kg/m ³)	Gs (Kg/m ³)	Litologia	
1	0		16	1650	1800	Terreno mobilitato	
2	0.1		24	1800	2000	Limo o limo con sabbia	
3	0,2		25	2100	2300	Argilla o argilla limosa consistente	

B: Larghezza del concio; Alfa: Angolo di inclinazione della base del concio; Li: Lunghezza della base del concio; Wi: Peso del concio ; Ui: Forze derivanti dalle pressioni neutre; Ni: forze agenti normalmente alla direzione di scivolamento; Ti: forze agenti parallelamente alla superficie di scivolamento; Fi: Angolo di attrito; c: coesione.

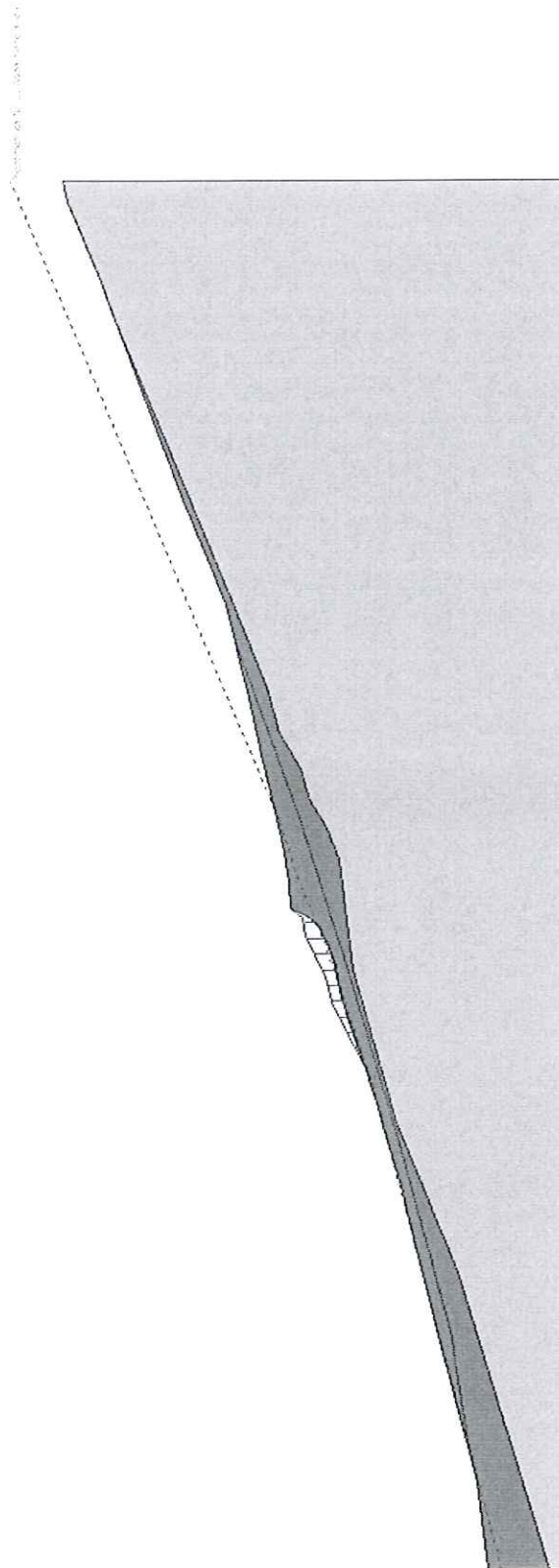
Superficie Nr...1 Fattore di sicurezza=2,06

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (Kg)	Kh•Wi (Kg)	Kv•Wi (Kg)	c (kg/cm ²)	Fi (°)	Ui (Kg)	N'i (Kg)	Ti (Kg)
1	19,64	8,3	19,84	40317,64	886,99	443,49	0,1	24,0	0,0	37922,0	19617,1
2	19,64	12,1	20,08	96876,25	2131,28	1065,64	0,1	24,0	0,0	92150,3	33038,4
3	19,64	15,1	20,34	103365,7	2274,05	1137,02	0,1	24,0	0,0	97941,8	35010,5
4	19,64	15,3	20,36	90516,21	1991,36	995,68	0,1	24,0	0,0	85401,1	31992,3
5	19,64	16,1	20,44	98925,78	2176,37	1088,18	0,1	24,0	0,0	93496,8	34142,9
6	19,64	16,2	20,45	209430,8	4607,48	2303,74	0,1	24,0	0,0	201193,3	60575,1
7	19,64	17,4	20,58	242713,4	5339,7	2669,85	0,1	24,0	0,0	233708,9	69047,1
8	19,64	17,9	20,63	215236,0	4735,19	2367,6	0,1	24,0	0,0	206928,2	62625,1
9	19,64	19,7	20,85	138031,0	3036,68	1518,34	0,1	24,0	0,0	131574,3	44585,1
10	19,64	20,0	20,9	46880,48	1031,37	515,69	0,1	24,0	0,0	42245,7	22343,1

Superficie Nr...2 Fattore di sicurezza=0,79

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (Kg)	Kh•Wi (Kg)	Kv•Wi (Kg)	c (kg/cm ²)	Fi (°)	Ui (Kg)	N'i (Kg)	Ti (Kg)
1	4,01	19,1	4,25	4563,07	100,39	50,19	0,0	16,0	0,0	4247,3	1777,5
2	4,01	19,1	4,25	7117,43	156,58	78,29	0,0	16,0	0,0	6624,8	2772,6
3	4,01	19,1	4,25	9670,97	212,76	106,38	0,0	16,0	0,0	9001,6	3767,4
4	4,01	18,4	4,23	13077,31	287,7	143,85	0,0	16,0	0,0	12179,7	5075,8
5	4,01	12,9	4,12	20083,99	441,85	220,92	0,0	16,0	0,0	18892,7	7663,6
6	4,01	11,0	4,09	18118,92	398,62	199,31	0,0	16,0	0,0	17141,8	6904,0
7	4,01	16,0	4,18	25303,44	556,68	278,34	0,0	16,0	0,0	23641,9	9725,3
8	4,01	18,4	4,23	26248,39	577,46	288,73	0,0	16,0	0,0	24446,4	10188,5
9	4,01	33,0	4,78	24836,22	546,4	273,2	0,0	16,0	0,0	23561,4	11104,7
10	4,01	55,4	7,07	4425,66	97,36	48,68	0,0	16,0	0,0	4955,1	3451,5

PROFILO MODIFICATO



Analisi di stabilità dei pendii con JANBU

Lat./Long.	43,052252/13,563004
Normativa	NTC 2008
Numero di strati	3,0
Numero dei conci	10,0
Grado di sicurezza ritenuto accettabile	1,1
Coefficiente parziale resistenza	1,1
Analisi	Condizione drenata
Superficie di forma generica	

Coefficienti sismici [N.T.C.]

Dati generali

Tipo opera:	2 - Opere ordinarie
Classe d'uso:	Classe I
Vita nominale:	50,0 [anni]
Vita di riferimento:	35,0 [anni]

Parametri sismici su sito di riferimento

Categoria sottosuolo:	C
Categoria topografica:	T2

S.L. Stato limite	TR Tempo ritorno [anni]	ag [m/s²]	F0 [-]	TC* [sec]
S.L.O.	30,0	0,55	2,46	0,27
S.L.D.	35,0	0,59	2,46	0,28
S.L.V.	332,0	1,53	2,43	0,34
S.L.C.	682,0	2,0	2,45	0,34

Coefficienti sismici orizzontali e verticali

Opera:	Stabilità dei pendii e Fondazioni
--------	-----------------------------------

S.L. Stato limite	amax [m/s²]	beta [-]	kh [-]	kv [sec]
S.L.O.	0,99	0,2	0,0202	0,0101
S.L.D.	1,062	0,2	0,0217	0,0108
S.L.V.	2,7035	0,24	0,0662	0,0331
S.L.C.	3,3604	0,28	0,096	0,048

Coefficiente azione sismica orizzontale	0,022
Coefficiente azione sismica verticale	0,011

Vertici profilo

N	X m	y m
1	4090,24	1729,96
2	4111,71	1732,42
3	4149,98	1742,42
4	4178,44	1749,57
5	4183,54	1750,57
6	4193,2	1753,57
7	4196,61	1754,57
8	4203,58	1756,57
9	4207,06	1757,57
10	4210,6	1758,57
11	4211,29	1758,57
12	4223,11	1764,57
13	4227,22	1766,57
14	4234,3	1768,57
15	4244,45	1773,54
16	4248,95	1774,05
17	4251,23	1777,0
18	4257,38	1777,57
19	4264,9	1778,57
20	4276,21	1781,14
21	4290,29	1784,37
22	4302,35	1787,14

23	4314,52	1789,94
24	4325,32	1792,42
25	4338,1	1797,59
26	4350,89	1802,74
27	4361,75	1806,85
28	4376,42	1812,42
29	4403,91	1822,42
30	4423,38	1830,58
31	4428,5	1831,52

Piezometrica Nr..1

Nr.	X m	y m
1	4090,24	1726,62
2	4183,13	1750,89
3	4210,18	1757,96
4	4229,24	1764,11
5	4247,38	1770,26
6	4260,6	1775,79
7	4272,59	1779,79
8	4277,82	1781,94
9	4428,5	1843,99

Vertici strato1

N	X m	y m
1	4090,24	1729,96
2	4111,71	1732,42
3	4149,98	1742,42
4	4178,44	1749,57
5	4183,54	1750,57
6	4193,2	1753,57
7	4196,61	1754,57
8	4203,58	1756,57
9	4207,06	1757,57
10	4210,6	1758,57
11	4211,29	1758,7
12	4212,98	1759,29
13	4217,91	1760,98
14	4224,49	1763,23
15	4228,42	1764,57
16	4231,37	1765,1
17	4234,21	1765,61
18	4237,25	1766,15
19	4240,26	1767,18
20	4242,32	1767,88
21	4243,28	1768,21
22	4244,26	1768,8
23	4245,19	1769,36
24	4247,11	1770,5
25	4248,06	1771,34
26	4249,02	1772,18
27	4249,79	1773,88
28	4250,57	1775,57
29	4251,23	1777,0
30	4257,38	1777,57
31	4264,9	1778,57
32	4276,21	1781,14
33	4290,29	1784,37
34	4302,35	1787,14
35	4314,52	1789,94
36	4325,32	1792,42
37	4338,1	1797,59
38	4350,89	1802,74
39	4361,75	1806,85
40	4376,42	1812,42
41	4403,91	1822,42
42	4423,38	1830,58
43	4428,5	1831,52

Vertici strato2

N	X m	y m
1	4090,24	1715,16
2	4162,53	1736,94
3	4198,87	1751,47
4	4236,13	1762,11
5	4262,98	1765,36
6	4270,9	1768,28
7	4277,41	1772,25
8	4285,27	1774,44
9	4294,12	1779,57
10	4305,13	1782,52
11	4322,87	1789,75
12	4350,63	1801,05
13	4396,37	1819,67
14	4403,91	1822,42
15	4415,38	1827,22
16	4423,38	1830,58
17	4428,5	1831,52

Vertici superficie Nr...1

N	X m	y m
1	4119,27	1734,5
2	4148,51	1738,74
3	4194,91	1751,26
4	4235,8	1763,05
5	4273,37	1774,84
6	4304,3	1785,89
7	4316,61	1790,43

Vertici superficie Nr...2

N	X m	y m
1	4209,65	1758,41
2	4223,48	1763,0
3	4228,39	1764,67
4	4237,13	1766,18
5	4242,96	1768,23
6	4247,01	1770,55
7	4248,95	1772,28
8	4251,64	1777,11

Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

=====	
Tangente angolo di resistenza al taglio	1,0
Coesione efficace	1,0
Coesione non drenata	1,0
Riduzione parametri geotecnici terreno	No
=====	

Stratigrafia

c: coesione; cu: coesione non drenata; Fi: Angolo di attrito; G: Peso Specifico; Gs: Peso Specifico Saturo; K: Modulo di Winkler

Strato	c (kg/cm ²)	cu (kg/cm ²)	Fi (°)	G (Kg/m ³)	Gs (Kg/m ³)	K (Kg/cm ³)	Litologia	
1	0,1		24	1650	1800	0,00	Terreno mobilitato	
2	0,1		24	1800	2000	0,00	Limo o limo con sabbia	
3	0,2		25	2100	2300	0,00	Argilla o argilla limosa consistente	

B: Larghezza del concio; Alfa: Angolo di inclinazione della base del concio; Li: Lunghezza della base del concio; Wi: Peso del concio ; Ui: Forze derivanti dalle pressioni neutre; Ni: forze agenti normalmente alla direzione di scivolamento; Ti: forze agenti parallelamente alla superficie di scivolamento; Fi: Angolo di attrito; c: coesione.

Superficie Nr...2 Fattore di sicurezza=2,05

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (Kg)	Kh•Wi (Kg)	Kv•Wi (Kg)	c (kg/cm ²)	Fi (°)	Ui (Kg)	N'i (Kg)	Ti (Kg)
1	3,81	18,4	4,02	2111,68	46,46	23,23	0,1	24,0	0,0	1406,0	2599,6
2	3,81	18,4	4,02	6338,89	139,46	69,73	0,1	24,0	0,0	5535,7	3628,8
3	3,81	18,5	4,02	10527,69	231,61	115,8	0,1	24,0	0,0	9624,1	4654,3
4	3,81	18,1	4,01	14257,89	313,67	156,84	0,1	24,0	0,0	13277,7	5544,9
5	3,81	9,8	3,87	15587,59	342,93	171,46	0,1	24,0	0,0	14856,1	5652,2
6	3,81	9,8	3,87	18408,29	404,98	202,49	0,1	24,0	0,0	17606,2	6312,3
7	3,81	17,5	4,0	24283,97	534,25	267,12	0,1	24,0	0,0	23072,3	7947,8
8	3,81	22,3	4,12	27307,47	600,76	300,38	0,1	24,0	0,0	26087,1	9037,1
9	3,81	32,5	4,52	23093,32	508,05	254,03	0,1	24,0	0,0	22467,7	9151,3
10	3,81	56,6	6,93	5440,91	119,7	59,85	0,1	24,0	0,0	3162,8	8058,6

INDAGINE SISMICA PASSIVA A STAZIONE SINGOLA
MEDIANTE TECNICA DEI RAPPORTI SPETTRALI O HVSR

DISSESTO STATICO TRATTO STRADALE
VIA MONTANELLE
MONSAMPIETRO MORICO

Porto San Giorgio, 18 Aprile 2011

il geologo

Dr. Graziano Ciferri

ORDINE DEI GEOLOGI DELLA REGIONE MARCHE

geologo specialista

numero 356 albo sezione A (1993)

INDICE

PREMESSA	pag. 2
STRUMENTAZIONE IMPIEGATA	pag. 3
TERRENI	pag. 3
Procedura di analisi dati per stazione singola H/V	pag. 3
Stazione Tr1	pag. 4
APPENDICE	pag. 8
Oggetto della misura: Il microtremore sismico ambientale	pag. 8
La tecnica impiegata: Cenni storici	pag. 9

PREMESSA

Lo scopo di questa indagine è la caratterizzazione sismica del sottosuolo e, in particolare, individuare le discontinuità sismiche nonché ricostruire la profondità del locale sub-strato geologico (o meglio bedrock geofisico). Con tale metodo viene stimata la velocità di propagazione delle onde di taglio (V_{s30}) come esplicitamente richiesto dalle Norme Tecniche per le Costruzioni del 14 Gennaio 2008. L'indagine geofisica proposta si avvale della metodologia basata sulla tecnica di Nakamura e sul rapporto spettrale H/V. La tecnica dei rapporti spettrali o HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio) è totalmente non invasiva, molto rapida, si può applicare ovunque e non necessita di nessun tipo di perforazione, nè di stendimenti di cavi, nè di energizzazioni esterne diverse dal rumore ambientale che in natura esiste ovunque. I risultati che si possono ottenere da una registrazione di questo tipo sono:

- la **frequenza caratteristica di risonanza del sito** che rappresenta un parametro fondamentale per il corretto dimensionamento degli edifici in termini di risposta sismica locale, in quanto si dovranno adottare adeguate precauzioni nell'edificare manufatti aventi la stessa frequenza di vibrazione del terreno per evitare l'effetto di "doppia risonanza" estremamente pericolosa per la stabilità degli stessi in caso di sisma;
- la **frequenza fondamentale di risonanza di un edificio**, qualora la misura venga effettuata all'interno dello stesso. In quanto risulterà possibile confrontarla con quella caratteristica del sito e capire se in caso di sisma la struttura potrà essere o meno a rischio;
- la **velocità media delle onde di taglio V_s e V_{s30}** calcolata tramite un apposito codice di calcolo. E' necessario in questo caso, per l'affidabilità del risultato conoscere la profondità di un riflettore noto dalla stratigrafia (prova penetrometrica, sondaggio geognostico ecc..) e riconoscibile nella curva H/V. E' possibile calcolare la V_{s30} e la relativa categoria del suolo di fondazione come esplicitamente richiesto dal DM 14/01/08;

- la stratigrafia del sottosuolo con un range di indagine compreso tra 0.5 e 700 mt. di profondità, anche se il dettaglio maggiore si ha nei primi 100 mt. Il principio su cui si basa la presente tecnica, in termini di stratigrafia del sottosuolo, è rappresentato dalla definizione di strato inteso come unità distinta da quelle sopra e sottostanti per un contrasto d'impedenza, ossia per il rapporto tra i prodotti di velocità delle onde sismiche nel mezzo e densità del mezzo stesso.

STRUMENTAZIONE IMPIEGATA

Le misure di microtremore ambientale sono state eseguite per mezzo di un tromografo digitale portatile progettato specificamente per l'acquisizione del rumore sismico. Lo strumento (Tromino®, Micromed spa) è dotato di tre sensori elettrodinamici (velocimetri) orientati secondo le direzioni NS, EW e verticalmente, ad alta definizione, alimentato a batterie, senza cavi esterni. I dati di rumore, amplificati e digitalizzati a 24 bit equivalenti, sono stati acquisiti alle frequenze di campionamento di 128 Hz.

Sui terreni di sedime è stata condotta, in data *18 Aprile 2011*, un'indagine geofisica attraverso l'acquisizione di n.1 registrazione a stazione singola, denominata Tr1 ubicata sul terreno di sedime.

Procedura di analisi dati per stazioni singole H/V

Dalla registrazione del rumore sismico ambientale in campo libero si ricava la curva H/V, secondo la procedura descritta in Castellaro et al. (2005), secondo i seguenti parametri:

- larghezza delle finestre d'analisi 20 s,
- liscio secondo finestra triangolare con ampiezza pari a 10% della frequenza centrale,
- rimozione dei transetti sulla serie temporale degli H/V.

La curva H/V viene riprodotta creando una serie di modelli sintetici (*che contemplano la propagazione delle onde di Rayleigh e di Love nel modo fondamentale e superiori in sistemi multistrato*), fino a considerare per buono il modello teorico più vicino alle curve sperimentali. Tale operazione è possibile esclusivamente in presenza di un vincolo che può essere la profondità, nota tramite prove dirette (penetrometrica eseguita in situ), di un riflettore sismico il cui marker sia riconoscibile nelle curve H/V (Castellaro e Mulargia, 2008) o la velocità delle onde di taglio (V_s) del primo strato nota da altre indagini. Nel caso specifico si sono ottenuti i seguenti risultati:

Stazione Tr1

In Figura 1 sono riprodotti gli spettri dei singoli canali N-S, E-W e componente verticale registrati sul lotto oggetto di studio.

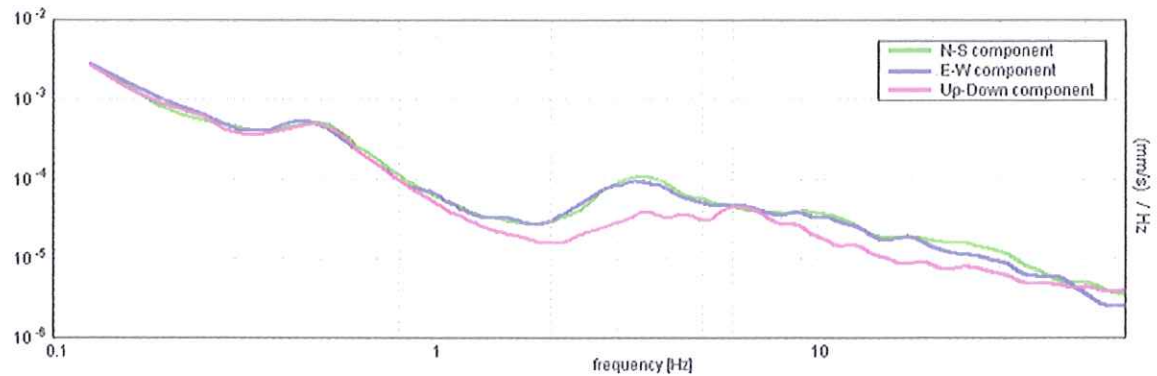


figura 1

In Figura 2 è riprodotta la curva H/V teorica derivante dal modello di sottosuolo di Figura 3, sovrapposta alla curva H/V sperimentale registrata nel sito in oggetto. Si osserva una buona congruenza tra le due curve.

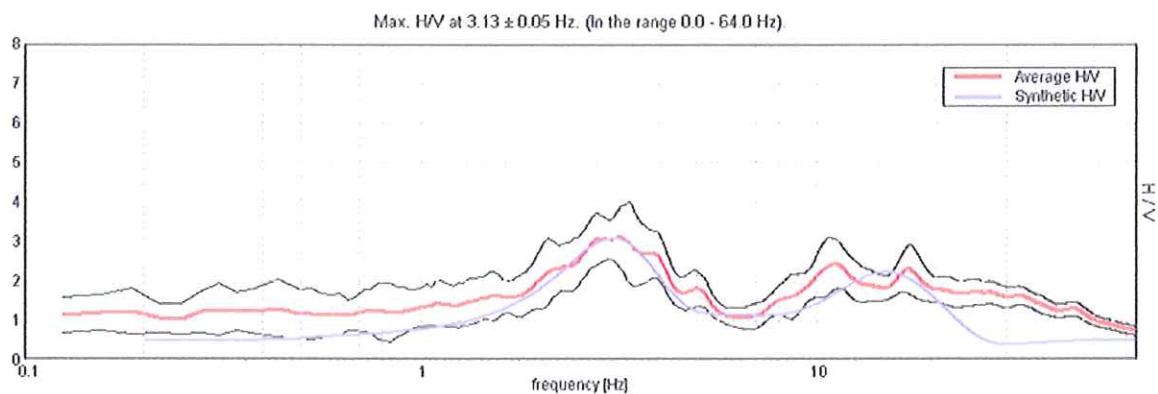


figura 2. Confronto tra la curva H/V sperimentale relativa al sito in oggetto (media in rosso e intervallo di confidenza al 95% in nero) e la curva H/V teorica ottenuta per il modello di sottosuolo di Tabella 1

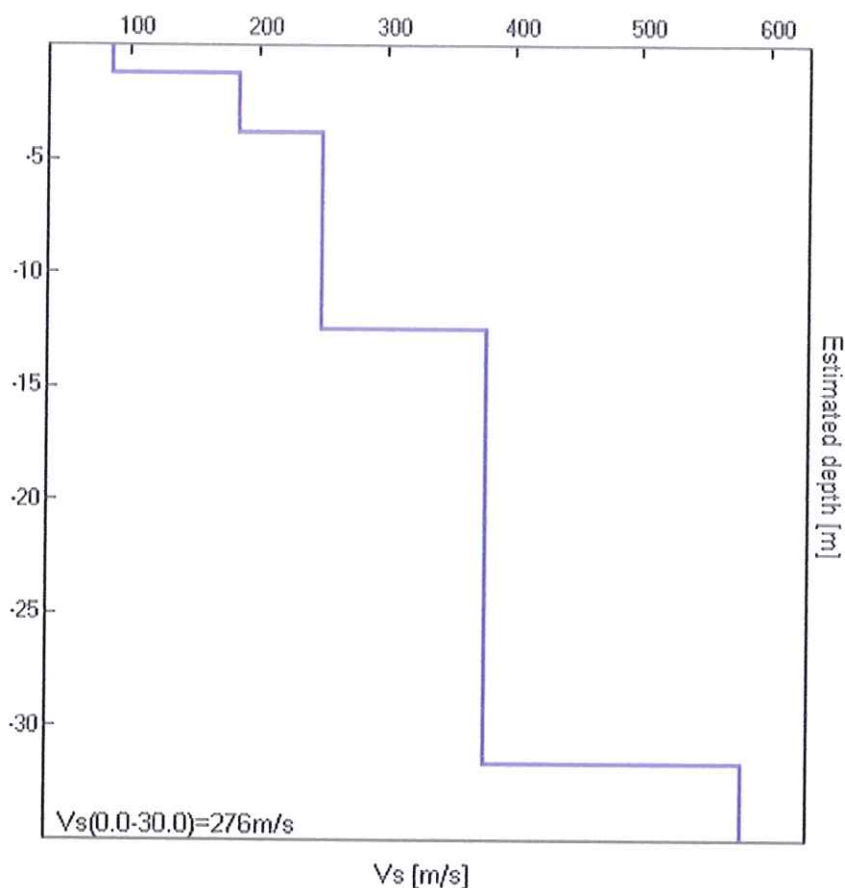


figura 3. Modello di velocità delle onde di taglio per il sito in oggetto.

Profondità	Spessore (m)	Vs (m/s)	Coefficiente di Poisson
1,20	1,20	86,00	0,35
3,80	2,60	185,00	0,35
12,50	8,70	250,00	0,35
31,7	19,20	380,00	0,45
Inf.	0,00	580,00	0,45

tabella 1. Modello di sottosuolo per il sito in oggetto.

E' stato quindi possibile stimare la Vs30, tramite la formula:

$$V_{s,30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{V_{s,i}}}$$

dove

$V_{s,30}$ = valore di velocità delle onde di taglio (m/s)

H = profondità (m) alla quale si desidera stimare V_s (30 metri in caso di V_{s30})

h_i = spessore dello strato i – esimo (m)

La velocità delle onde Vs a 30 mt dal piano di fondazione, come esplicitamente richiesto dalle **Norme Tecniche per le Costruzioni**, D.M. 14/01/2008, è pari a:

$$V_s(0,00-30,00) = 276 \text{ m/s}$$

Nella tabella seguente, s'illustra la qualità del segnale acquisito in base al progetto Sesame (linee guida 2005). Per l'affidabilità della curva HVSR devono essere positivi i primi tre parametri si osserva quindi che il picco a 5,5 Hz soddisfa i criteri a va pertanto assunto come frequenza fondamentale di risonanza del sito.

Max. H/V at 3,13 ± 0,05 Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).
--

Criteria for a reliable HVSR curve (tutti e tre dovrebbero essere verificati)			
$f_0 > 10 / L_w$	$3,13 > 0.50$	OK	
$nc(f_0) > 200$	$2125,0 > 200$	OK	
$sA(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $sA(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Exceeded 0 out of 151 times	OK	
Criteria for a cleare HVSR peak (almeno 5 su sei dovrebbero essere verificati)			
Exists f- in $[f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f_-) < A_0 / 2$	1.406 Hz	OK	
Exists f+ in $[f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f_+) < A_0 / 2$	5.344 Hz	OK	
$A_0 > 2$	$3.09 > 2$	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm sA(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.0081 < 0.05$	NO	
$sf < e(f_0)$	$0,0253 < 0.15625$	OK	
$sA(f_0) < q(f_0)$	$0.3137 < 1.58$	OK	

Nel caso specifico, quindi, per l'area in oggetto è stato determinato, attraverso l'esecuzione dell'indagine geofisica mediante tecnica dei rapporti spettrali o HVSR, un valore di Vs30 di 310 m/sec, pertanto alla luce dei risultati della sismica effettuata e tenendo conto anche delle risultanze delle prove geotecniche eseguite in situ, il suolo di fondazione in oggetto può essere assimilato, facendo riferimento alla normativa vigente (DM 14/01/08) ad una "categoria di suolo di tipo "C", depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs,30 compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < N_{\text{SPT},30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < c_{u,30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina).

Nella valutazione della categoria di suolo e nell'approccio alla progettazione strutturale del manufatto in questione, non vanno comunque trascurate le informazioni acquisite con l'indagine sismica circa la frequenza di risonanza del sito. Nel caso specifico, escludendo le frequenze > 10 Hz non significative dal punto di vista strutturale, sono state individuate due **frequenze caratteristiche di risonanza del terreno** è 3,0 – 3,5 Hz, a significare che il terreno in questione amplifica le onde di superficie rispetto all'imput su bedrock di riferimento.

Porto San Giorgio, 18 Aprile 2011

il geologo

Dr. Graziano Ciferri

ORDINE DEI GEOLOGI DELLA REGIONE MARCHE

geologo specialista

numero 356 albo sezione A (1993)

APPENDICE

TECNICHE DI INVERSIONE PER MISURE A STAZIONE SINGOLA

Oggetto della misura: il microtremore sismico ambientale

Il rumore sismico ambientale, presente ovunque sulla superficie terrestre, è generato, oltre che dall'attività dinamica terrestre, dai fenomeni atmosferici (onde oceaniche, vento) e dall'attività antropica. Si chiama anche microtremore poiché riguarda oscillazioni molto più piccole di quelle indotte dai terremoti nel campo vicino. I metodi che si basano sulla sua acquisizione si dicono passivi in quanto il rumore non è generato ad hoc, come ad esempio le esplosioni della sismica attiva. Nelle zone in cui non è presente alcuna sorgente di rumore locale e in assenza di vento, lo spettro in frequenza del rumore di fondo in un terreno roccioso e pianeggiante presenta l'andamento illustrato in Figura 27. A tale andamento generale, che è sempre presente, si sovrappongono le sorgenti locali, antropiche (traffico, industrie o anche il semplice passeggiare di una persona) e naturali che però si attenuano fortemente a frequenze superiori a 20 Hz, a causa dell'assorbimento anelastico originato dall'attrito interno delle rocce.

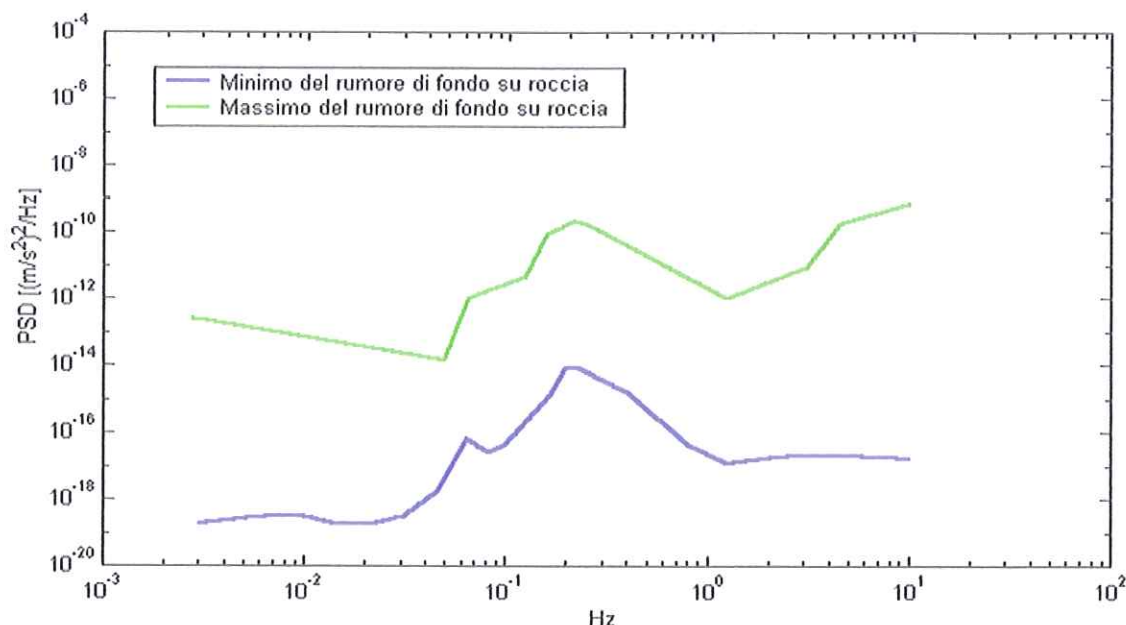


Figura 27. Modelli standard del rumore sismico massimo (in verde) e minimo (in blu) per la Terra secondo il servizio geologico statunitense (USGS). Gli spettri di potenza sono espressi in termini di accelerazione e sono relativi alla componente verticale del moto.

La tecnica impiegata. Cenni storici.

Dai primi studi di Kanai (1957) in poi, diversi metodi sono stati proposti per estrarre l'informazione relativa al sottosuolo a partire dagli spettri del rumore sismico registrati in un sito. Tra questi, la tecnica che si è maggiormente consolidata nell'uso è la tecnica dei rapporti spettrali tra le

componenti del moto orizzontale e quella verticale (Horizontal to Vertical Spectral Ratio, HVSR o H/V), applicata da Nogoshi e Igarashi (1970).

Il metodo fu in seguito reso popolare principalmente da Nakamura (1989) come strumento per la determinazione dell'amplificazione sismica locale. Mentre su questo punto non è ancora stato raggiunto consenso, è invece ampiamente riconosciuto che la curva H/V è in grado di fornire stime affidabili delle frequenze principali di risonanza dei sottosuoli e, tramite opportuna inversione, delle profondità dei substrati rocciosi sotto le coperture sedimentarie.

Studi recenti hanno dimostrato che ulteriori picchi a frequenza maggiori di quelle del bedrock sono riconducibili a contrasti di impedenza interni alla copertura sedimentaria e picchi a frequenze minori di quella del bedrock sono invece riconducibili a contrasti di impedenza interni al bedrock stesso. Riconosciuta questa capacità e dato che, se è disponibile una stima delle velocità delle onde elastiche, le frequenze di risonanza possono essere convertite in stratigrafia, ne risulta che il metodo H/V può essere usato come strumento stratigrafico.

Le basi teoriche dell'H/V sono relativamente semplici in un sistema bistrato del tipo sedimenti + bedrock in cui i parametri variano solo con la profondità (1-D). In questi casi la profondità h della discontinuità sismica viene ricavata tramite la formula semplice della risonanza $h = V / (4 f_r)$ o, al più, tramite la formula [1] in cui V_0 è la velocità al tetto dello strato, x un fattore che dipende dalle caratteristiche del sedimento (granulometria, coesione ecc.) e f_r la frequenza fondamentale di risonanza (cf. ad esempio Ibs-Von Seht e Wohlenberg, 1999).

$$h = \left[\frac{V_0(1-x)}{4f_r} + 1 \right]^{\frac{1}{x-1}} - 1 \quad [1]$$

Nei sistemi multistrato, teoricamente l'effetto di risonanza è sommabile, ma 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.

L'inversione delle misure di tremore a fini stratigrafici, nei casi reali, sfrutta la tecnica del confronto degli spettri singoli e dei rapporti H/V misurati con quelli 'sintetici', cioè con quelli calcolati relativamente ad un modello. L'interpretazione è tanto più soddisfacente, e il modello tanto più vicino alla realtà, quanto più i dati misurati e quelli sintetici sono vicini. I modelli sintetici di inversione impiegati in questo lavoro partono dalla modellizzazione del campo d'onde superficiali (onde di Rayleigh e Love) in sistemi multistrato (Aki, 1964; Ben-Menahem e Singh, 1981). L'inversione delle curve H/V per ottenere un profilo di V_s è possibile a patto di disporre di un punto di taratura (es. penetrometria o sondaggio) che fornisca la profondità di un riflettore - anche molto superficiale - riconoscibile nella curva H/V oppure a patto di conoscere la V_s del primo strato a partire da tecniche indipendenti (Castellaro e Mulargia, 2008).



Dr. Graziano Ciferri
— Geologo —
Via Luigi Galvani n. 19
63017 Porto S. Giorgio AP
Tel. 0734 / 679003

Oggetto:
DISSESTO STATICO TRATTO STRADALE
VIA MONTANELLE

SONDAGGIO N. 1

Data: 8 Aprile 2011

Cantiere: Via Montanelle

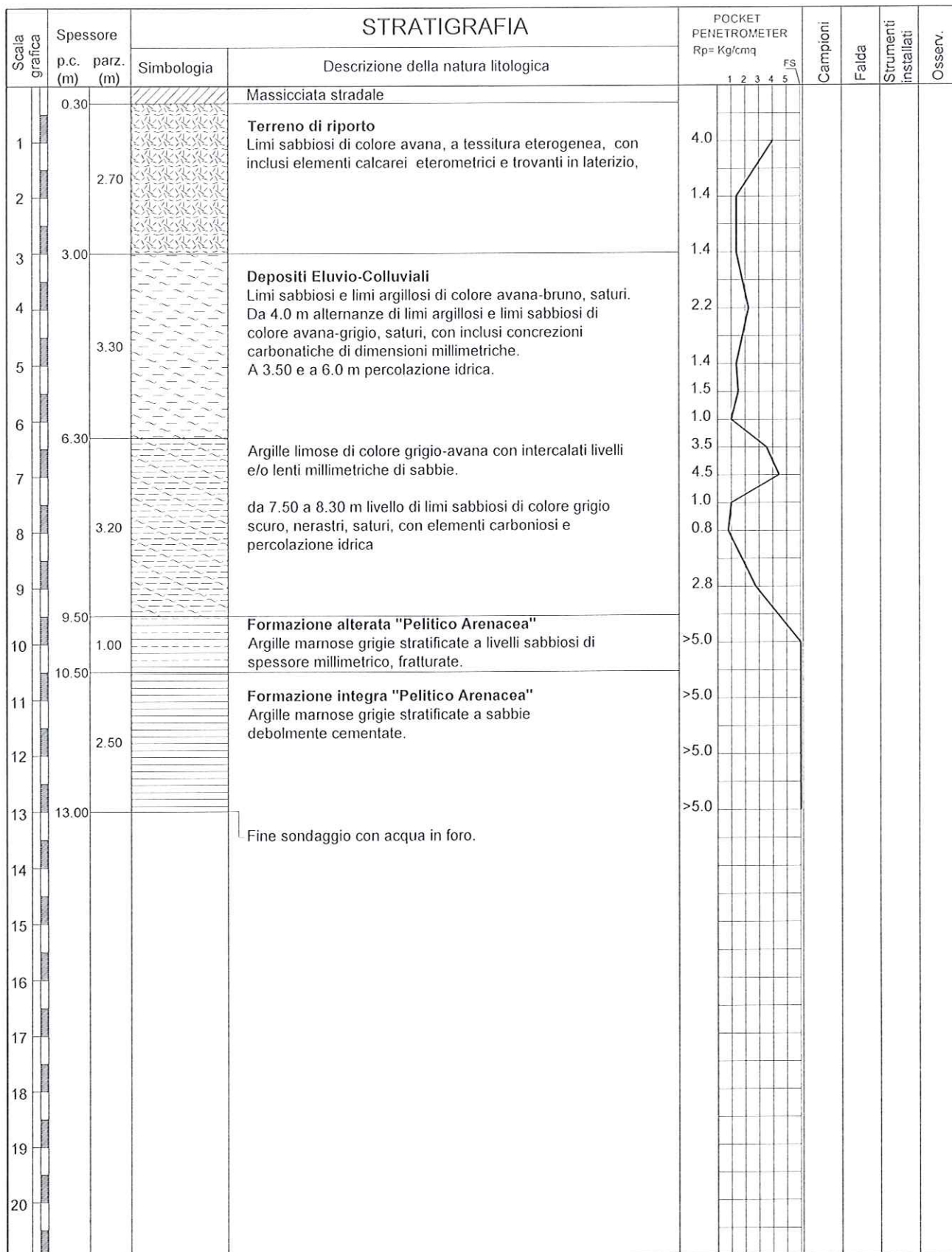
Metodo di perforazione: rotazione

Diametro di perforazione: 220 mm

Inclinazione (gradi): 0°

Quota boccaforo: 325 m s.l.m.

Scala stratigrafia 1:100



Note: