

Attuazione dell'articolo 11 dalla legge 24 giugno 2009, n.77

# MICROZONAZIONE SISMICA E ANALISI DELLA CONDIZIONE LIMITE PER L'EMERGENZA

Regione Emilia-Romagna  
Comune di Polinago



Regione	Soggetto realizzatore <i>Dott. Geol. Marco Santi Bortolotti</i>	Data <i>APRILE 2017</i>  FASCICOLO 1  RELAZIONE TECNICA MICROZONAZIONE SISMICA III° LIVELLO
---------	--	--

---

## INDICE

1.	<b>INTRODUZIONE</b>	Pag. 3
1.1	RIFERIMENTI TECNICI - NORMATIVI	" 3
1.2	METODOLOGIA DI STUDIO	" 6
2.	<b>ASSETTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO DELL'AREA</b>	" 8
3.	<b>GEODINAMICA DEL VERSANTE – DINAMICA GEOMORFOLOGICA</b>	" 11
4.	<b>DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DI BASE E DEGLI EVENTI DI RIFERIMENTO</b>	" 16
4.1	SISMICITÀ STORICA	" 16
4.2	SISMICITÀ RECENTE	" 21
4.3	SISMOTETTONICA	" 23
4.4	ZONAZIONE SIMOGENETICA	" 26
4.5	NORMATIVA SISMICA DI RIFERIMENTO	" 28
5.	<b>INDAGINI GEOGNOSTICHE E DATI GEOTECNICI E GEOFISICI</b>	" 30
6.	<b>VALUTAZIONE DELLO SPESSORE DEI CORPI DI FRANA TRAMITE SISMICA PASSIVA TROMOGRAFICA – CONFRONTO CON INDAGINI DI TARATURA</b>	" 33
7.	<b>DEFINIZIONE DEL MODELLO GEOLOGICO-STRATIGRAFICO</b>	" 34
7.1	SELEZIONE DELLE VERTICALI D'INDAGINE SIGNIFICATIVE/RAPPRESENTATIVE	" 34
8.	<b>CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEI TERRENI</b>	" 39
8.1	RESISTENZA AL TAGLIO	" 39
8.2	PROPRIETÀ GEOTECNICHE DINAMICHE	" 40
9.	<b>ANALISI DELLA RISPOSTA SISMICA LOCALE (RSL)</b>	" 41
9.1	DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE E DEGLI EVENTI DI RIFERIMENTO	" 41
9.2	SELEZIONE DELL'INPUT SISMICO	" 45
9.3	INDIVIDUAZIONE DEI SITI – DEFINIZIONE DEI PARAMETRI DEL MODELLO	" 49
9.4	RISULTATI DELLA MODELLAZIONE NUMERICA	" 52
10.	<b>VERIFICHE DI STABILITÀ</b>	" 56
10.1	MODELLAZIONE GEOTECNICA – SCELTA DEI PARAMETRI GEOTECNICI	" 56
10.2	VERIFICHE DI STABILITÀ IN CONDIZIONI STATICHE (PRE-SISMICHE)-SCHEMA DEL PENDIO INDEFINITO	" 59
10.3	VERIFICHE DI STABILITÀ IN CONDIZIONI STATICHE (PRE-SISMICHE) CON METODI DELLE STRISCE	" 62
10.4	VERIFICHE DI STABILITÀ IN CONDIZIONI SISMICHE E POST-SISMICHE	" 64
10.5	STIMA DEGLI SPOSTAMENTI PERMANENTI ATTESI	" 67
10.6	ANALISI DELLE CONDIZIONI POST-SISMICHE	" 69
11.	<b>ELABORATI CARTOGRAFICI</b>	" 71
12.	<b>CONCLUSIONI</b>	" 79
-	<b>BIBLIOGRAFIA</b>	" 80

---

**ALLEGATI**

ALLEGATO 1	INDAGINI SISMICHE - MASW	PAG.82
ALLEGATO 2	INDAGINI SISMICHE - HVSR	" 83
ALLEGATO 3	SONDAGGI A CAROTAGGIO CONTINUO	" 84
ALLEGATO 4	SISMICA A RIFRAZIONE	" 85
ALLEGATO 5	MISURE INCLINOMETRICHE	" 86
ALLEGATO 6	VERIFICHE DI STABILITA'	" 87

# Relazione Illustrativa

## 1. INTRODUZIONE

Lo Studio di Microzonazione Sismica di livello 1-2 eseguito nel Comune di Polinago nel 2012 (DGR 1051/2011) ha individuato diverse zone suscettibili di instabilità (ZONA FRT), alcune delle quali coinvolgono anche il capoluogo; si tratta di corpi di frana in terra classificati quiescenti o attivi che necessitano di approfondimenti di **terzo livello**.

Tenuto conto di quanto richiesto dalla DGR 1302/2012 e sulla base dello stato pianificatorio attuale, in accordo con l'Amministrazione Comunale, si sono individuate, quali aree di interesse prioritario sulle quali incentrare l'analisi, due corpi di frana direttamente interferenti con l'abitato di Polinago (denominate frana ovest e frana est).

In particolare i corpi franosi che coinvolgono l'abitato del capoluogo Polinago vengono classificati nel PTCP della Prov. Modena come aree 267 "aree a rischio idrogeologico elevato e molto elevato"; pertanto nel presente studio di approfondimento ne è tenuto in debito conto e le relative verifiche sono quindi estese a tutto il perimetro 267 e ampliato, laddove presenti, fino ai limiti delle frane che sbordano dal perimetro stesso. In tal modo è stato considerato un opportuno intorno d'influenza geodinamica.

Il presente approfondimento di 3° livello viene svolto secondo gli "**Standard di rappresentazione e archiviazione informatica – Versione 4.0b, Ottobre 2015**".

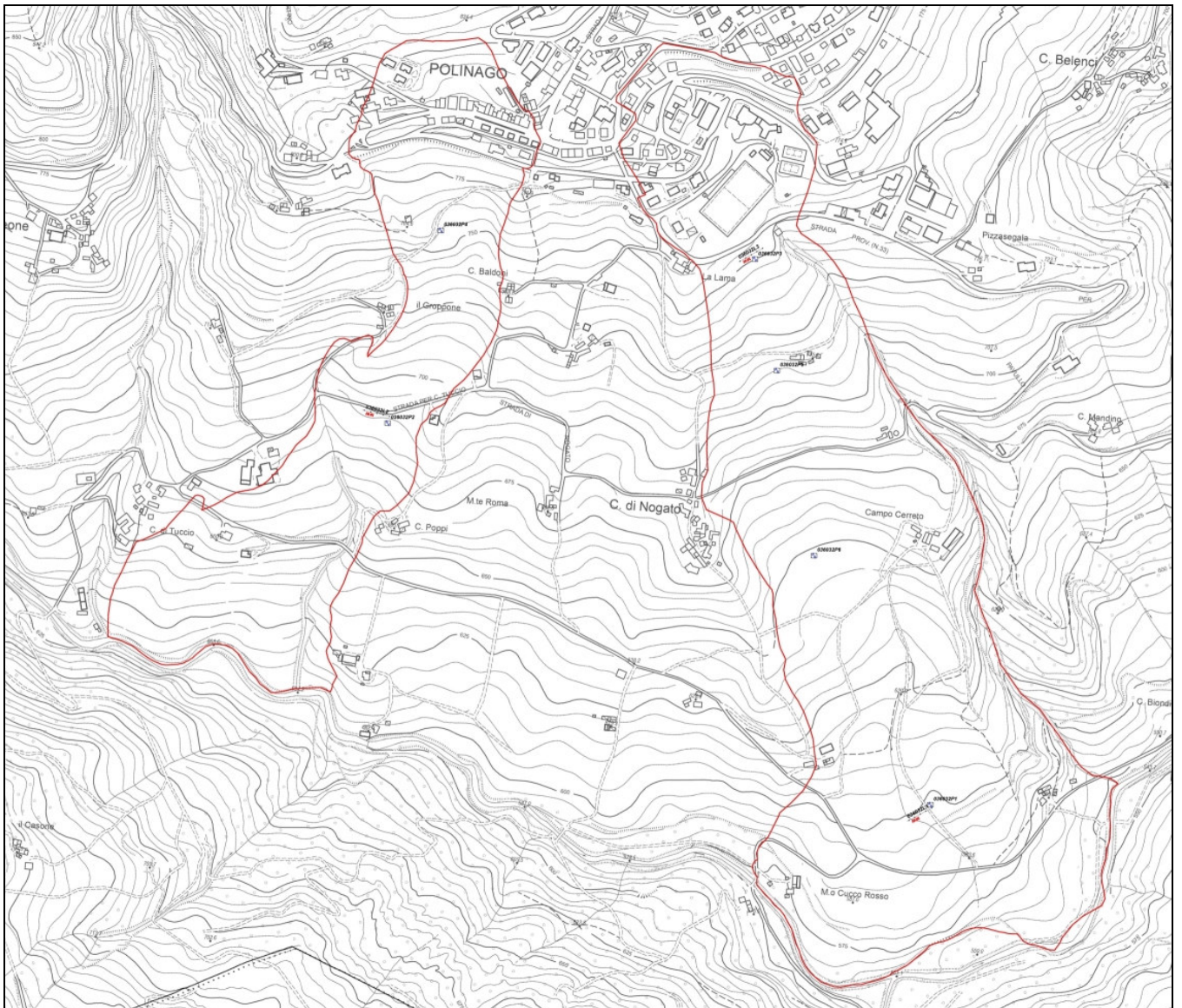
È stato inoltre svolto un adeguamento, agli standard suddetti, del 1° e 2° livello dell'area del capoluogo coinvolta direttamente nell'approfondimento di 3° livello (concordato con il Dott. Martelli Luca della RER).

Per quanto riguarda l'Analisi per la Condizione Limite per l'Emergenza (CLE), verrà trattata in elaborato a parte, allegato al presente Studio (Standard Versione 3.0).

### 1.1 RIFERIMENTI TECNICI - NORMATIVI

I riferimenti tecnici per la realizzazione di questi studi e per l'elaborazione e la redazione degli elaborati richiesti sono costituiti da:

- ICMS 2008 - "Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica" approvati dal Dipartimento della Protezione Civile e dalla Conferenza delle Regioni e delle Province Autonome 1 e succ .m.i.
- DAL 112/2007 Allegato A- "Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica".
- DGR 1302/2012 "Approvazione dei criteri per gli studi di microzonazione sismica ed assegnazione e concessione dei contributi di cui all' OPCM 4007/2012 a favore degli Enti Locali."
- DGR 2193/2015.



**Figura 1** – Aree su cui è svolto l'approfondimento di 3° Livello (base CTR 1:5000 – scala grafica)

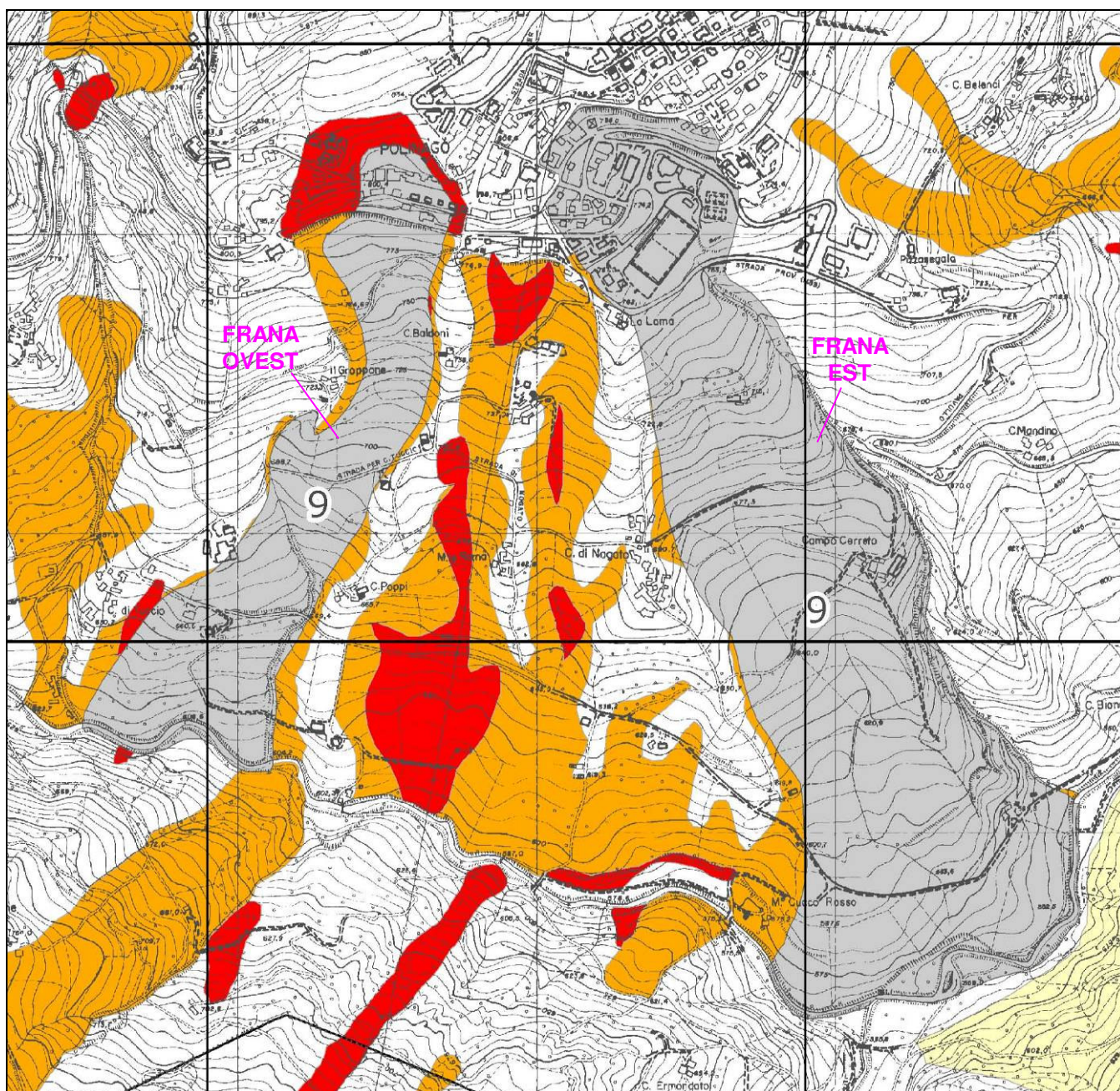


Figura 2 – Stralcio della Carta del dissesto del PTCP MO

## 1.2 METODOLOGIA DI STUDIO

Gli studi di microzonazione sismica prevedono diverse fasi di realizzazione e differenti livelli di approfondimento.

Il presente lavoro, che ha come base di riferimento lo studio di Microzonazione Sismica di Livello 1 e 2 eseguito nel 2012, prevede un locale approfondimento di terzo livello e contestuale adeguamento (AD) del 1° e 2° livello agli standard attuali.

### PRIMO E SECONDO LIVELLO DI APPROFONDIMENTO

Sono state aggiornate (standard 4 - DGR 2193/2015) i seguenti elaborati:

3 AD) Carta Geologica-Tecnica

7 AD) Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (MOPS)

9a AD) Carta di microzonazione sismica, Il Livello - Fattori di amplificazione FA P.G.A.

9b AD) Carta di microzonazione sismica, Il Livello - Fattori di amplificazione FA I.S. 0.1-0.5 s

9c AD) Carta di microzonazione sismica, Il Livello - Fattori di amplificazione FA I.S. 0.5-1 s

10) Carta delle Indagini – Livello 3

### TERZO LIVELLO DI APPROFONDIMENTO

Questo livello prevede:

- Conferma delle condizioni di pericolosità indicate dai precedenti livelli di approfondimento ed eventuale nuova perimetrazione delle aree in cui effettuare la microzonazione sismica.
- Valutazione più approfondita della risposta sismica locale, in termini di amplificazione e stima dei relativi fattori, nel caso specifico relativamente ad aree instabili o potenzialmente instabili.

Non sono state individuate dai livelli 1-2 aree soggette a liquefazione e densificazione.

Non sono state indicate dall'amministrazione aree in cui è prevista la realizzazione di opere di rilevante interesse pubblico.

Questo livello di analisi è quindi finalizzato a valutare l'effettivo grado di pericolosità sismica locale delle due aree instabili individuate.

Per l'area soggetta all'approfondimento di 3° livello vengono forniti:

- la perimetrazione dettagliata delle aree indagate e i valori indicativi della pericolosità locale (grado di stabilità).
- Analisi di risposta sismica locale che ha permesso di determinare gli spettri di risposta riferiti a tali aree, per un periodo di ritorno di 475 anni con smorzamento  $z = 5\%$  e i valori di FA termini di PGA/PGA0 e SI/SI0. Vengono inoltre descritti in dettaglio i procedimenti e i codici di calcolo utilizzati; vengono chiaramente specificati anche i criteri per la definizione del *bedrock* sismico. Come segnale di input per il calcolo degli effetti locali sono stati utilizzati gli accelerogrammi disponibili nel sito web del Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli della RER.

In primo luogo viene individuata la condizione di instabilità che, escludendo la presenza all'interno dell'ammasso di materiali liquefabili, è legata dalla possibilità che lo scorrimento possa avvenire lungo una superficie definita.

Vengono quindi valutate le condizioni di stabilità dell'ammasso nei confronti di possibili cinematismi di frana, utilizzando metodi pseudostatici e completando l'analisi, vista la presenza di terreni coesivi a comportamento duttile, con la stima degli spostamenti attesi, mediante l'applicazione di metodi dinamici semplificati.

Vengono identificati: la geometria del pendio, la profondità del substrato, la stratigrafia, il regime delle pressioni interstiziali, le proprietà geotecniche dei terreni costituenti i vari strati, il cinematismo di frana e la forma della superficie di potenziale scorrimento.

L'identificazione di tali elementi deriva da una serie di studi e accurati rilievi geologici di superficie eseguiti nel corso degli anni passati, integrati da numerose indagini geognostiche in sito (sondaggi) e prove geotecniche di laboratorio ed anche dall'installazione di strumenti per il monitoraggio (inclinometri).

Le analisi di stabilità sono state effettuate sia in condizioni statiche pre-sismiche che sismiche e post-sismiche, tenendo conto delle condizioni di drenaggio e dell'eventuale riduzione della resistenza dovuta all'incremento delle pressioni interstiziali e/o alla degradazione ciclica conseguenti all'azione sismica.

L'approccio metodologico che si è scelto, al fine di ottimizzare lo studio e anche in funzione delle caratteristiche geologiche della zona specifica oggetto di approfondimento di 3° livello, è fondato sull'impiego concentrato delle risorse messe a disposizione per effettuare indagini geofisiche di buona qualità, ben estrapolabili, e tarate con le indagini geognostiche già esistenti (sondaggi a carotaggio continuo). Le risorse economiche disponibili non hanno infatti permesso di eseguire ulteriori punti di controllo litostratigrafico.

Questo approccio è stato possibile anche grazie alla possibilità di utilizzare due ricchi archivi di stratigrafie e prove geognostiche di repertorio, uno del Comune di Polinago, e l'altro della Regione Emilia Romagna (STB di Modena).

L'abitato di Polinago infatti, è stato oggetto nel passato di diverse campagne di indagini geognostiche (sondaggi a carotaggio continuo, sismica a rifrazione...).

L'attenta interpretazione dei dati esistenti ed un'accurata ricostruzione del sottosuolo hanno consentito di collocare le nuove indagini geofisiche in posizioni tali da permettere una ragionevole sicurezza nell'estrapolazione dei parametri ottenuti.

Le nuove informazioni acquisite, insieme ai dati esistenti, hanno consentito di ricostruire modelli geologici, litostratigrafici e geotecnici sufficientemente affidabili su quali sono state poi condotte analisi specifiche sia per la valutazione della risposta sismica locale (modellazione tramite codici di calcolo), sia per la valutazione delle condizioni di stabilità del versante.

Sulla base dei risultati ottenuti è stato quindi possibile identificare zone a differente risposta sismica in termini di amplificazione e definire la perimetrazione delle aree a rischio frana.

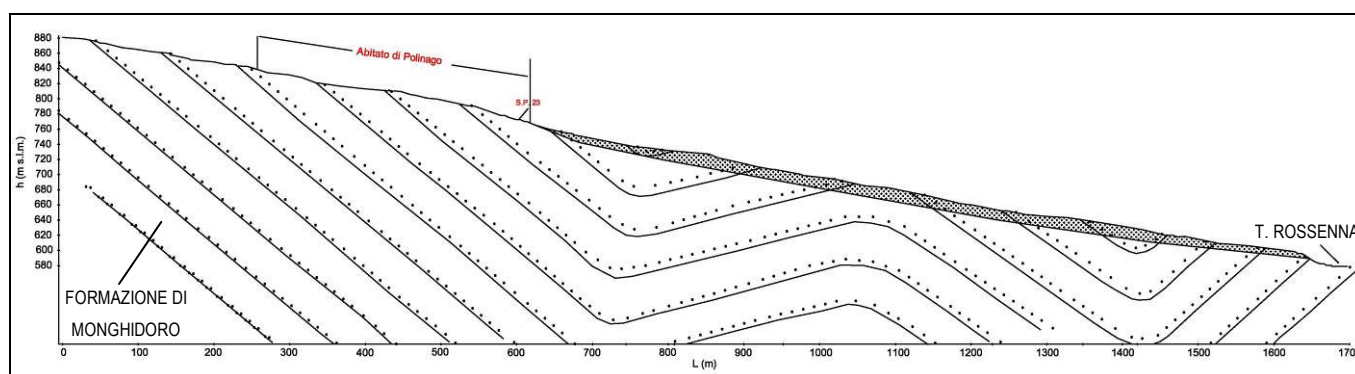


## 2. ASSETTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO DELL'AREA

L'abitato di Polinago si colloca nel medio appennino modenese, nel tratto superiore, tra circa 780-830 m s.l.m., di un versante ad esposizione sud, che si sviluppa a partire dalla linea di crinale posta a circa 1000 m s.l.m. fino ai 550 m s.l.m. del T. Rossenna.

Le caratteristiche geologiche e litostratigrafiche dell'area sono ricavate dallo studio di Microzonazione di I-II° Livello, confermate e completate grazie ai rilevamenti e ai dati ottenuti dalle indagini in sito eseguite e utilizzate nell'ambito del presente studio.

Il versante di Polinago, come mostra la Sezione seguente, risulta ricoperto in gran parte da una coltre detritica, il cui sottostante substrato è costituito dalla Formazione di Monghidoro caratterizzata da litofacies torbiditica composta da arenarie-pelitiche, in strati di vario spessore, si tratta di arenarie fini e medie, localmente grossolane e microconglomeratiche passanti ad argille siltose e più raramente a peliti debolmente marnose.



Gli strati variano da molto sottili a molto spessi; i pochi affioramenti rilevabili presentano significativa variabilità di assetto per cui è presumibile una forte fratturazione.

In tutta l'area, come detto, sono presenti vaste coperture detritiche e depositi di versante, oltre che gli accumuli derivanti dai movimenti franosi.

L'agente morfogenetico principale che ha determinato le principali forme del versante è la gravità. Potenti coperture detritiche si sono accumulate per azione del ruscellamento e della gravità e di conseguenza le zone impluviali si sono evolute in veri e propri movimenti franosi traslando a valle enormi quantità di detrito.

A causa della natura prevalentemente arenacea della formazione di substrato, la copertura e gli accumuli franosi presentano una notevole permeabilità che associata a quella elevata per fessurazione della formazione stessa determina abbondante infiltrazione nel sottosuolo che giunge fino alla zona di passaggio fra le coperture ed il substrato.

Questo fenomeno è particolarmente evidente a monte dell'abitato ed è confermato dalla presenza, a valle, di sorgenti permanenti e dal costante funzionamento di drenaggi suborizzontali che agiscono su parte dell'abitato.

La coltre detritica del versante di Polinago è suddivisa in accumuli di origine gravitativa (a1 e a2) e depositi di versante di altra natura (a3).

Gli accumuli sono poi stati distinti in base al grado di attività; tale distinzione è supportata anche da dati strumentali. Con a1 sono indicati gli accumuli con evidenze di movimenti recenti o in atto mentre con a2 sono indicati gli accumuli privi di evidenze di movimenti recenti.

Gran parte degli accumuli di frana possono considerarsi quiescenti.

## 2.1 STRATIGRAFIA DEL SUBSTRATO

Il versante su cui si colloca il capoluogo è caratterizzato dall'esclusiva diffusione dell'Unità Ligure della Formazione di Monghidoro (MOH). Si tratta di una litofacies torbiditica composta da arenarie-pelitiche in strati di vario spessore.

Viene di seguito descritta l'unica unità litostratigrafica presente e successivamente i depositi quaternari di copertura.

<b>DOMINIO LIGURE</b>	
Le Liguridi, nell'area in studio, sono rappresentate dai cosiddetti "flysch", classiche successioni torbiditiche calcareo-marnose o arenaceo-pelitiche del Cretacico terminale e del Paleocene, note come "Flysch ad Elmintoidi, depositi successivamente al "Complesso di base", costituito da unità prevalentemente argillose, che si presentano deformate in modo così intenso e pervasivo, da obliterare spesso l'originario ordine stratigrafico.	
<b>Formazioni flysch ad Elmintoidi</b>	
<i>Formazione di Monghidoro (MOH)</i>	Torbiditi arenaceo-pelitiche in strati spessi, raramente molto spessi, con rapporto A/P generalmente intorno a 2/1 cui si intercalano intervalli metrici di strati sottili e medi con rapporto A/P circa 1/2. Le arenarie sono gradate con base a granulometria da media a grossolana, talora microconglomeratica, localmente poco cementate, di colore grigio scuro ma generalmente marroni o giallastre per alterazione ed ossidazione dei minerali femici; passano ad argilliti più o meno siltose di colore nerastro. Nella parte bassa della formazione sono presenti rari strati sottili calcareo-marnosi o calcarei con abbondanti tracce di fucoidi. Localmente distinte: la litofacies arenacea (MOHa), caratterizzata da $A/P \gg 1$ ; la litofacies pelitico-arenacea (MOHb), caratterizzata da strati sottili pelitico-arenacei con rapporto $A/P < 1$ ; la litofacies pelitica (MOHc) con $A/P < 1/10$ . Torbiditi di piana bacinale. Limite inferiore graduale su MOV. La potenza geometrica è di qualche centinaio di metri. <i>Maastrichtiano sup. - Paleocene sup.</i>

<b>Depositi quaternari continentali privi di una formale connotazione stratigrafica</b>	Si distinguono:  <b>a1b/a2b - Deposito di frana attiva/quiescente per scorrimento/scivolamento</b> Deposito originato dal movimento verso la base del versante di una massa di terra o roccia, che avviene in gran parte lungo una superficie di rottura o entro una fascia, relativamente sottile, di intensa deformazione di taglio.  <b>a1d/a2d - Deposito di frana attiva/quiescente per colata/colamento lento</b> Deposito messo in posto da movimento distribuito in maniera continuata all'interno della massa spostata. Le superfici di taglio all'interno di questa sono multiple, temporanee e generalmente non vengono conservate. I materiali coinvolti sono per lo più coesivi. I depositi più frequenti sono costituiti in prevalenza da una matrice pelitica e/o pelitico-sabbiosa che include clasti di dimensioni variabili.
---	--

**a1g/a2g - Deposito di frana attiva/quiescente complessa**

Deposito messo in posto in seguito alla combinazione nello spazio e nel tempo di due o più tipi di movimento.

La maggior parte dei depositi di frana del territorio appenninico è di tipo complesso ed è il risultato di più tipi di movimento sovrapposti nello spazio e nel tempo (tipicamente scorrimenti/colamenti). La tessitura prevalente risulta costituita da clasti di dimensioni variabili immersi in una abbondante matrice pelitica e/o sabbiosa.

**a3 - Deposito di versante s.l.**

Deposito costituito da litotipi eterogenei ed eterometrici più o meno caotici. Frequentemente l'accumulo si presenta con una tessitura costituita da clasti di dimensioni variabili immersi e sostenuti da una matrice pelitica e/o sabbiosa (che può essere alterata per ossidazione e pedogenesi), a luoghi stratificato e/o cementato. La genesi può essere dubitativamente gravitativa, da ruscellamento superficiale e/o da soliflusso.

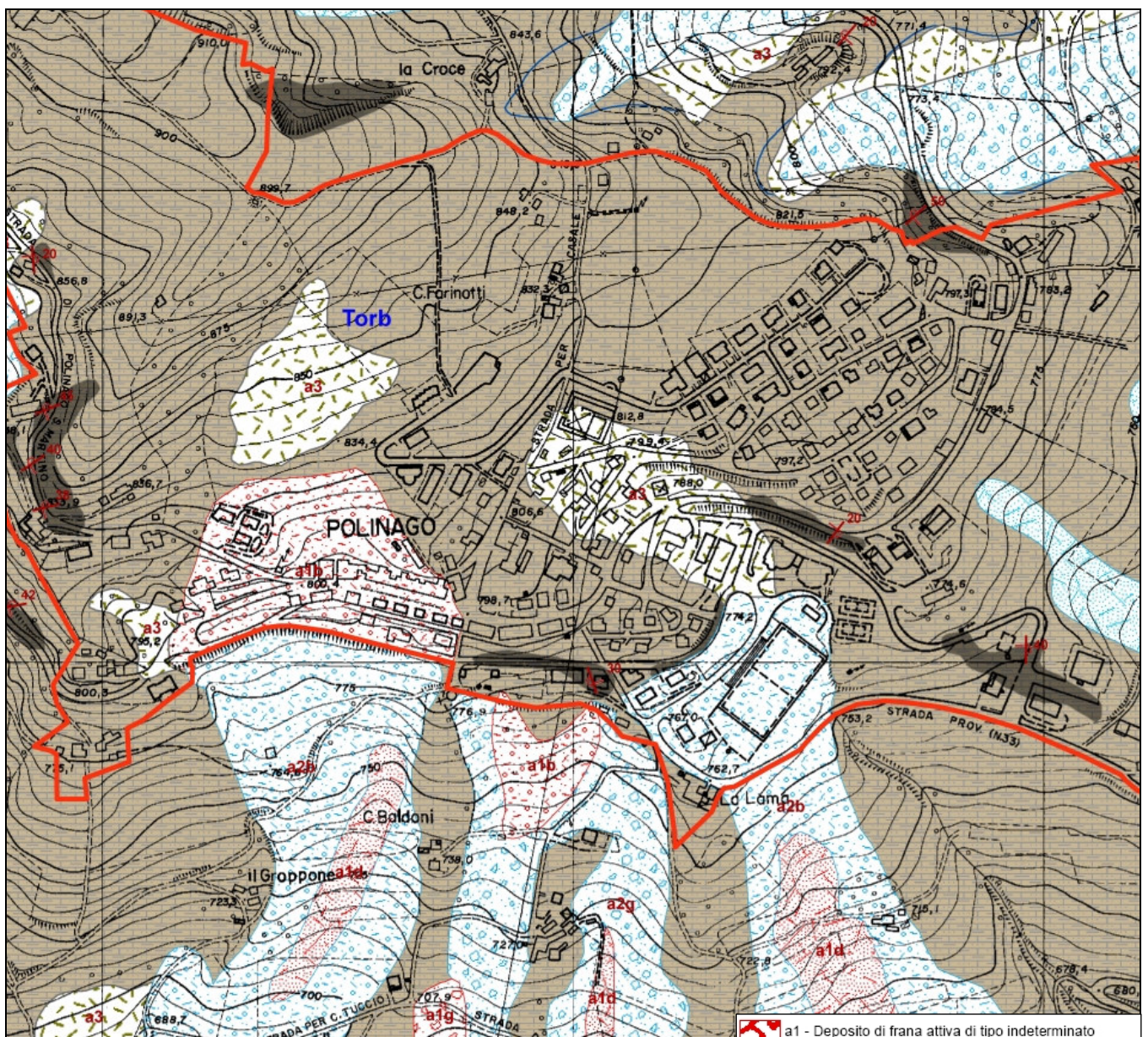


Figura 3 – Carta Litologica (Livello 1-2)

Torbiditi arenaceo-pelitiche/marnose (Torb)

- a1 - Deposito di frana attiva di tipo indeterminato
- a1b - Deposito di frana attiva per scivolamento
- a1d - Deposito di frana attiva per colamento lento
- a1g - Deposito di frana attiva complessa
- a2 - Deposito di frana quiescente di tipo indeterminato
- a2b - Deposito di frana quiescente per scivolamento
- a2d - Deposito di frana quiescente per colamento lento
- a2g - Deposito di frana quiescente complessa
- a3 - Deposito di versante s.l.

### **3. GEODINAMICA DEL VERSANTE – DINAMICA GEOMORFOLOGICA**

Una porzione del versante è soggetta a perimetrazione all'interno del PTCP della Prov. Modena come aree 267 "aree a rischio idrogeologico elevato e molto elevato".

Per quest'area sono disponibili diversi rilievi geologici di dettaglio e diverse campagne di indagini geognostiche, geotecniche e geofisiche.

Per l'identificazione e la delimitazione dei corpi franosi si è tenuto conto delle condizioni geolitologiche, valutando più a rischio i sedimenti sciolti in spessori potenti e le rocce fratturate. Un'indicazione importante l'hanno fornita le caratteristiche geomorfologiche: elementi del paesaggio quali ondulazioni del terreno non dovute a cause strutturali, rigonfiamenti e depressioni, costituiscono la testimonianza di movimenti gravitativi, spesso passati ma sempre indicatori di mancati equilibri.

Zone a rischio sono state valutate anche quelle impregnate d'acqua, che si manifestano con sorgenti o anche solo con la presenza di vegetazione igrofila. Attraverso l'osservazione diretta di infrastrutture ed edifici si sono dedotte informazioni di dettaglio su movimenti anche limitati di terreno; strade fessurate e con rigonfiamenti ed edifici lesionati, stanno ad indicare zone a rischio, che può essere di grado più o meno elevato anche in relazione all'intensità dei fenomeni.

#### **DESCRIZIONE DEI FENOMENI GRAVITATIVI**

I due più importanti fenomeni che interessano l'abitato di Polinago hanno uno sviluppo lineare di circa 1 km e sono sicuramente di origine molto antica, per uno di questi, quello occidentale, è segnalata un'importante ripresa nel 1939 e un ulteriore assestamento nel 1960. Quest'ultimo movimento interessa la porzione del centro storico in cui si rilevano le maggiori lesioni ai fabbricati. L'altro fenomeno (orientale) ha sicuramente determinato, in epoca remota, la deviazione del T. Rossenna. La copertura detritica, di spessore variabile, si presenta granulometricamente assai eterogenea, prevalentemente limo sabbiosa, talora limo argillosa.

Il passaggio detrito-substrato è caratterizzato da intensa fratturazione degli strati arenacei della Formazione di Monghidoro, documentato da RQD anche assai basso (normalmente 25%), e dalla scomparsa del fluido di perforazione durante l'esecuzione dei sondaggi consultati.

La conformazione litologico-strutturale risulta assai complessa, ed i sondaggi effettuati, con i parametri geotecnici ricavati dalle prove di laboratorio ne hanno consentito solo una sommaria ricostruzione.

La stratificazione è per lo più a franapoggio.

La sconnessione degli strati di Flysch ha favorito la penetrazione nel sottosuolo delle acque meteoriche e di ruscellamento che, complice la componente argillosa della Formazione, hanno provocato i movimenti gravitativi, che però non hanno interessato in modo uniforme l'area in esame.

A valle del centro abitato la situazione geomorfologica cambia: si ha un'alternanza di dorsali e vallecicole, modellate nel Flysch arenaceo. Le piccole dorsali con andamento generale circa N-S, rappresentano aree di migliore stabilità; le vallecicole manifestano maggiore predisposizione al dissesto, in quanto in esse si concentrano le acque di circolazione del primo sottosuolo.

Questi movimenti però non confluiscono tra loro e si arrestano per lo più prima di raggiungere il T. Rossenna.

### **GENESI ED EVOLUZIONE DEI MOVIMENTI FRANOSI**

Le cause dei movimenti in studio sono:

- lo stato di fratturazione della F. di Monghidoro, che porta al collasso della componente litoide di natura arenacea e conseguentemente ad un'alta permeabilità per fessurazione.
- L'esistenza di interstrati argillosi o argillosi-marnosi nel Flysch, che determinano condizioni di plasticità nella massa detritica in disfacimento.
- Il prevalente assetto a franapoggio della stratificazione.
- La morfologia ad altopiano dell'area a monte del paese che non favorisce il rapido sgrondo delle acque di precipitazione.

Questi fattori hanno portato alla formazione di un accumulo detritico appesantito dalle acque di infiltrazione e con il contributo della gravità hanno provocato l'abbassamento di un'ampia parte dell'area occupata dall'abitato, continuamente alimentata dallo sgrondo di due dorsali: quella di Poggio Polinago, posta a nord, e l'altra decorrente sul lato ovest.

Allo stato attuale esistono limitate minacce di destabilizzazione dove in passato i movimenti sono stati più forti; la tendenza generale è di un lento assestamento favorito dalle opere di bonifica eseguite negli anni passati.

### **INTERVENTI DI SISTEMAZIONE**

È stato redatto in passato un progetto generale per il consolidamento della parte di abitato ricadente nell'area occidentale. Il progetto è stato in parte realizzato mediante drenaggi in trincea nel corpo di frana e drenaggi suborizzontali e iniezioni di boiaccia nella parte alta allo scopo di regolarizzare le acque di infiltrazione e chiudere i vuoti presenti nelle coperture detritiche.

Un drenaggio con direzione N-S è stato realizzato nel settore occidentale a monte dell'abitato al limite dell'area boschiva. Ha raggiunto la profondità di circa 7 m; un altro drenaggio corre sempre nella parte alta occidentale a monte del paese circa da ovest verso est, a partire dal piede della dorsale boscata. Quest'ultimo raccoglie molte acque che un tempo impaludavano il primo sottosuolo e davano origine ad una piccola sorgente perenne.

Il movimento franoso partendo a monte del centro abitato ha fatto registrare un abbassamento generale ben marcato da una corona di distacco e da una scarpata a media acclività. La corona di distacco passa attraverso la parte centro occidentale del paese dove ha lesionato alcune abitazioni.

La massa detritica è appesantita ed è stata favorita nello scorrimento dalle acque d'infiltrazione che penetrano nel sottosuolo sconnesso a monte del paese ed è accentuato dall'andamento a franapoggio degli strati del Flysch.

L'area che ha subito abbassamento è stata rimboschita quasi una cinquantina di anni fa con acero, castagno, robinia, frassino, orniello e abete rosso.

Per risanare o almeno mitigare questa situazione d'instabilità, in passato, si è provveduto ad eseguire, nel corpo di frana occidentale immediatamente a valle del paese, tre gruppi di drenaggi suborizzontali: il gruppo centrale è formato da otto tubi che procedono a ventaglio all'interno del dissesto; anche il secondo gruppo, posto ad ovest del precedente e costituito da quattro tubi, procede a ventaglio sotto l'abitato; il terzo più orientale è rappresentato da un unico tubo.

Attualmente questi drenaggi sono più o meno attivi e con portate molto differenti tra loro, tutte le bocche di fuoriuscita sono poste sul lato a monte della strada immediatamente sottostante il paese. Le acque convogliate dai drenaggi vengono smaltite da un unico sistema di deflusso situato alcune centinaia di metri a valle dell'abitato.

Anche a valle della strada sottostante il paese, sono stati eseguiti alcuni drenaggi, come quelli fatti sul fianco ovest della vallecchia che scende dalla Cappella di S. Anna verso il T. Rossenna.

In tempi differenti sono stati costruiti tratti di muri ciclopici in calcestruzzo armato sul limite meridionale del paese, al fine di costituire un ostacolo al generale scivolamento.

### **PROBLEMATICA DEFINIZIONE DELLE FRANE ATTIVE/QUIESCENTI**

Come noto, le frane quiescenti che caratterizzano Appennino Settentrionale sono caratterizzate da fasi di movimento acuto (parossismo) separate da lunghi periodi di quiescenza.

Per ovvie ragioni, le velocità di movimento possono essere registrate solo rare volte; gli inclinometri infatti vengono normalmente installati dopo questa fase di intensa attività per garantire una certa durata alla strumentazione e registrare ulteriori movimenti in atto.

Allontanandosi dalla fase di riattivazione, abbiamo comunque dei movimenti ancora misurabili tramite inclinometri, ma in generale la velocità tende ad un valore pseudo - stazionario che dipende delle condizioni locali.

Le classi di riferimento di Cruden & Varnes possono essere utilizzate in via del tutto indicativa come parametro in grado di dare informazioni sulla capacità distruttiva della frana su strutture e vite umane.

La tabella proposta da Cruden & Varnes inoltre, definita sulla base di una serie di fenomeni avvenuti in passato, stabilisce una correlazione fra la vulnerabilità e la velocità degli eventi franosi e di conseguenza anche una stima della possibilità di convivenza fra frane e strutture antropiche.

Cruden & Varnes sottolineano un importante limite tra la classe "estremamente lenta" e "molto lenta", in quanto tale limite indica il valore di velocità oltre il quale alcune strutture antropiche tenderebbero a subire lesioni.

Il termine creep viene usato da Cruden & Varnes per descrivere il tasso di velocità nella classe "estremamente lenta" e in parte "molto lenta". Terzaghi a tal riguardo (1950, 1984), identifica con il nome di creep quei movimenti di versante che procedono con un tasso di velocità minore di un piede/decennio ( $\pm 10$  mm/mese).

Come già detto, le frane quiescenti analizzate presentano valori di velocità compresi fra le classi "estremamente lenta" e "molto lenta" indicando una marcata concentrazione di campioni a cavallo del limite di queste due classi (1,30-2,60 mm/mese).

Dalle considerazioni di Cruden & Varnes, questi tassi di velocità potrebbero essere genericamente compatibili con le strutture antropiche, a patto che siano stati presi in considerazione i dovuti accorgimenti.

Nella Tabella seguente sono illustrate le diverse velocità di spostamento delle frane, correlate ai danni prodotti su persone e cose. Pur esistendo uno stretto legame tra velocità e tipo di frana, dobbiamo essere consapevoli che un certo tipo di frana può muoversi secondo un ampio intervallo di velocità, in virtù delle differenze di inclinazione del versante, del contenuto in acqua del materiale trasportato e della presenza di ostacoli quali la copertura boschiva.

<b>Classe</b>	<b>Descrizione</b>	<b>Velocità tipica</b>	<b>Osservazioni sui danni</b>
I	Estremamente lento	6 mm/anno	Impercettibile senza strumenti di monitoraggio, costruzione di edifici possibile con precauzioni.
II	Molto lento	16 mm/anno	Alcune strutture permanenti possono essere danneggiate dal movimento.
III	Lento	1,6 m/anno	Possibilità di intraprendere i lavori di rinforzo e restauro durante il movimento.
IV	Moderato	13 m/mese	Alcune strutture temporanee o poco danneggiabili possono essere mantenute.
V	Rapido	1,8 m/h	Evacuazione possibile; distruzione di strutture, immobili ed installazioni permanenti.
VI	Molto rapido	3 m/min	Perdita di vite umane, velocità troppo elevata per permettere l'evacuazione.
VII	Estremamente rapido	5 m/s	Catastrofe di eccezionale violenza, edifici distrutti per l'impatto del materiale spostato, molti morti.

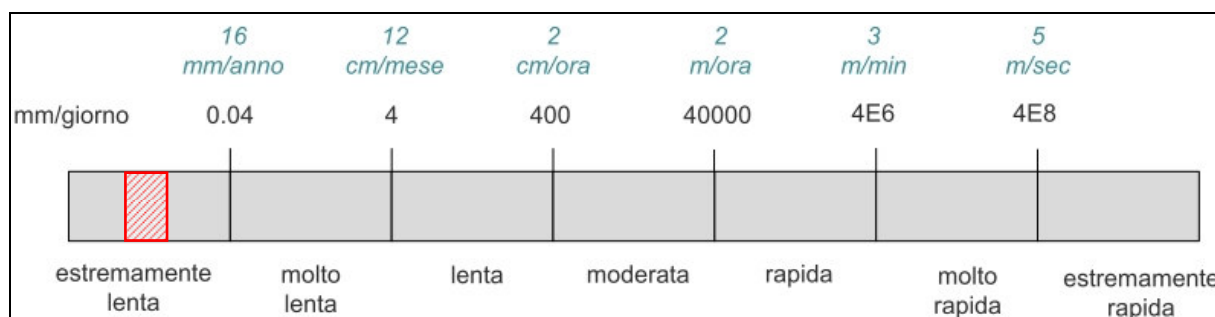
Scala d'intensità delle frane basata sulla velocità e sul danno prodotto (da Cruden & Varnes, 1994, Australian Geomechanics Society, 2002)

È difficile distinguere tra frane attive e quiescenti sulla base della velocità.

In ogni caso, la dinamica delle frane è molto complessa ed una classificazione rigida dello stato di attività rischia di essere fuorviante.

Le frane in terra si muovono anche durante la fase di quiescenza.

Le misure inclinometriche consultate, eseguite tra il 2012 e il 2014, forniscono velocità medie di movimento comprese tra 4-8 mm/anno, con valori massimi concentrati nei mesi autunnali-invernali-primaverili dove si raggiungono valori di circa 1mm/mese. Si tratta di inclinometri posizionati nelle zone di coronamento dei due corpi di frana in studio.



Cruden & Varnes, 1996

I corpi franosi in studio possono quindi essere classificati attualmente a cinematica estremamente lenta con movimenti ciclici stagionali, ovvero movimenti durante i periodi piovosi e stasi nel periodo estivo. Si tratta di movimenti rilevabili solo con strumenti di monitoraggio (es. inclinometri) e le strutture e infrastrutture presenti in superficie possono anche non essere danneggiate.



#### 4. DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE E DEGLI EVENTI DI RIFERIMENTO

##### 4.1 SISMICITÀ STORICA

Il catalogo delle massime intensità macrosismiche osservate nei comuni italiani, valutate a partire dalla banca dati macrosismici del GNDT e dai dati del Catalogo dei Forti Terremoti in Italia di ING/SGA, Elaborato per il Dipartimento della Protezione Civile (D. Molin, M. Stucchi e G. Valensise, 1996), evidenzia quanto riportato nella figura seguente:

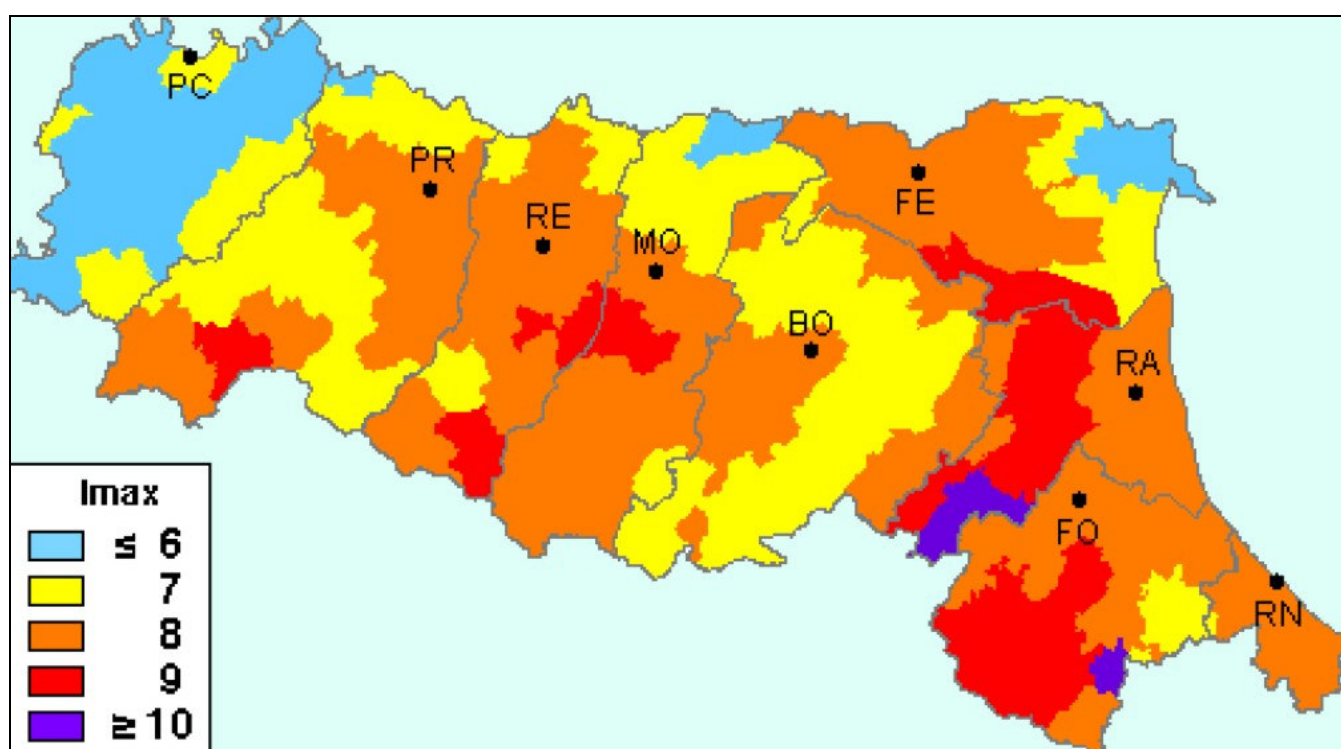


Figura 4 – Intensità Macrosismiche osservate nei comuni italiani – GNDT ING/SGA

L'intensità massima registrata nel Comune di Polinago è dell'VIII MCS (scala Mercalli-Cancani-Sieberg), corrispondente ad una magnitudo dell'ordine di 5.6 (scala Richter).

L'attività tellurica dell'area è nota e documentata dall'anno 1000, anche se la qualità e la quantità delle informazioni non sono omogenee e si manifesta sia con eventi singoli di media intensità, sia con sequenze sismiche estese nel tempo.

Le revisioni e ricollocazioni degli eventi storici e recenti, ma soprattutto l'attivazione di una rete sismica regionale integrata con quella nazionale, hanno permesso di distinguere, nell'ambito della regione, zone con differente regime sismico, vale a dire frequenza dei fenomeni, intensità e profondità focale.

Il confronto dei dati della sismicità strumentale con quelli storici evidenzia la stabilità nel tempo delle aree sismogenetiche.

La distribuzione della sismicità storica italiana degli ultimi mille anni è consultabile tramite il Catalogo parametrico dei terremoti italiani CPTI11 (a cura di A. Rovida, R. Camassi, P. Gasperini e M. Stucchi, 2011), consultabile al sito <http://emidius.mi.ingv.it/CPTI11/>.

Il territorio comunale di Polinago è caratterizzato da una sismicità storica moderata, confrontabile con quella di altri settori del medio Appennino, che negli ultimi anni hanno avuto terremoti relativamente frequenti di magnitudo compresa fra 4.5 e 5.5.

La sismicità storica del Comune di Polinago è stata desunta dal database delle osservazioni macrosismiche dei terremoti italiani utilizzate per la compilazione del catalogo parametrico CPTI11. Il database DBMI11, realizzato nell'ambito delle attività del Tema Trasversale Coordinato INGV 5.1 "Banche dati e metodi macrosismici" (a cura di M. Locati, R. Camassi e M. Stucchi), è consultabile al sito <http://emidius.mi.ingv.it/DBMI11>.

Dal Catalogo parametrico CPTI11 dell'INGV si evince che storicamente i terremoti più forti entro una distanza di 30-40 km risultano:

periodo dal 1000 al 1899:

- Anno 1501 – Appennino modenese – Mw 5.98
- Anno 1811 – Sassuolo – Mw 5.25

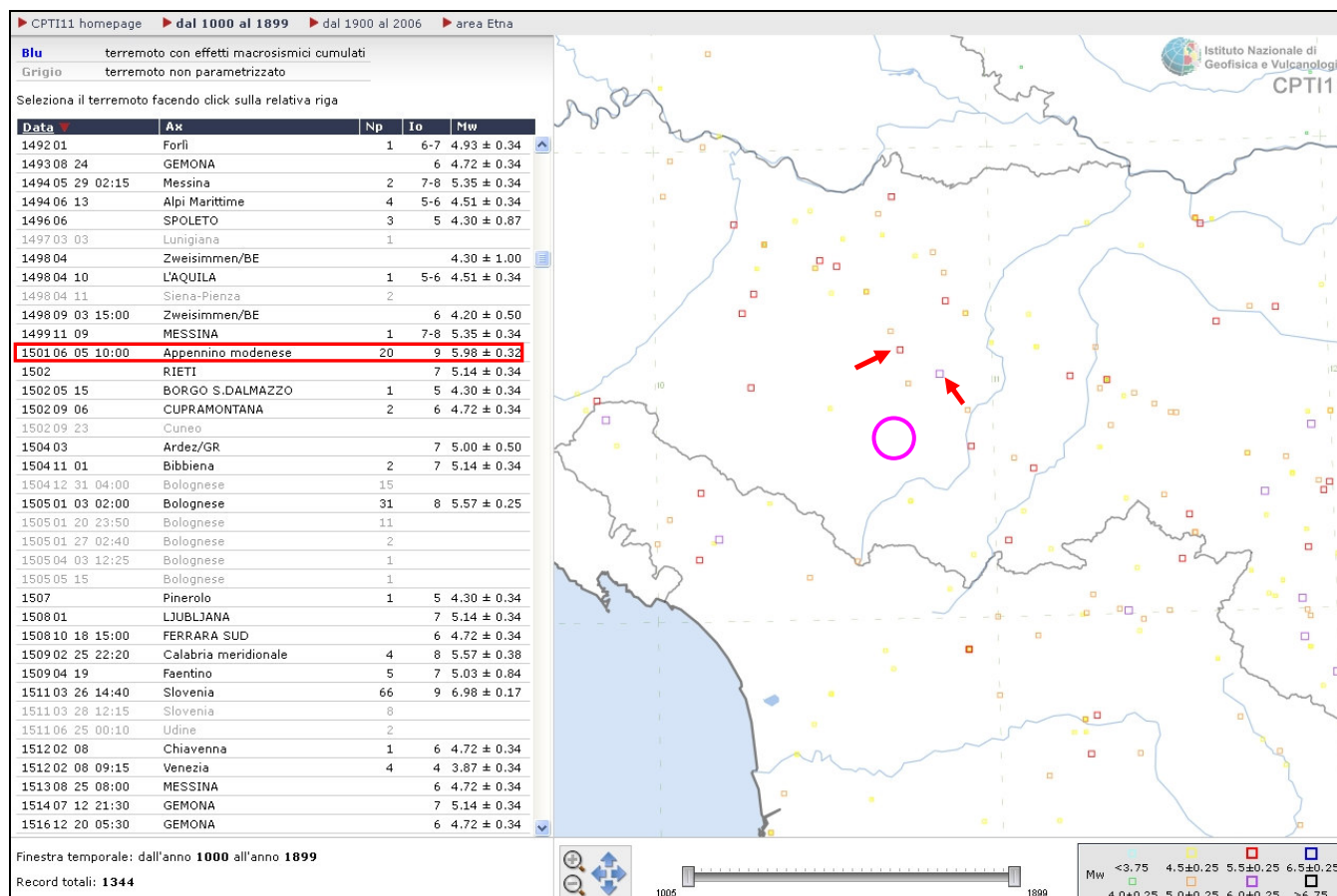


Figura 5 – Tratto da INGV CPTI11 (Catalogo parametrico dei terremoti italiani – 2011) – Dal 1000 al 1899.

○ Area in studio

Nel periodo dal 1900 al 2006, si segnalano:

- Anno 1904 – Reggiano – Mw 5.05
- Anno 1920 – Garfagnana – Mw 6.48

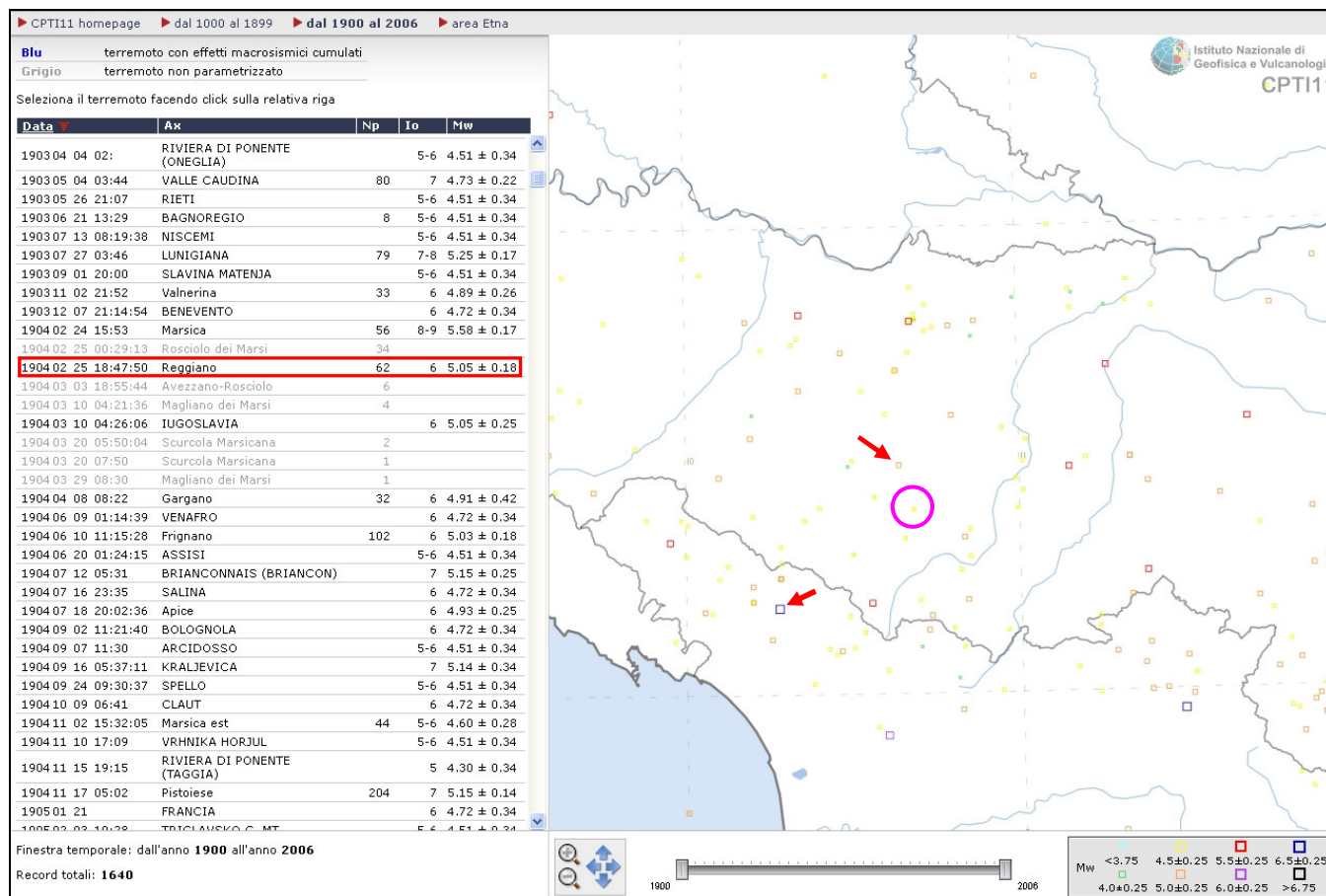


Figura 6 – Tratto da INGV CPTI11 (Catalogo parametrico dei terremoti italiani – 2011) – Dal 1900-2006

○ Area in studio

Nella Figura 7 successiva sono elencate le osservazioni, aventi la maggiore intensità al sito, disponibili per il territorio comunale. Nella tabella sono indicate:

Is: intensità al sito

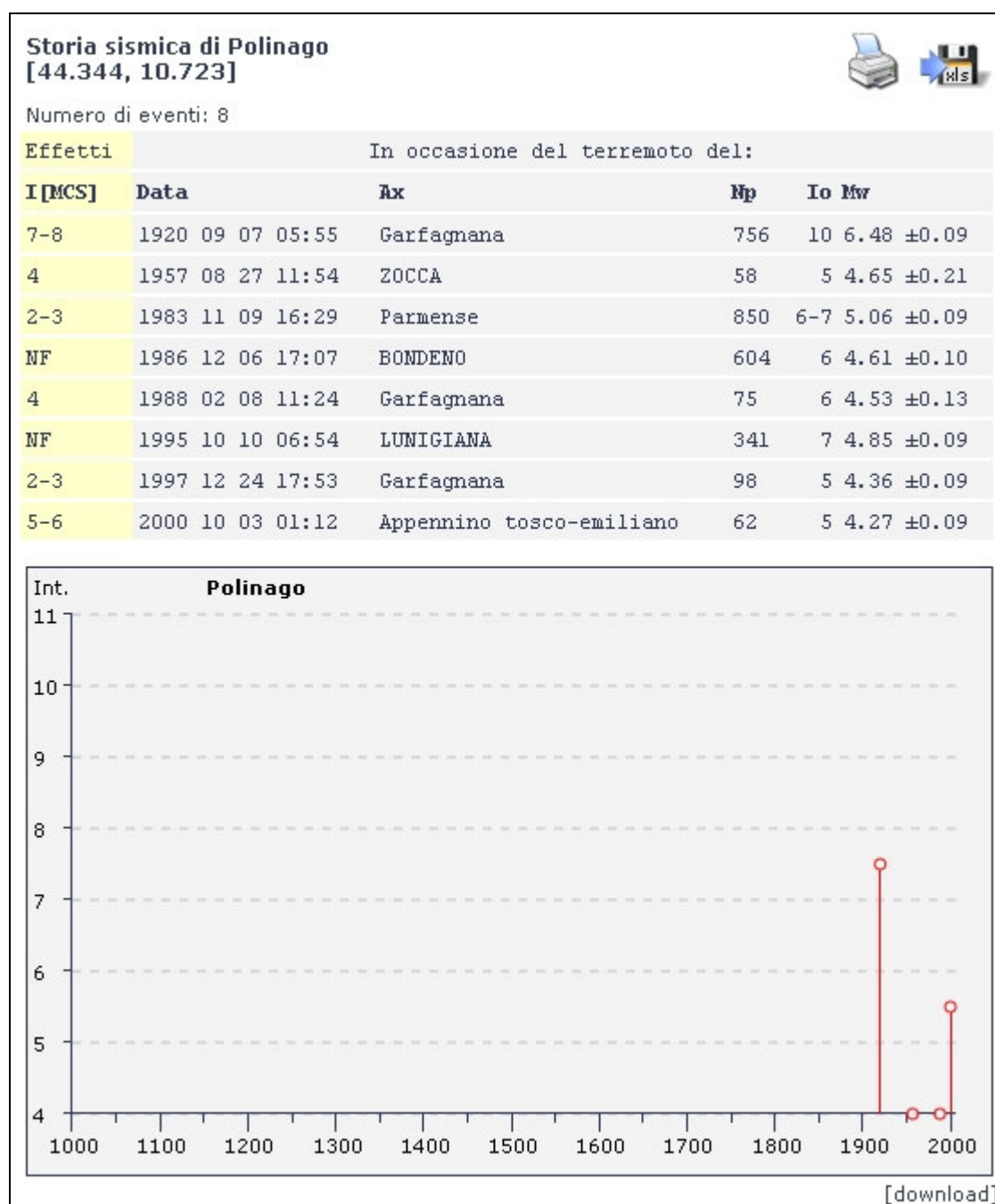
Anno Me Gi: anno mese giorno dell'evento

AE: località

Io: l'intensità massima epicentrale in scala MCS

Mw: magnitudo momento

Dalla consultazione del Database Macrosismico Italiano 2011 DBMI11 per la località Polinago si ottiene il seguente elenco di eventi sismici:



**Figura 7** – Tratto da INGV DBMI11 (Database Macrosismico Italiano – 2011)

Dall'esame del diagramma sopra riportato, gli episodi più significativi per il Comune di Fidenza sono presumibilmente quelli del 1438 e del 1738, che produssero effetti del VII-VIII grado MCS (Scala Mercalli-Cancani-Sieberg).

### 4.1.1 Frequenza di accadimento in Emilia Romagna

La frequenza con cui si sono verificati in passato i terremoti capaci di produrre danni significativi agli edifici consente di valutare con quale frequenza si manifesteranno in futuro, dal momento che questa presumibilmente non cambia.

Nella tabella sono riportati, per varie soglie di magnitudo, il numero di eventi per intervalli di tempo crescenti di 100 anni, partendo dall'ultimo secolo, registrati in Emilia Romagna.

CLASSI DI MAGNITUDO	INTERVALLO DI 100 ANNI		INTERVALLO DI 200 ANNI		INTERVALLO DI 300 ANNI		INTERVALLO DI 400 ANNI	
	Numero di terremoti	Tempo in anni di ripetizione	Numero di terremoti	Tempo in anni di ripetizione	Numero di terremoti	Tempo in anni di ripetizione	Numero di terremoti	Tempo in anni di ripetizione
4.5 < Ma < 5.0	28	3,6	56	3,6	67	4,5	75	5,3
5.0 < Ma < 5.5	10	10,0	16	12,5	22	13,6	27	14,8
5.5 < Ma < 6.0	3	33,3	4	50,0	6	50,0	8	50,0
Ma > 6.0	-	-	-	-	-	-	-	-
Tutte*	76	1,3	129	1,5	147	2,0	173	2,3

\* tutti gli eventi che hanno prodotto danni (intensità epicentrale massima osservata maggiore di V-VI grado MCS)

Come si può osservare le frequenze che si ottengono nei primi due intervalli, più attendibili perché andando indietro nel tempo il catalogo dei terremoti diventa più incompleto, è di un evento ogni 1.3-1.5 anni. Valori di magnitudo maggiori di 5.0,

che corrispondono ad intensità epicentrali di VII-VIII grado MCS indicano un evento ogni 10-12 anni, mentre terremoti con  $Ma > 5.5$  (VIII-IX grado MCS) si ripetono con una frequenza di un evento ogni 50 anni, che si mantiene costante indicando una buona completezza del catalogo.

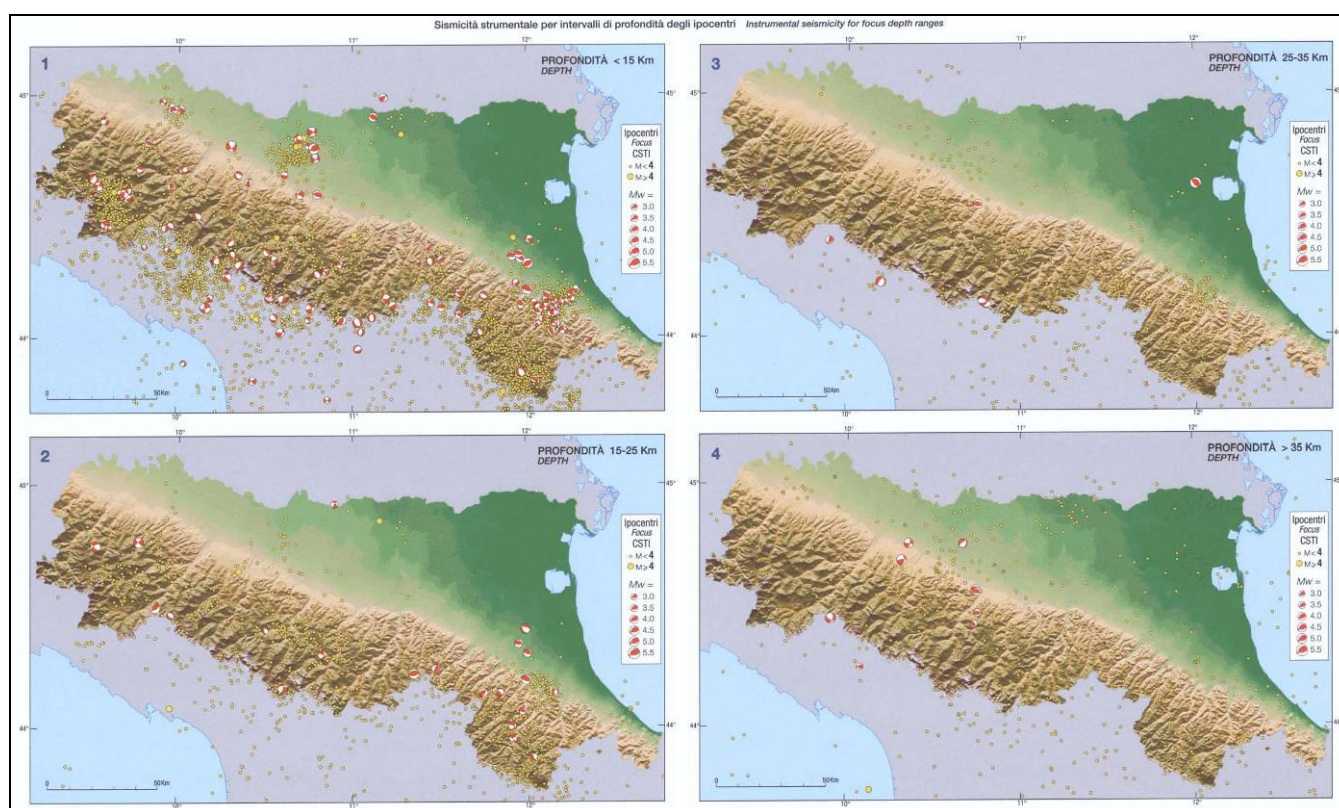


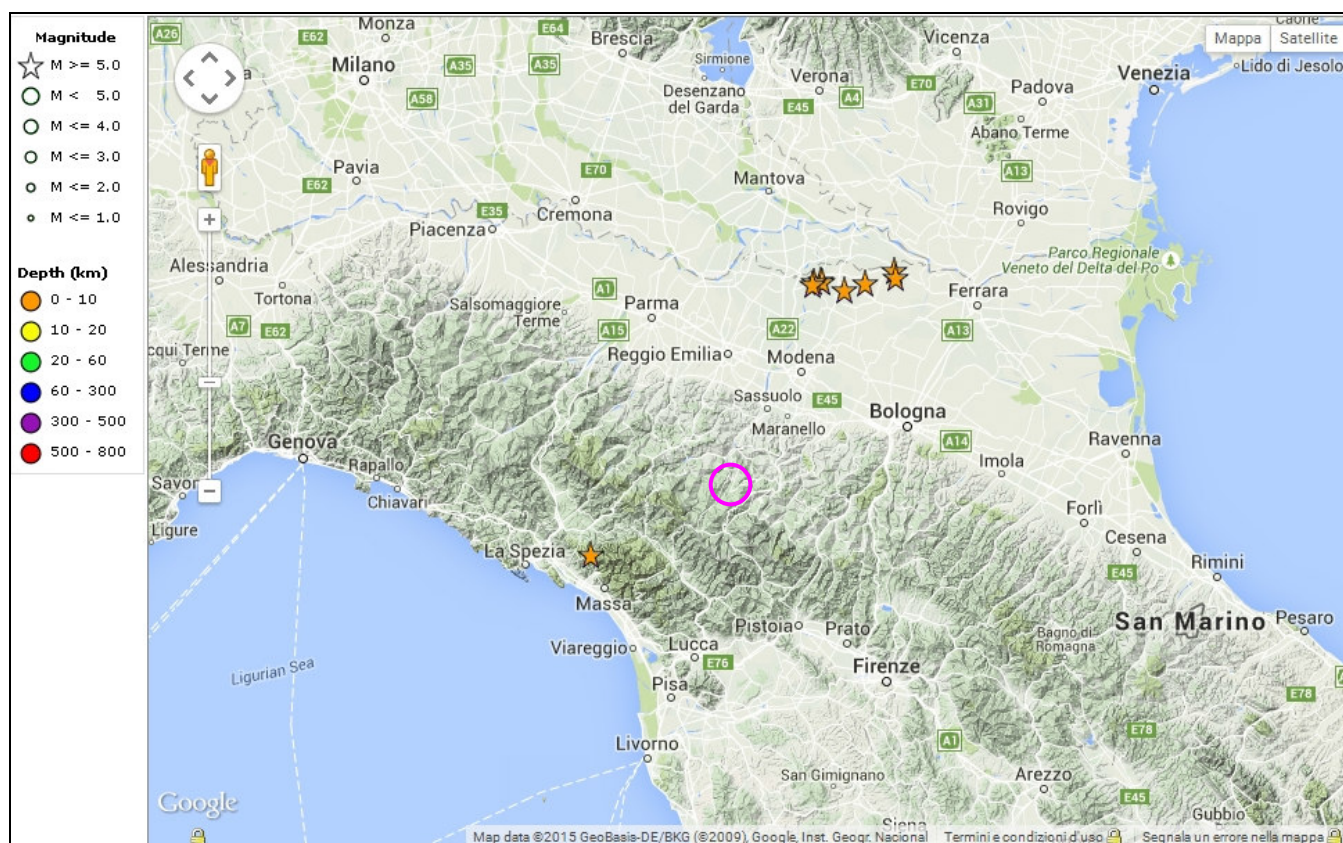
Figura 8 – Sismicità strumentale per intervalli di profondità degli ipocentri.

### 4.2 SISMICITÀ RECENTE

La sismicità recente che ha interessato il territorio comunale di Polinago è stata desunta dal Bollettino Sismico Italiano elaborato da ISIDe Working Group (INGV, 2010), Italian Seismological instrumental

and parametric database: <http://iside.rm.ingv.it>.

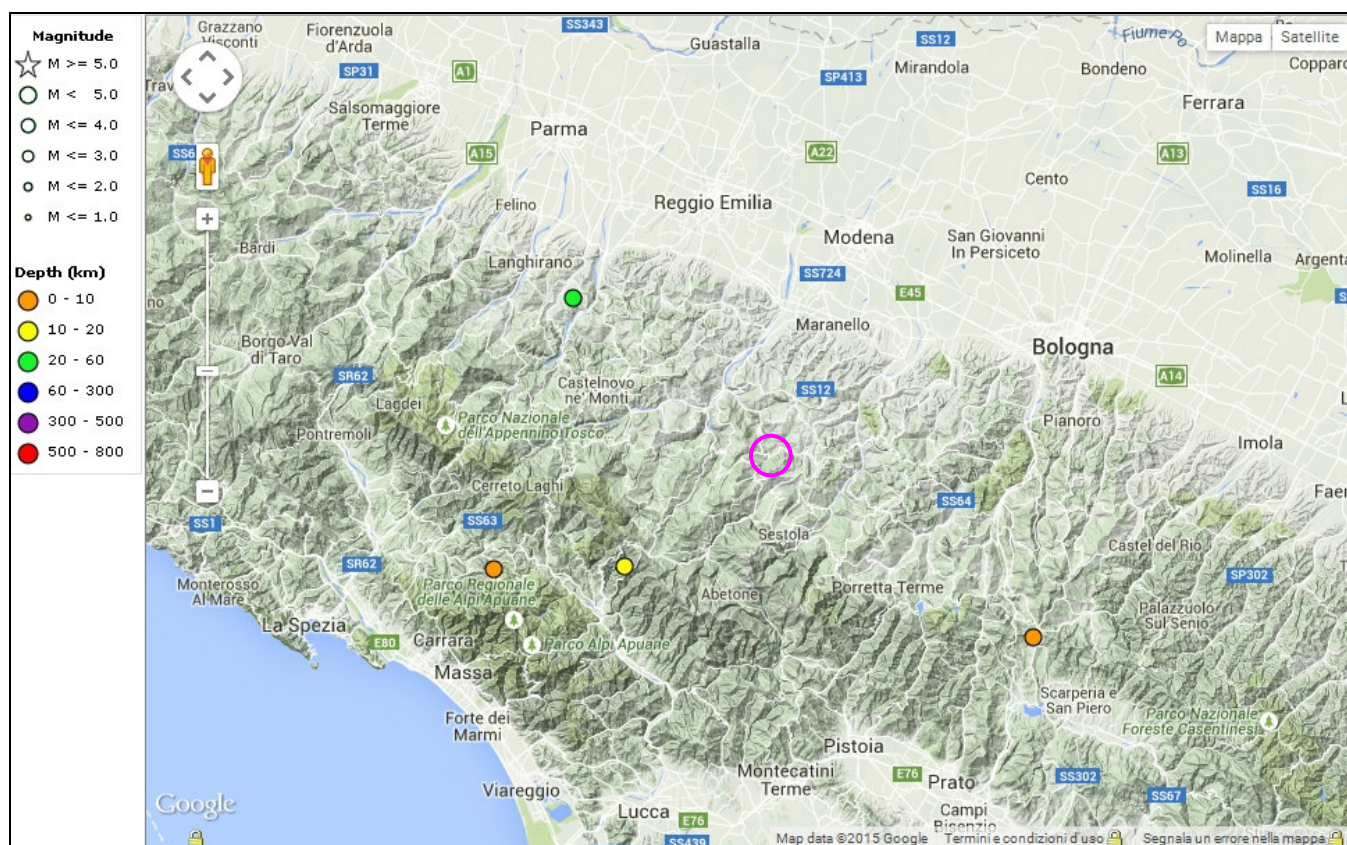
Nello specifico sono stati ricercati i terremoti, registrati nell'intervallo di tempo tra il 01/01/2007 e il 31/12/2014, aventi una magnitudo maggiore di 5 in un raggio di 100 km e maggiore di 4.5 nel raggio di 50 Km dal Comune di Polinago.



**Figura 9:** Eventi sismici recenti registrati con M > 5 in un raggio di 100 Km dal Comune di Polinago

Data: 01/01/2007 → 25/08/2015  
 Distanza: 100 km da Polinago  
 Magnitudo: > 5  
 Terremoti totali: 9

Tempo Origine (UTC)	Latitudine	Longitudine	Profondità	Magnitudo	Fonte
2013-06-21 10:33:56.070	44.09	10.062	5.7	5.1--Mw	BULLETIN
2012-05-29 11:00:22.990	44.866	10.976	7.2	5.1--ML	BULLETIN
2012-05-29 11:00:01.680	44.856	10.941	8.7	5.0--ML	REMO
2012-05-29 10:55:56.550	44.865	10.98	4.4	5.3--Mw	REMO
2012-05-29 08:25:51.480	44.865	10.948	7.9	5.0--ML	REMO
2012-05-29 07:00:02.880	44.842	11.066	8.1	5.6--Mw	REMO
2012-05-20 03:02:47.090	44.86	11.152	9.1	5.0--ML	BULLETIN
2012-05-20 02:07:28.950	44.874	11.27	6.1	5.0--ML	BULLETIN
2012-05-20 02:03:50.170	44.896	11.264	9.5	5.8--Mw	BULLETIN



**Figura 10:** Eventi sismici recenti registrati con  $M > 4.5$  in un raggio di 50 Km dal Comune di Polinago

Data: 01/01/2007 → 25/08/2015

Distanza: 50 km da Polinago

Magnitudo: > 4.5

Terremoti totali: 4

Tempo Origine (UTC)	Latitudine	Longitudine	Profondità	Magnitudo	Fonte
2013-06-30 14:40:08.480	44.16	10.187	6.1	4.5--Mw	BULLETIN
2013-01-25 14:48:18.270	44.164	10.446	19.8	4.8--Mw	BULLETIN
2008-12-23 15:24:21.770	44.544	10.345	22.9	4.9--Mw	BULLETIN
2008-03-01 07:43:13.080	44.063	11.253	3.8	4.5--Mw	BULLETIN

Come si evince dalle Tabelle sopra riportate, gli eventi principali ( $M > 5$ ) registrati nel raggio di 100 Km dal Comune di Polinago sono i terremoti del maggio-giugno 2012 della bassa pianura modenese e ferrarese e quello di giugno 2013 della Lunigiana in Toscana.

### 4.3 SISMOTETTONICA

Di seguito si riporta uno stralcio della Carta Sismotettonica dell'Emilia Romagna. Dall'analisi della stessa si evince che l'area del Comune di Polinago si colloca in posizione circa intermedia tra la zona posta a sud (crinale appenninico, Garfagnana-Lunigiana), caratterizzata da sorgenti attivate da meccanismi focali distensivi (faglie dirette e trascorrenti distensive) e la fascia pedeappenninica a nord, composta dalle strutture sepolte (sovrascorrimenti attivi con direzione circa W-E o NW-SE).

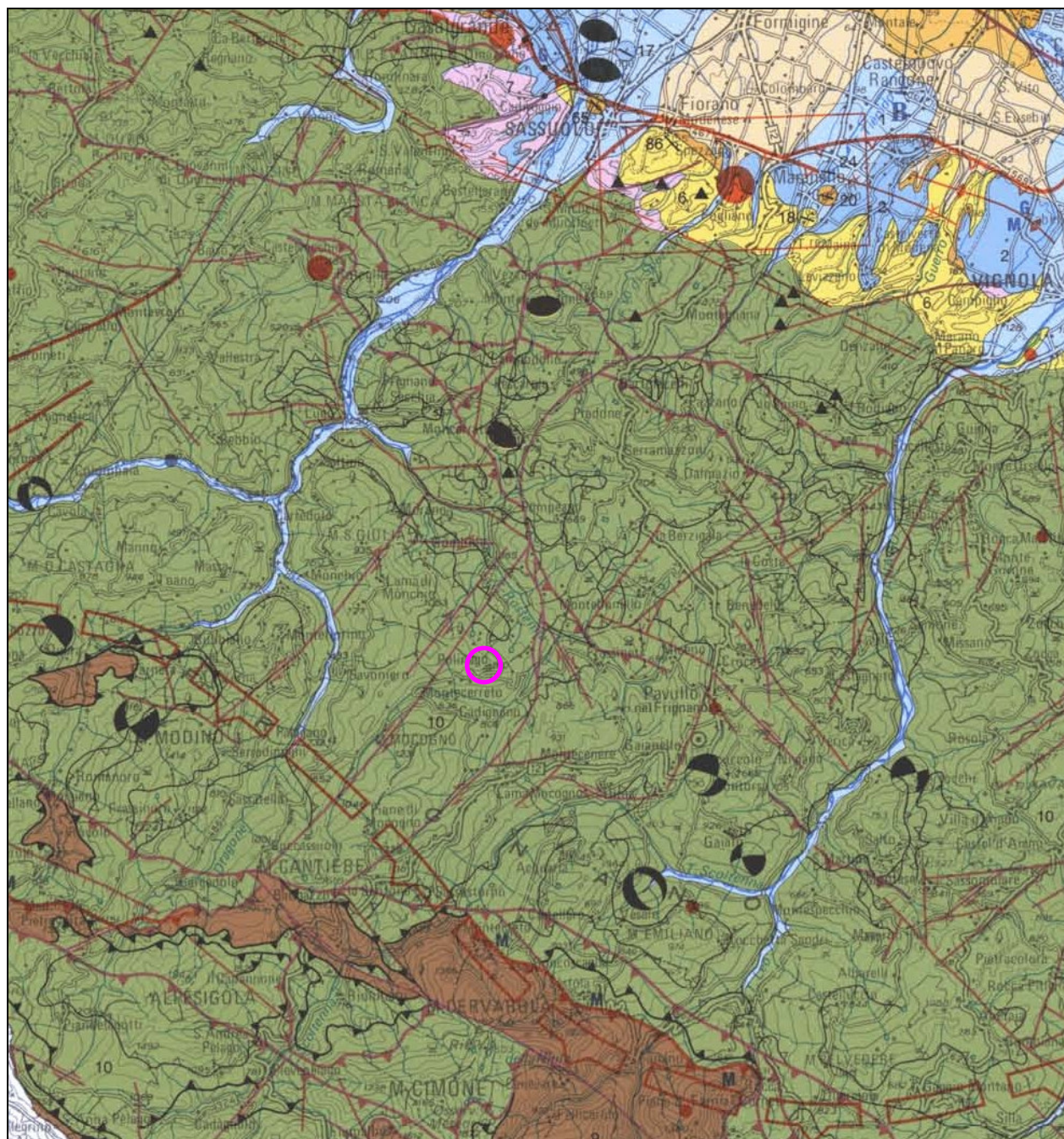
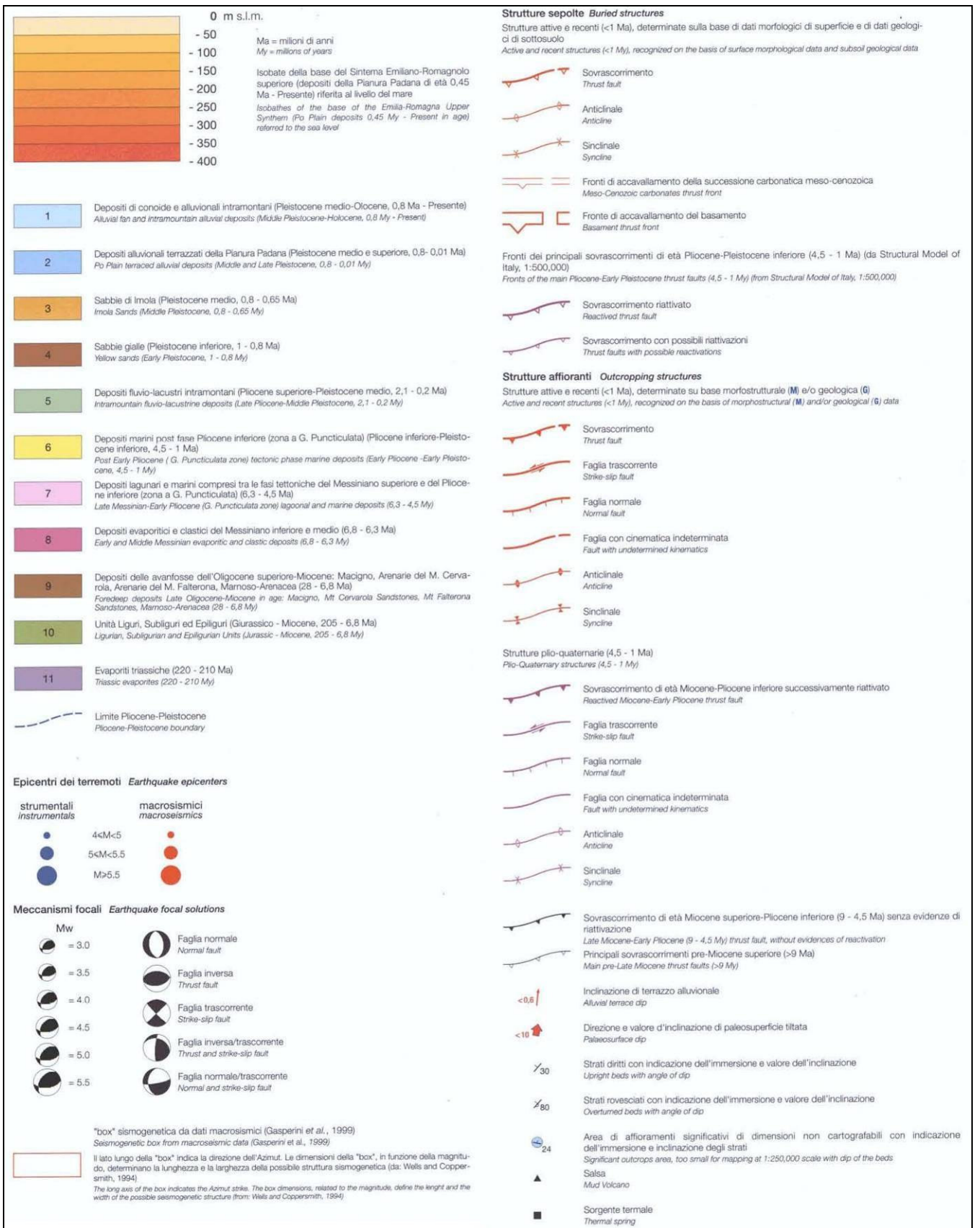


Figura 11 – Carta Sismotettonica dell'Emilia Romagna (RER – CNR, 2004)





I terreni dell'area in studio risultano coinvolti in un'estesa struttura plicativa coricata di importanza regionale: la Sinclinale della Val Rossenna (Bettelli et al., 1989a; 1989b). Questa, nelle sue linee essenziali può essere ricostruita ed osservata nella zona di Gombola dove presso il Rossenna affiorano gli strati diritti (immergenti prima verso sud che tendono poi a verticalizzarsi) della Formazione di Monghidoro (Cretaceo sup.-Eoc. inf.). Questi, proseguendo verso meridione passano alle Argille della Val Rossenna (Eocene inf.-med.?) e al Melange della Val Rossenna (Eocene inf.-med.?) che costituiscono il nucleo della sinclinale stessa, a monte del quale tornano ad affiorare le rocce della Formazione di Monghidoro in giacitura rovesciata (sempre immergenti verso sud). A quote superiori, stratigraficamente al di sotto ma geometricamente sovrastanti per la giacitura rovesciata della successione, appaiono di nuovo strati e bancate di calcareniti torbiditiche ascrivibili alla Formazione di Monte Venere (Cretaceo sup.-Paleocene).

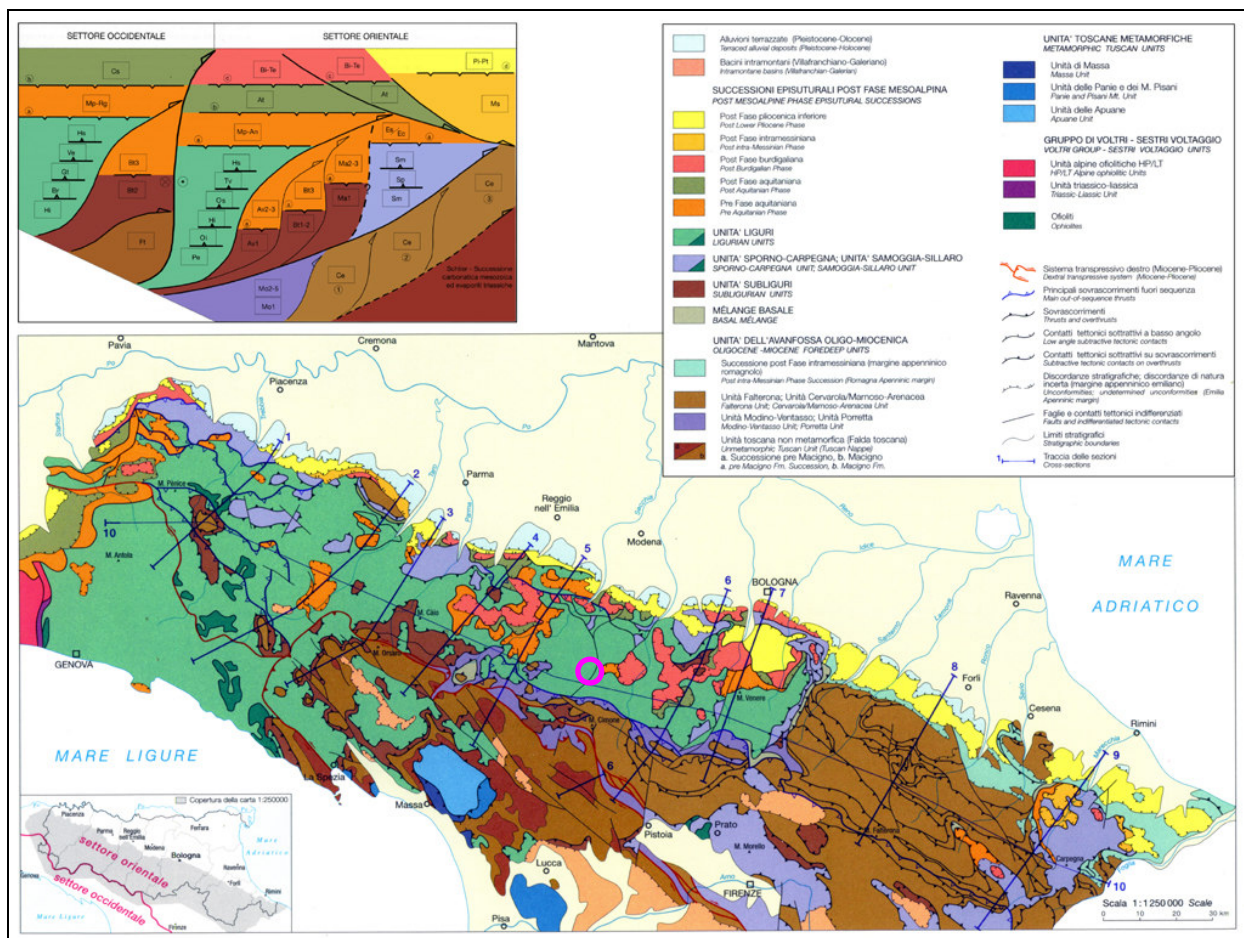


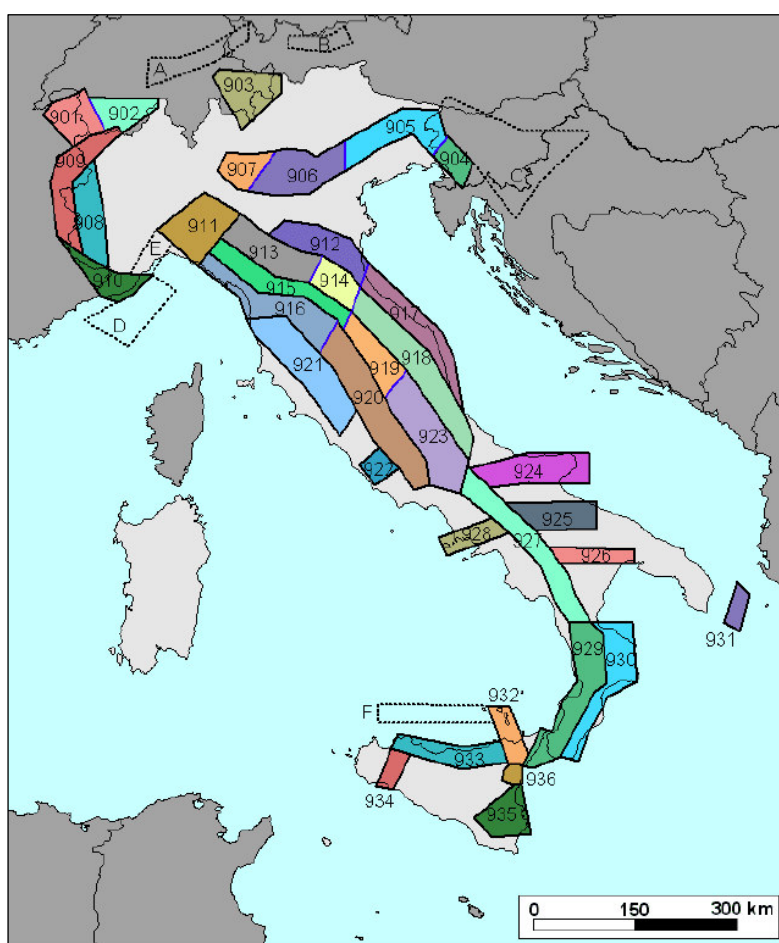
Figura 12 – Schema tettonico.

Per le notevoli dimensioni (a scala regionale) della Sinclinale della Val Rossenna, che si estende in senso NO-SE per diversi chilometri, gran parte del territorio comunale viene a ricadere al di sopra del suo fianco rovesciato, formato in prevalenza da rocce ascrivibili alle Formazioni di Monghidoro e di Monte Venere. La giacitura prevalentemente orientata verso i quadranti meridionali degli strati comporta quindi la formazione di pendii più acclivi sui versanti esposti a nord (strati a reggipoggio) rispetto ai versanti esposti a sud, meno acclivi (strati tendenzialmente a franapoggio o verticalizzati).

#### 4.4 ZONAZIONE SISMOGENETICA

È stata utilizzata la zonazione sismogenetica dell'INGV, chiamata ufficialmente ZS9, che tiene conto dell'analisi cinematica degli elementi geologici, cenozoici e quaternari coinvolti nella dinamica delle strutture litosferiche profonde e della crosta superficiale. Rispetto alle zonazioni precedenti, in questo caso le zone sorgente sono state disegnate più vincolate rispetto alle sorgenti sismogenetiche e alla sismicità storica e strumentale e le aree circostanti sono state cautate attraverso i normali effetti di propagazione della pericolosità sismica al di fuori delle zone sorgente.

La zonizzazione ZS9 risulta basata prevalentemente sulle informazioni di ZS4; recepisce le informazioni sulle sorgenti sismogenetiche italiane messe a disposizione da DISS 2.0 (Database of



**Figura 13-** Zonazione sismogenetica ZS9 (INGV).

Potential Sources for Earthquake Larger than M5.5 in Italy, 2001) e da altre compilazioni regionali di faglie attive; considera inoltre le indicazioni che derivano dall'analisi dei dati relativi ai terremoti più importanti verificatisi successivamente alla predisposizione di ZS4, alcuni dei quali localizzati al di fuori delle zone sorgente in essa definite; supera il problema delle ridotte dimensioni delle zone sorgente e della conseguente limitatezza del campione di terremoti che ricade in ciascuna di esse.

La ZS9 può essere utilizzata in congiunzione con il catalogo CPTI2, e fornisce inoltre una stima della "profondità efficace", cioè dell'intervallo di profondità nel quale è rilasciato il maggior numero di terremoti in ogni zona sorgente, utilizzabile in combinazione con le relazioni di attenuazione determinate su base regionale, e fornisce per ogni zona un meccanismo di fagliazione prevalente, utilizzabile in combinazione con le relazioni di attenuazione modulate sulla base dei coefficienti proposti da Bommer et al. (2003).

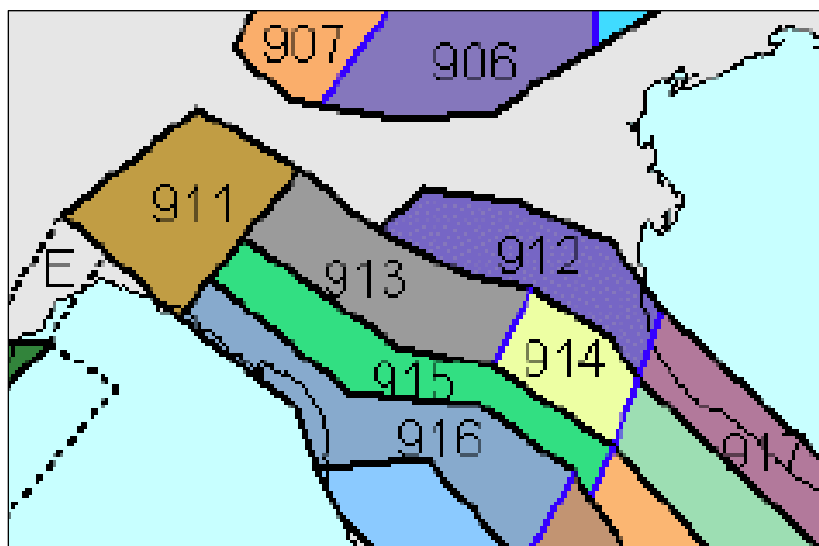
Il modello sismogenetico suddivide il territorio italiano in 36 diverse zone, numerate da 901 a 936, più altre 6 zone, identificate con le lettere da "A" a "F" fuori dal territorio nazionale (A-C) o ritenute di scarsa influenza (D-F). Il confronto tra le informazioni che hanno condotto alla costruzione del

La ZS9 può essere utilizzata in congiunzione con il catalogo CPTI2, e fornisce inoltre una stima della "profondità efficace", cioè dell'intervallo di profondità nel quale è rilasciato il maggior numero di terremoti in ogni zona sorgente, utilizzabile in combinazione con le relazioni di attenuazione determinate su base regionale, e fornisce per ogni zona un meccanismo di fagliazione prevalente, utilizzabile in combinazione con le relazioni di attenuazione modulate sulla base dei coefficienti proposti da Bommer et al. (2003).

La ZS9 può essere utilizzata in congiunzione con il catalogo CPTI2, e fornisce inoltre una stima della "profondità efficace", cioè dell'intervallo di profondità nel quale è rilasciato il maggior numero di terremoti in ogni zona sorgente, utilizzabile in combinazione con le relazioni di attenuazione determinate su base regionale, e fornisce per ogni zona un meccanismo di fagliazione prevalente, utilizzabile in combinazione con le relazioni di attenuazione modulate sulla base dei coefficienti proposti da Bommer et al. (2003).

modello geodinamico e la sismicità osservata ha permesso di costruire la carta nazionale delle zone sismogenetiche.

I limiti tra le zone sono neri e blu, i limiti neri definiscono limiti il cui tracciamento dipende esclusivamente da informazioni tettoniche e geologico-strutturali, il colore blu invece definisce suddivisioni di zone con uno stesso stile deformativo ma con differenti caratteristiche della sismicità. Come ad es. distribuzione spaziale degli eventi o la massima magnitudo rilasciata, ecc.



**Figura 14** – Zoom sulla zonazione sismogenetica ZS9 dell'Emilia Romagna.

### ***Sismicità delle zone sorgenti***

Il territorio del Comune di Polinago si colloca sulla successione carbonatica meso-cenozoica in sovrascorrimento verso NE. In passato sono stati risentiti gli effetti di numerosi terremoti dovuti ad una sismicità naturale localizzata nelle zone 913 e 915.

Le zone 913 e 915 sono quelle con

un potenziale sismico tale da generare effetti non trascurabili nel territorio del Comune di Polinago,

mentre le altre vengono considerate poco influenti per generando terremoti con magnitudo a volte anche elevata (ad es. la zona 912).

La zona 915 determina una sismicità riconducibile a sorgenti attivate da meccanismi focali distensivi (faglie dirette e trascorrenti distensive) con massimi storici che hanno raggiunto intensità del X° MCS (Magnitudo  $M_a=6-6.5$ ). In particolare il terremoto del 1920 della Garfagnana, con intensità epicentrale del IX-X° MCS ha determinato, in base alla ricostruzione macrosismica, intensità del VII° MCS a Polinago.

Nella zona 913 si verificano terremoti prevalentemente compressivi che sono causa di una sensibile attività come documentato dagli eventi del bolognese, del reggiano e del parmense (anno 2000) risentiti nell'area in studio. Questi eventi sono riconducibili a sorgenti superficiali attivate da meccanismi focali per compressione (faglie inverse e trascorrenti compressive) se si escludono eventi la cui origine è ancora incerta. Fra questi figura il terremoto di Castelvetro del 1501 che avrebbe prodotto, in base alla ricostruzione macrosismica, effetti del IX° MCS. Se confermato, la fascia pedappenninica sarebbe quella potenzialmente più pericolosa per il territorio modenese.

L'intera fascia è caratterizzata da terremoti che raramente hanno raggiunto valori molto elevati di magnitudo. Le profondità ipocentrali sono mediamente maggiori rispetto alla fascia esterna 912.

La fascia del fronte appenninico sepolto determina infatti una sismicità rappresentata da terremoti a intensità medio-bassa, ma con una discreta frequenza di accadimento.

### 4.5 NORMATIVA SISMICA DI RIFERIMENTO

#### Ordinanza P.C.M. 3274/2003

A seguito della nuova classificazione sismica (Ordinanza P.C.M. 3274 del 20/3/2003 e s.m), il territorio nazionale è diviso in quattro zone sismiche caratterizzate da differenti valori dell'accelerazione orizzontale massima ( $a_g$ ) su suolo di categoria A.

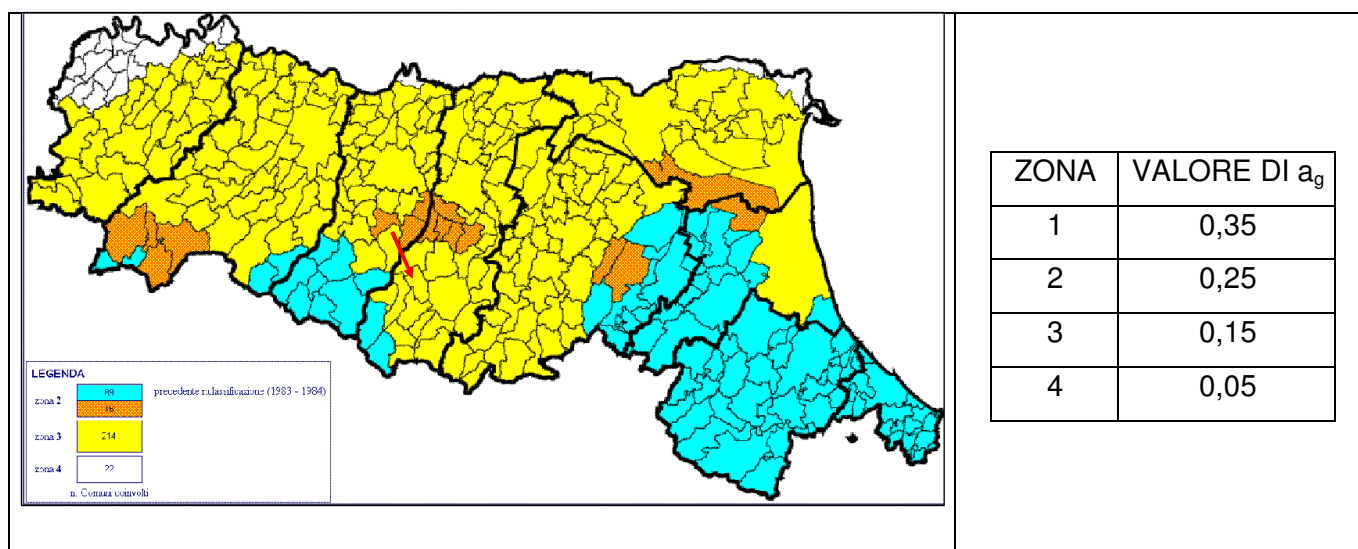


Fig. 15 - Classificazione sismica attuale di riferimento - Ordinanza PCM del 20 marzo 2003 n. 2374 All. 1.

Il Comune di Polinago ricade in “zona sismica 3” a cui corrisponde un'accelerazione orizzontale massima convenzionale su suolo di categoria A, riferita ad una probabilità di superamento del 10% in 50 anni, ed espressa come frazione dell'accelerazione di gravità  $g$ , pari a  $a_g = 0,15g$ .

#### Ordinanza P.C.M. 3519/2006

Successivamente, l'Ordinanza PCM 3519/2006 ha indicato i *Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone.*

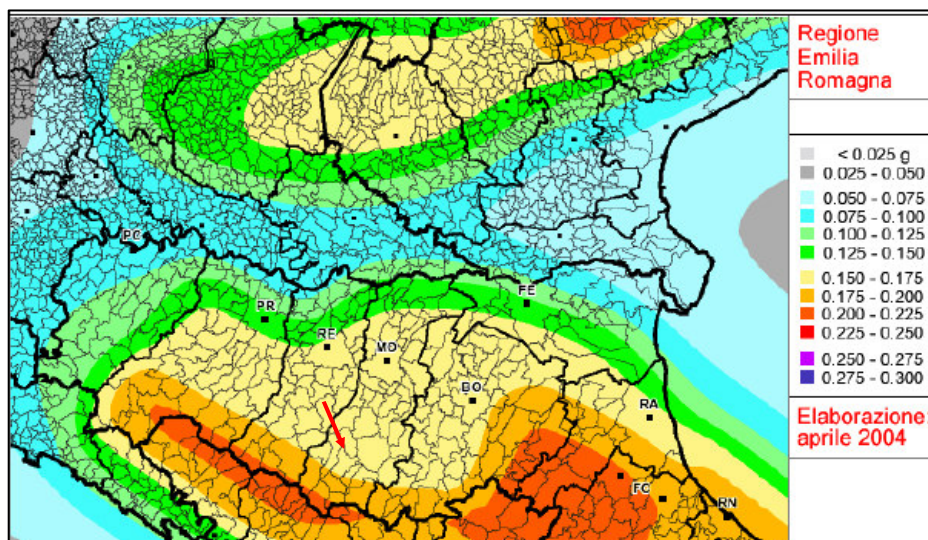


Fig. 16 - Mappa di pericolosità sismica espressa in termini di accelerazione massima al suolo ( $a_{max}$ ) con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni riferita ai suoli molto rigidi ( $V_{s30} > 800$  m/s; cat. A) allegata all'Ordinanza PCM n. 3519 del 28 aprile 2006. (Fonte: Sito web della Regione Emilia-Romagna).

A tale ordinanza è allegata la *Mappa di Pericolosità sismica di riferimento a scala nazionale* nella quale è possibile verificare che il territorio del Comune di Polinago è compreso nell'area caratterizzata da **valori dell'accelerazione massima al suolo (amax)**, con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni riferita ai suoli molto rigidi ( $V_{s30} > 800$  m/s; cat. A), **compresi tra 0,150 e 0,175** l'accelerazione di gravità **g**.

**Del. Rer. 112/2007**

La RER ha poi approvato la Del. n. 112 del 02-05-2007 “Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica.”; in All. A4 sono riportati i valori di accelerazione max, espressa sempre in frazione dell'accelerazione di gravità  $g$  ( $a_{refg}$ ), per ogni comune della Regione.

MO	Palagano	0.164	Per il Comune di Polinago risulta $a_{refg}=0,161$
MO	Pavullo	0.159	
MO	Pievepelago	0.194	
<b>MO</b>	<b>Polinago</b>	<b>0.161</b>	
MO	Prignano	0.158	

## 5. INDAGINI GEOGNOSTICHE E DATI GEOTECNICI E GEOFISICI

Le indagini e le informazioni disponibili al momento del presente Studio, unitamente alle nuove indagini integrative eseguite allo scopo di approfondire le conoscenze dell'area, hanno permesso di ricostruire il modello geologico e geotecnico di riferimento, che ha poi permesso di valutare la risposta sismica locale ed eseguire le analisi di stabilità in condizioni sismiche dell'area di Polinago. Nell'area, perimetrata nel PTCP della Prov. Modena come aree 267 "aree a rischio idrogeologico elevato e molto elevato", sono state condotte negli anni passati diverse campagne geognostiche allo scopo di acquisire sempre maggior dati sperimentali.

Da quello che è stato possibile reperire, le indagini principali e più significative esistenti risultano:

### Indagini di repertorio:

- n° 9 sondaggi a carotaggio continuo
- n° 2 tubi inclinometrici
- n° 15 stendimenti di sismica a rifrazione
- n° 20 prove penetrometriche dinamiche
- n° 9 saggi meccanici con escavatore
- n° 5 Masw (eseguite per il Livello 1-2)
- n° 5 Hvsr (eseguite per il Livello 1-2)

Ad integrazione delle indagini pregresse sono state realizzate le seguenti nuove indagini geofisiche:

- n° 3 Masw
- n° 6 Hvsr

Nelle tabelle seguenti sono riassunti i dati principali delle indagini.

### SONDAGGI A CAROTAGGIO CONTINUO

<i>Id</i> <i>n° di prova</i>	<i>Posizione</i>	<i>Prof.</i> <i>(m)</i>	<i>C.I.</i> <i>(prof. m)</i>	<i>Falda</i> <i>(m)</i>	<i>Piezometro</i>	<i>Inclinometro</i>
SOND3	Monte abitato –frana W	15		9		X
SOND4	Centro abitato –frana W	20		6.7÷13. 5		X*
SOND5	Centro abitato –frana W	20		13 ÷ 17	X	
SOND6	Monte abitato –frana W	20				X*
SOND7	Valle abitato –frana W	20		14	X	
SOND8	Centro abitato (monte campo sportivo) –frana E	20	3.70 ÷ 4.20 17.60 ÷ 18.10		X	
SOND9	Centro abitato (valle campo sportivo) – frana E	21	3.50 ÷ 4.00			X*
SOND10	Centro abitato –frana W	21	11.50 ÷ 12.00			X*
SOND11	Centro abitato (scuole)– monte frana E	25		3.3÷12. 5		X

(\*): inclinometri non attivi

**INDAGINI SISMICHE A RIFRAZIONE**

<b>Id n° di prova</b>	<b>Posizione</b>	<b>H (m)</b>	<b>VpH (m/s)</b>	<b>Vp<sub>sub</sub> (m/s)</b>
RIFR10	Frana E valle campo sportivo	2.3 ÷ 4.6 6.3 ÷ 13.3	254 ÷ 411 1538 ÷ 1661	2219 ÷ 2390
RIFR11	Frana E settore mediano	2.3 ÷ 7.1 8.5 ÷ 13.3	282 ÷ 648 1924 ÷ 2074	2778 ÷ 2793
RIFR12		2.3 ÷ 4.8 8.1 ÷ 18	356 ÷ 527 1820 ÷ 1936	2708 ÷ 2778
RIFR13		1.3 ÷ 5.9 8.7 ÷ 16.2	433 ÷ 639 1502 ÷ 1685	2295 ÷ 2399
RIFR14	Frana W valle abitato	3.0 ÷ 5.0 7.6 ÷ 15.9	327 ÷ 431 1446 ÷ 1569	2195 ÷ 2259
RIFR15	Frana W settore mediano	1.8 ÷ 3.6 8.8 ÷ 20.3	307 ÷ 358 1308 ÷ 1365	2021 ÷ 2115
RIFR16	Frana W (fuori frana)	0.8 ÷ 3.8 7.5 ÷ 12	326 ÷ 562 1103 ÷ 1335	2450 ÷ 2715
RIFR17	Frana E settore mediano	2.6 ÷ 6.8 10.4 ÷ 14.3	326 ÷ 734 1593 ÷ 1666	2358 ÷ 2504

H: spessore dei terreni di frana/copertura (1° e 2° rifrattore) – VpH: velocità onde P dei terreni di frana/copertura  
- Vp<sub>sub</sub>: velocità onde P del substrato

**INDAGINI SISMICHE - MASW**

<b>Id n° di prova</b>	<b>Posizione</b>	<b>H (m)</b>	<b>VsH (m/s)</b>	<b>Vs30 (m/s)</b>	<b>Vs<sub>sub</sub> (m/s)</b>
MASW5	Monte abitato –frana W	15.0	310	471	987
MW – 036032L1	Frana E – parte bassa	12.2	220	352	679
MW– 036032L2	Frana W (Strada C Tuccio)	15.9	242	342	729
MW– 036032L3	Frana E – valle S.P.	17.0	271	343	648

H: spessore dei terreni di frana/copertura – VsH: velocità onde S dei terreni di frana/copertura  
Vs30: velocità equivalente onde S nei 30 m - Vs<sub>sub</sub>: velocità onde S del substrato



**INDAGINI SISMICHE - HVSR**

<b><i>Id n° di prova</i></b>	<b><i>Posizione</i></b>	<b><i>f1 (hz)</i></b>	<b><i>Amp f1 (n°)</i></b>	<b><i>f2 (hz)</i></b>	<b><i>Amp f2 (n°)</i></b>
036032P1	Frana E – parte bassa	6.84	3.4	-	-
036032P2	Frana W (Strada C Tuccio)	5.63	4.1	-	-
036032P3	Frana E – valle S.P.	13.63	3.2	4.5	2.3
036032P4	Frana W (valle abitato)	5.22	3.8	-	-
036032P5	Frana E – parte mediana	12.34	4.3	5.5	2.3
036032P6	Frana E – parte mediana	5.22	5	-	-
036032P5	Monte abitato –frana W	5.31	4.1	-	-
036032P9	Monte abitato –frana W	7.09	4	-	-
N_P_HVSR 8	Centro abitato (scuole)–monte frana E	3.88	3.4	-	-
HVSR1	Centro abitato – Cimitero	8.94	3	-	-
HVSR2	Centro abitato - Cimitero	9.19	4	-	-

f1: frequenza. di risonanza fondamentale – f2: altra freq. di risonanza secondaria - Amp.: ampiezza del picco di freq.

## **6. VALUTAZIONE DELLO SPESSORE DEI CORPI DI FRANA TRAMITE SISMICA PASSIVA TROMOGRAFICA – CONFRONTO CON INDAGINI DI TARATURA**

Già da diversi anni si è verificata la funzionalità del Tromino quale strumento anche per studiare i fenomeni franosi; in particolare se a confronto con indagini di taratura.

Nel caso in studio è stata eseguita l'analisi di alcuni sondaggi a carotaggio continuo cercando di ricostruire e discretizzare le unità principali e individuare lo spessore delle coperture in frana o la profondità della superficie di scorrimento, estrapolata da dati inclinometrici.

Sono poi state eseguite una serie di indagini tromografiche in diversi punti dei due corpi di frana in studio con il tromografo Tromino che è un registratore disegnato specificatamente per le acquisizioni del rumore sismico. Le interpretazioni delle misure sono state svolte tramite il software dedicato Grilla il quale implementa il metodo di Nakamura H/V.

Alcune misure sono state posizionate a fianco di sondaggi eseguiti in passato al fine di avere un confronto tra le misure acquisite e la stratigrafia reale del punto d'indagine.

### **Analisi delle misure tromografiche**

Il punto fondamentale di questa analisi consiste nell'individuare il picco di frequenza del passaggio tra coltre detritica e bedrock, che si è visto corrispondere di norma con la base del corpo di frana. Per fare questo, vi sono diversi criteri che aiutano a determinare il picco giusto:

- il picco a maggior impedenza (grafico H/V)
- il picco a minor frequenza (grafico H/V)
- la frequenza in cui la componente Up-Down presenta un minimo individuando il relativo picco nel grafico H/V

In gran parte dei casi le misure risultano di facile interpretazione e sono in grado di riprodurre le stratigrafie osservate.

Successivamente è stata fatta un'analisi in merito al legame tra significatività della traccia e la tipologia dei corpi di frana. Ci si potrebbe attendere, infatti, che un corpo di frana attiva mostri una curva H/V con un picco ben definito e comunque più facilmente interpretabile di una curva H/V rilevata su una frana quiescente da lungo tempo.

In effetti le misure facilmente interpretabili ricade all'interno dei corpi di frana classificate come attive o quiescenti. Le misure di difficile interpretazioni o con picchi di frequenze poco accentuati o mal definiti o assenti ricadono fuori dalle aree in frana ed è in effetti più probabile che il contrasto sismico tra le varie unità lito-tecniche sia meno marcato.

## **7. DEFINIZIONE DEL MODELLO GEOLOGICO-STRATIGRAFICO**

L'approfondimento di 3° livello è stato condotto su due corpi franosi che coinvolgono l'abitato di Polinago e che vengono distinti per la loro collocazione in:

- corpo di frana ovest
- corpo di frana est

La descrizione dei due corpi franosi è riportata nel Cap. 3.

Sulla base della documentazione disponibile, ed in particolare sulla base delle colonne stratigrafiche dei sondaggi e dei profili sismici a rifrazione, sono stati messi a punto i modelli stratigrafici rappresentativi delle aree in studio.

Le indagini disponibili hanno permesso di distinguere al di sopra del substrato roccioso (Formazione di Monghidoro – torbiditi arenaceo/pelitiche), lo strato di detrito di frana/deposito di versante.

### **7.1 SELEZIONE DELLE VERTICALI D'INDAGINE SIGNIFICATIVE/RAPPRESENTATIVE**

I due corpi di frana sono stati indagati con le seguenti indagini:

- corpo di frana ovest: n° 6 sondaggi, 2 Masw, 4 Hvsr, 5 sismica a rifrazione
- corpo di frana est: n° 3 sondaggi, 2 Masw, 5 Hvsr, 5 sismica a rifrazione

Per la caratterizzazione della risposta sismica della coltre detritica, per i due corpi di frana, sono state discretizzate e selezionate 3 zone omogenee e altrettante verticali d'indagine ritenute significative e rappresentative dal punto di vista dello spessore della copertura e della disponibilità di informazioni di tre :

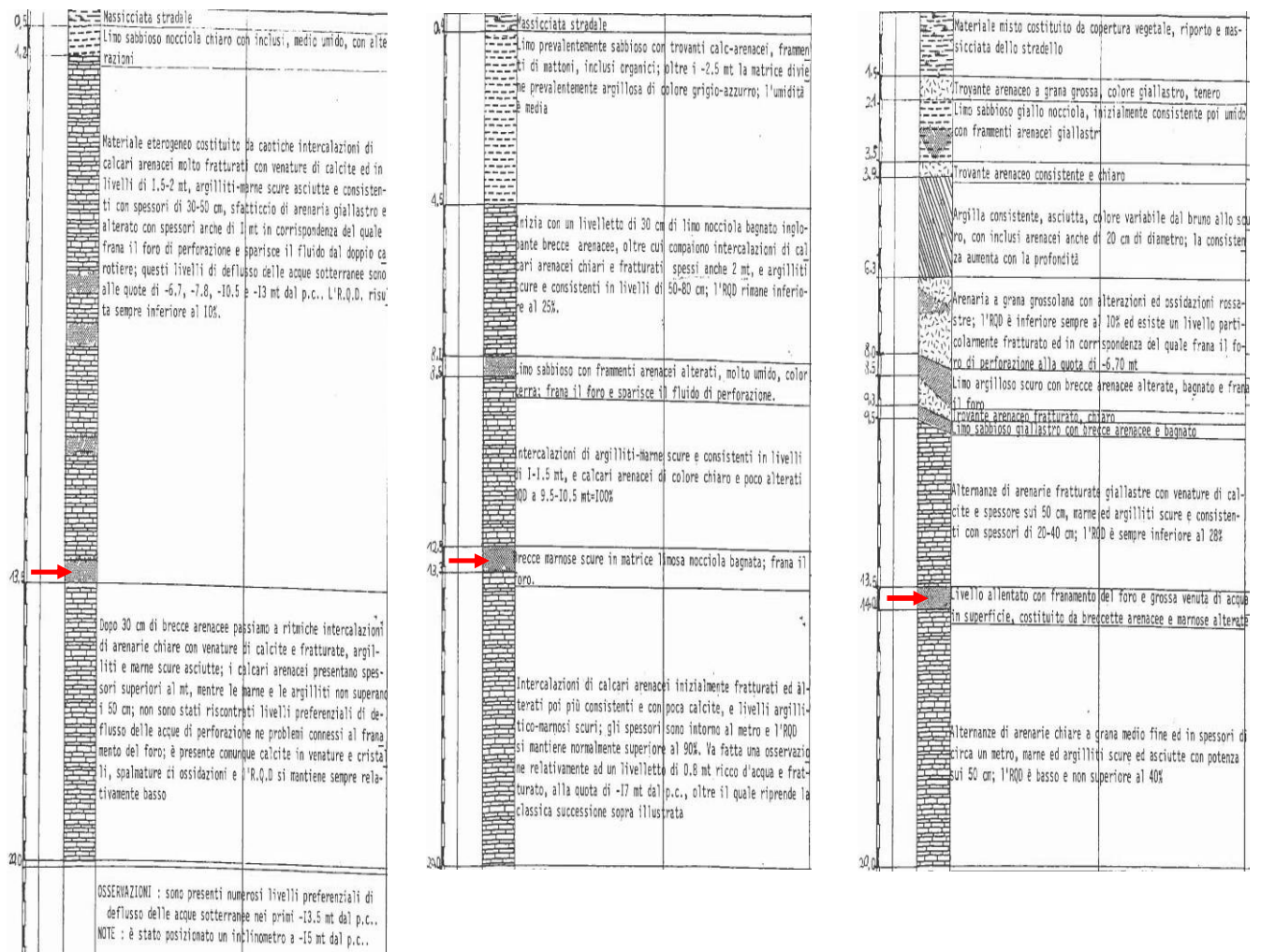
- corpo di frana ovest, caratterizzato da una coltre detritica dove gli spessori rimangono sufficientemente costanti e mediamente compresi tra 13-16 m;
- corpo di frana est, parte superiore, caratterizzata da una coltre detritica che raggiunge uno spessore intorno ai 20-22 m;
- corpo di frana est, tratto medio-inferiore, caratterizzato da una coltre detritica di spessore mediamente compreso tra 12-15 m

Per le tre zone individuate sono disponibili, le stratigrafie, i profili Vs, i profili Vp, e le proprietà geotecniche dei terreni desunti da prove di laboratorio.

Di seguito ne vengono schematizzate le caratteristiche geometriche utili poi alla modellazione di base per l'RSL (Risposta Sismica locale) e per le verifiche di stabilità.

**Frana Ovest**

**Sondaggi 4-5-7**



Tutti e tre i sondaggi individuano in modo sufficientemente chiaro il probabile livello inferiore del corpo di frana ovest ad una profondità di circa 13-14 m.

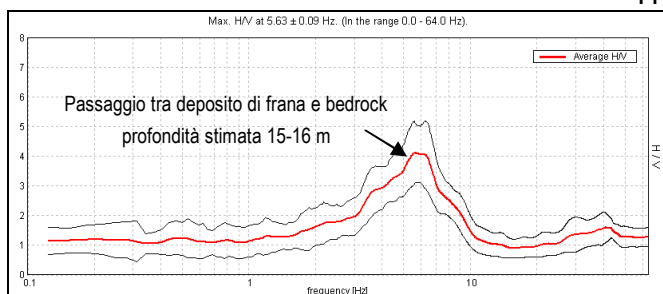
Le indagini sismiche a rifrazione (14-15) confermano sostanzialmente tali profondità, seppur con valori variabili compresi tra 12-18 m.

In sintesi nella tabella sottostante si riportano le caratteristiche geometriche principali del corpo franoso:

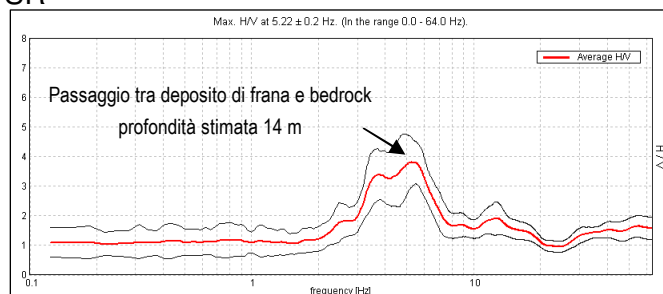
**Corpo di frana Ovest**

Corpo di frana	Ubicazione	Grado di attività	Profondità media (m)	Hvsr (freq. di risonanza)	Sondaggi (prof. frana)	Masw (prof. frana)
Ovest	Dal capoluogo fino al T. Rossenna	Quiescente	15-16	5.6 Hz	4-5-7 (13-14 m)	
Ovest	Capoluogo a monte della S.P.	Attiva	13-14	5.2 Hz	4-5 (13 m)	Masw 5 (14 m)
Ovest	A valle della S.P. in posizione mediana del versante	Attiva	5	-	7 (14 m)	036032L2 (16 m)

HVSR

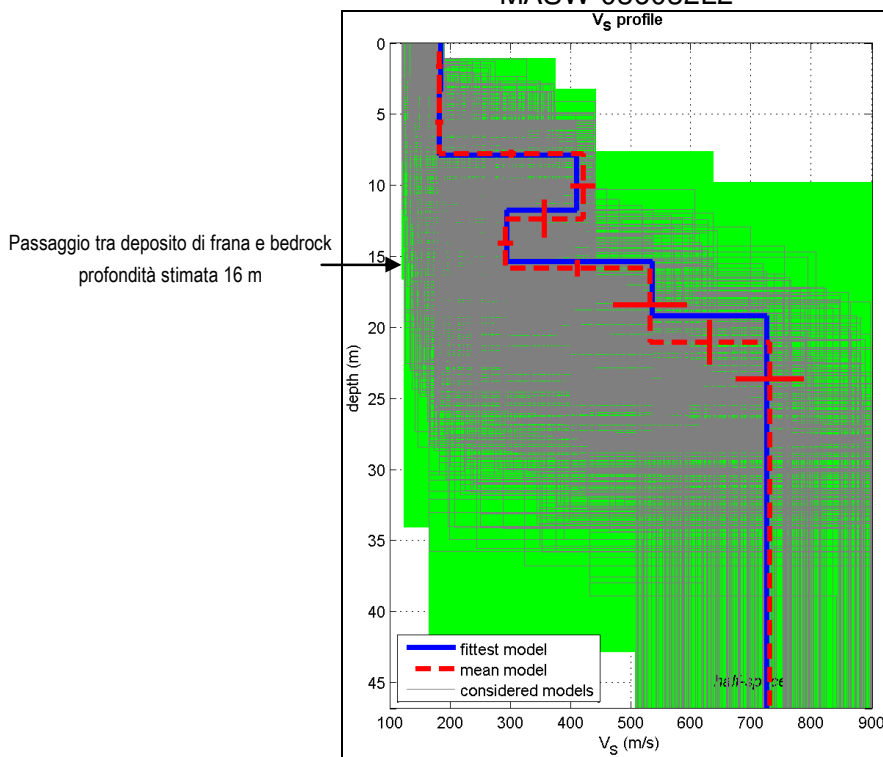


036032P2 (eseguito in coppia con Masw 036032L2)



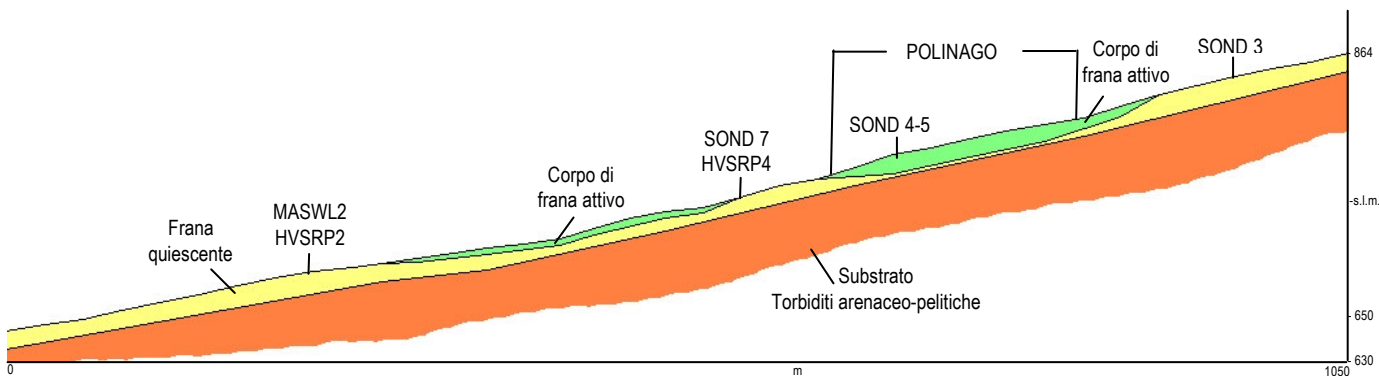
036032P4 (eseguito a fianco del Sond 7)

MASW 036032L2

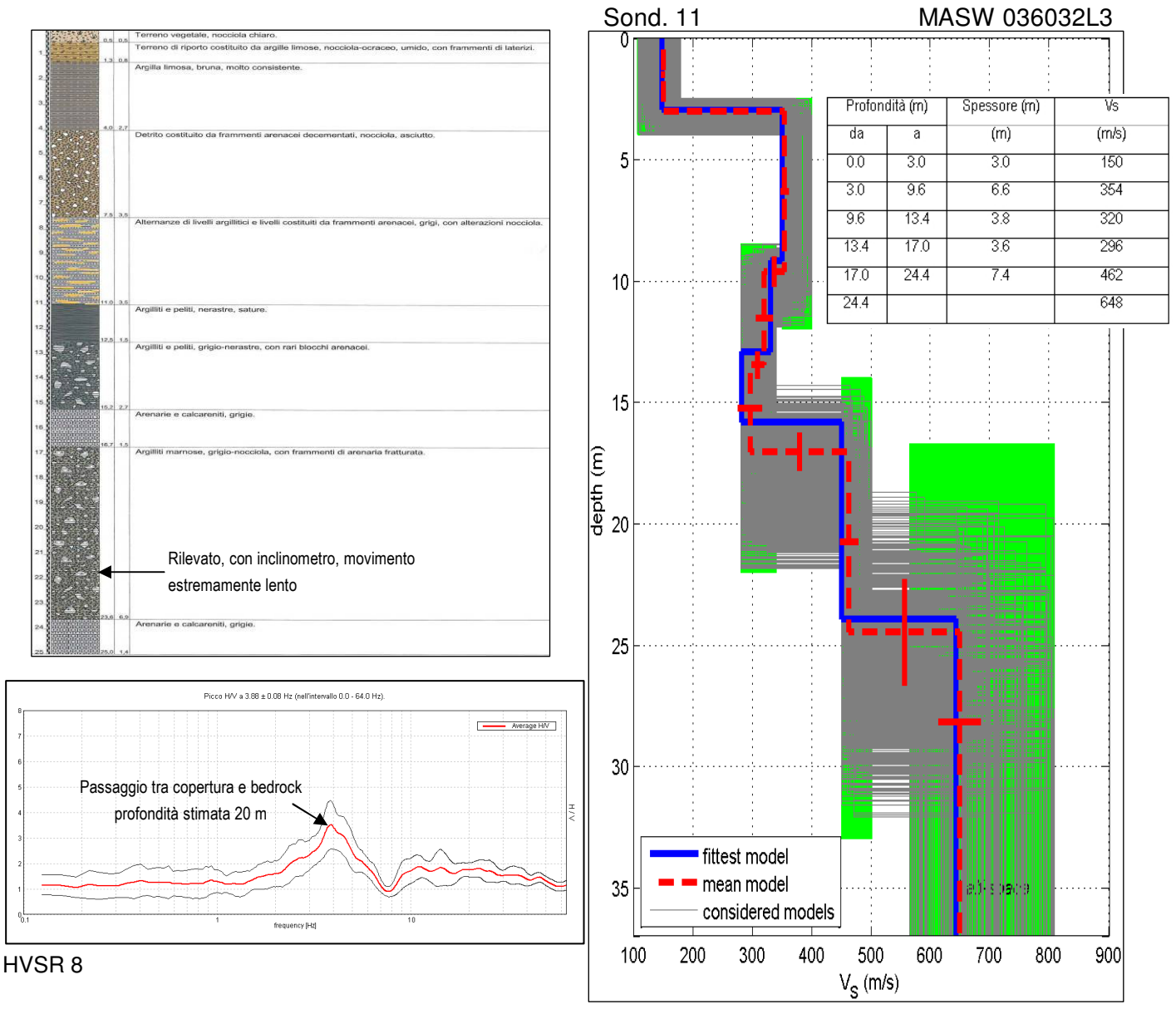


Profondità (m)		Spessore (m)	Vs (m/s)
da	a		
0.0	3.4	3.4	182
3.4	7.8	4.4	182
7.8	12.4	4.6	420
12.4	15.9	3.5	291
15.9	21.1	5.2	531
21.1			729

MODELLO SEZIONE FRANA OVEST



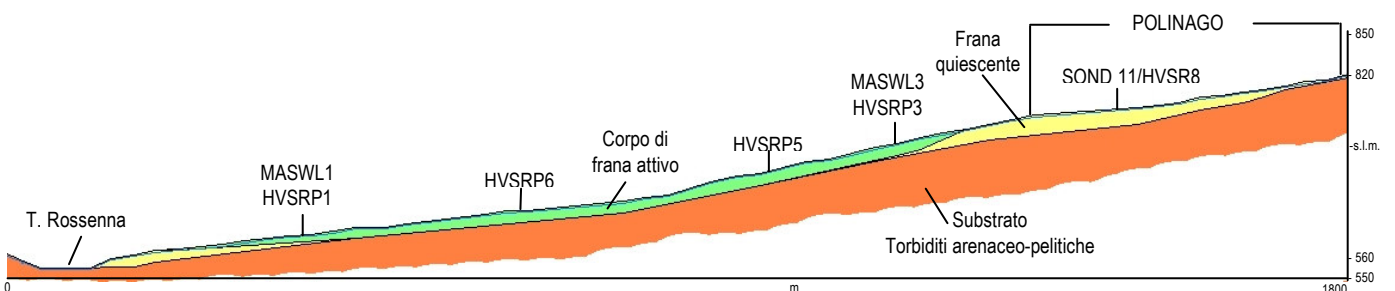
**Frana Est – parte superiore**



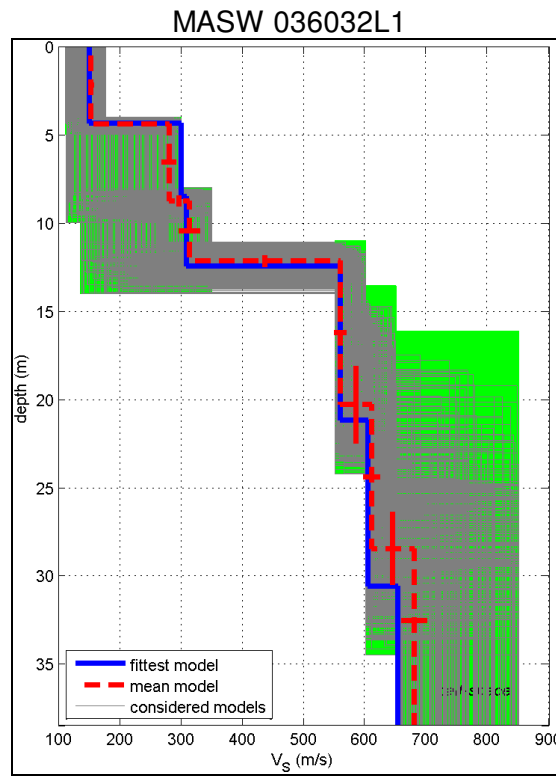
HVSR 8

Nel sondaggio 11 è installato un inclinometro che, tra il 2012 e il 2014, ha fornito, a profondità di 21-22 m, velocità medie di movimento comprese tra 4-8 mm/anno, con valori massimi concentrati nei mesi autunnali-invernali-primaverili dove si raggiungono valori di circa 1mm/mese.

**MODELLO SEZIONE FRANA EST**

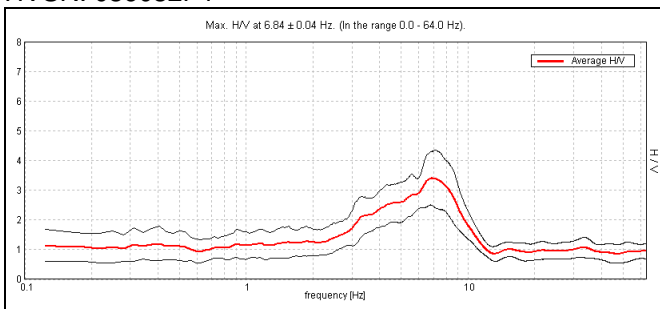


**Frana Est – parte medio-inferiore**

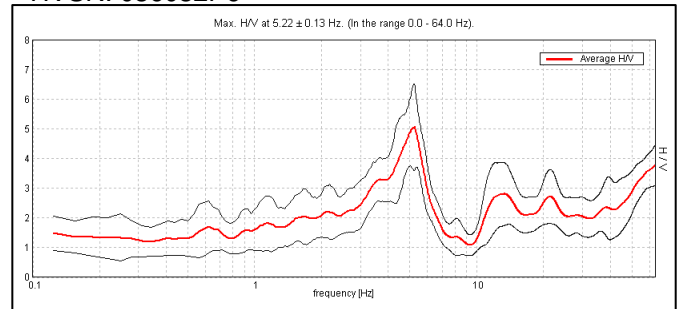


Profondità (m)		Spessore (m)	Vs (m/s)
da	a	(m)	(m/s)
0.0	4.4	4.4	153
4.4	8.8	4.4	280
8.8	12.2	3.4	313
12.2	20.4	8.2	559
20.4	28.6	8.2	610
28.6			679

HVSR: 036032P1



HVSR: 036032P6



**Corpo di frana Est**

Corpo di frana	Ubicazione	Grado di attività	Profondità media (m)	Hvsr (freq. di risonanza)	Sondaggi (prof. frana)	Masw (prof. frana)
Est	Capoluogo Parte superiore	Quiescente	20	HVSR 8 3.88 Hz	11 (21-22 m)	036032L3 (17/24 m)
Est	A valle della S.P. in posizione medio-inf. del versante	Quiescente	15	036032P6 (5.22 Hz)	-	-
Est	A valle della S.P. in posizione medio-inf. del versante	Attiva	12	036032P1 (6.84 Hz)	-	036032L1 (12 m)

## 8. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEI TERRENI

Il detrito di frana presente nell'area di Polinago si presenta granulometricamente assai eterogeneo, prevalentemente limo sabbioso, talora limo argilloso, con inglobante una frazione grossolana eterometrica.

Il passaggio detrito-substrato è caratterizzato da intensa fratturazione degli strati arenacei della Formazione di Monghidoro. La conformazione litologico-strutturale risulta assai complessa, ed i sondaggi effettuati, con i parametri geotecnici ricavati dalle prove di laboratorio ne hanno consentito solo una sommaria ricostruzione.

Nelle tabelle seguenti si riportano i parametri fisici e geotecnici desunti dalle prove di laboratorio disponibili:

PARAMETRI FISICI

Sondaggio	Profondità Campione (m)	Umidità Naturale W %	Peso di vol. naturale $\gamma$ (t/mc)	Peso di vol. secco $\gamma_d$ (t/mc)	Peso specifico dei grani $\gamma_s$ (t/mc)	Descrizione litologica	Argilla e limo	Sabbia	Ghiaia
SOND9	3.5/4	24.8	2.01	1.61	2.61	Argilla limosa compatta con locale frazione sabbiosa	97	3	0
SOND10	11.5/12	18.5	2.06	1.74	2.59	Argilla limosa molto compatta con locali frazioni sabbiose e clasti ghiaiosi	96	4	0

### 8.1 RESISTENZA AL TAGLIO

La resistenza al taglio è stata determinata in laboratorio con prove di taglio diretto consolidato drenato; queste prove hanno permesso di determinare il valore della resistenza di picco, mentre misure alla prova di taglio anulare hanno fornito valori di resistenza residua.

PARAMETRI GEOTECNICI

Sondaggio	Profondità Campione (m)	Prova di taglio diretto CD		Misure prova di taglio anulare
		Coesione C' (Kpa)	Angolo attrito picco $\phi_p$ (°)	Angolo attrito residuo $\phi_r$ (°)
SOND9	3.5/4	11.77	25	8.3
SOND10	11.5/12	17.05	26	6.5



## 8.2 PROPRIETÀ GEOTECNICHE DINAMICHE

Le indagini di sismica a rifrazione sono state di grande utilità per la definizione del modello stratigrafico mediante l'analisi delle variazioni di velocità di propagazione delle onde sismiche di compressione.

In particolare sono state individuate due discontinuità sismostratigrafiche, una corrispondente a velocità delle onde P comprese tra 250÷700 m/sec correlabile alla parte superiore della coltre detritica, e comprese tra 1100÷1600 m/sec afferente alla parte inferiore della coltre detritica al passaggio con il substrato costituito dalla Formazione di Monghidoro, quest'ultimo caratterizzato da velocità di 2000÷2800 m/sec.

I profili di velocità di propagazione delle onde di taglio, necessari per effettuare le analisi della risposta sismica locale, sono stati definiti utilizzando i risultati delle Masw eseguite appositamente per lo studio di 3° livello.

Per quanto riguarda le proprietà geotecniche dinamiche dei terreni, non è stato possibile per evidenti problemi di budget, eseguire prove di laboratorio tipo colonna risonante.

Per tener conto del comportamento del terreno, che non è lineare ma varia al variare della deformazione indotta dal sisma, ad ogni tipologia di terreno individuata nella sismo stratigrafia sono associate curve di decadimento del modulo di taglio ( $G/G_0$ ) e dello smorzamento ( $D/D_0$ ) con la deformazione. Queste curve sono state tratte da bibliografia, facendo attenzione alla scelta in base alle caratteristiche litologiche/stratigrafiche.

Nel capitolo 9.3 si riportano le curve utilizzate.

## 9. ANALISI DELLA RISPOSTA SISMICA LOCALE (RSL)

Nell'ambito del presente studio di Microzonazione Sismica di terzo livello del versante di Polinago sono state svolte analisi della risposta sismica locale (RSL) al fine di identificare le zone caratterizzate da una diversa risposta, quantificando i possibili fenomeni di amplificazione del moto sismico che possono interessare i depositi detritici sovrastanti il substrato.

Questo ha consentito di definire il valore dell'accelerazione massima,  $a_{max}$ , da utilizzare per le diverse zone del versante nelle analisi di stabilità in condizioni sismiche condotte con metodi pseudostatici.

Per la quantificazione degli effetti di amplificazione topografica è stato valutato il coefficiente  $S_t$  mediante la procedura indicata negli indirizzi regionali; in particolare avendo rilevato che lungo il versante di Polinago oggetto di verifica le pendenze massime anche nei tratti più acclivi con dislivelli superiori di 30 m è sempre inferiore a 20°, si è ricavato un valore di  $S_T = 1$  per tutta l'area oggetto di studio.

Per determinare la risposta sismica del sottosuolo attesa in superficie a partire da un input (terremoto) tipico atteso al bedrock, è stato utilizzato il codice di calcolo EERA (Equivalentlinear Earthquake site Response Analyses, 2000), in grado di modellare la propagazione unidimensionale delle onde di taglio.

In considerazione della sufficiente regolarità dello spessore e della geometria della coltre detritica dei siti considerati, si è ritenuto infatti adeguato un modello numerico monodimensionale.

La verifica monodimensionale dell'amplificazione locale, tramite l'utilizzo di EERA si compone di due fasi: elaborazione del modello e simulazione degli effetti indotti dal sisma di progetto.

### 9.1 DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE E DEGLI EVENTI DI RIFERIMENTO

#### Stima della pericolosità e analisi di disaggregazione

Una stima della pericolosità del sito in studio può essere fatta attraverso le Mappe interattive della pericolosità sismica dell'INGV. Una volta selezionata la località si disegna la mappa. È stata selezionata la carta di pericolosità relativa alla specifica probabilità di eccedenza. Visto che la carta Ingv è costruita per tempi di esposizione  $\Delta t$  di 50 anni, è necessario trovare la corrispondente probabilità di eccedenza per un periodo di esposizione diverso che nel nostro caso è pari a 75 anni ( $C_u=1.5$ ).

$$P = 1 - e^{-\left[\frac{1}{T_e}\right]Dt} = 1 - e^{-\left[\frac{1}{712}\right]50} \approx 7\%$$

Dove  $T_e$  è il tempo medio di ritorno associato all'evento caratterizzato da una probabilità di eccedenza del 10% in 75 anni. La carta però è costruita per probabilità del 10-5-2% in 50 anni; si può quindi scegliere per approssimazione il valore del 5% e ridisegnare la carta di disaggregazione per questa probabilità:

Selezionando il punto sulla griglia più vicino al sito in esame si ottiene il grafico di disaggregazione riportato nella pagina seguente e il suo valore mediano.

### Mappe interattive di pericolosità sismica

**Strumenti**

- Ritorna alla mappa iniziale
- Ridisegna mappa
- Zoom In
- Zoom Out
- Ricentra sul punto
- Grafico sul punto griglia
- Grafico di disaggregazione

**Navigazione**

**Scala:**  
(Valori consentiti: 50.000 - 7.909.000)  
Scala: 250000

**Coordinate del centro della mappa**

Latitudine: 44,344  
Longitudine: 10,722

Cambia scala/centro

**Ricerca Comune**

Il nome contiene:

Ricerca

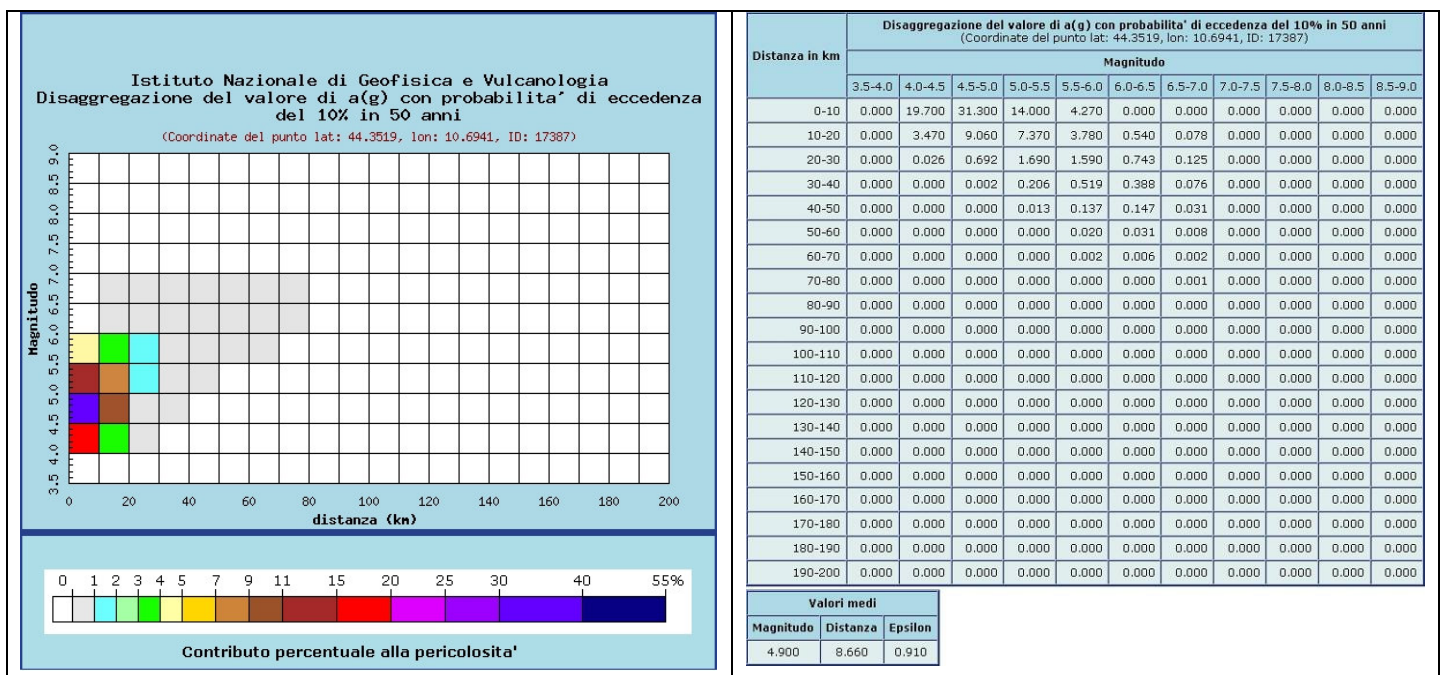
**Comune evidenziato**  
**Polinago**

Cancela la Ricerca

**Selezione mappa**

Visualizza punti della griglia riferiti a: Parametro dello scuotimento: Probabilità in 50 anni: Percentile: Periodo spettrale (sec):  
a(g) 10% 50 0.50

Ridisegna mappa



Risulta come rappresentativa la coppia magnitudo-distanza 4.90-8.6 km con un valore di  $\xi$  pari a 0.91.

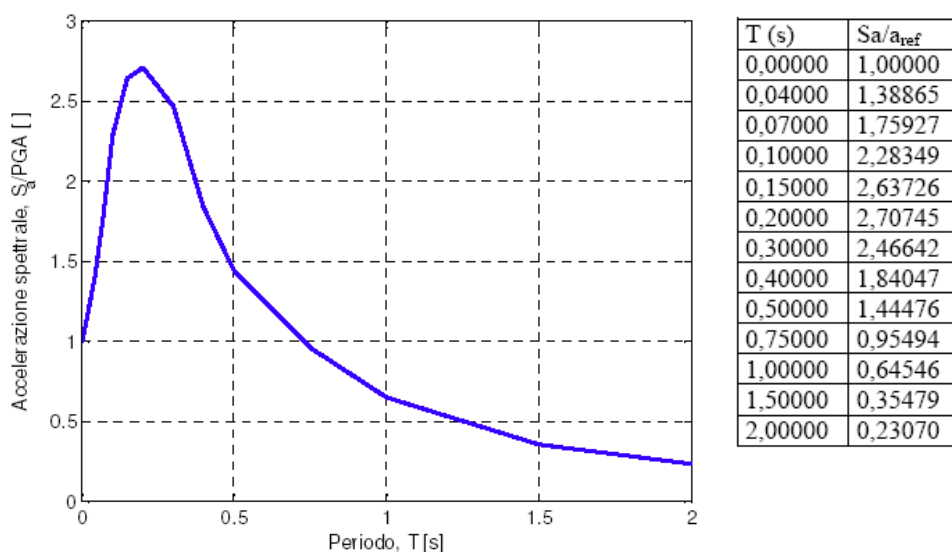
Epsilon indica di quanto l'accelerazione attesa al sito per coppia magnitudo/distanza individuata dall'analisi di disaggregazione si discosta dal valore di PGA stimato al sito nella carta di pericolosità relativo al sito.

Dato che questo scostamento è espresso in frazioni della deviazione standard della legge di attenuazione, valori di epsilon minori di 1 indicano che la coppia corrisponde a valori di PGA attesi compatibili con la PGA dedotta dalle carte di pericolosità.

Valori maggiori di 1 indicano che questo scostamento è significativo e che quindi la coppia scelta produce valori di PGA molto lontani da quelli attesi.

### Definizione del moto di riferimento

Lo spettro di riferimento viene fornito dalla RER che assegna lo spettro di risposta normalizzato all'intero territorio regionale, per un valore dello smorzamento pari al 5% dello smorzamento critico, uno spettro di risposta normalizzato a probabilità uniforme (10% di probabilità di superamento in 50 anni, corrispondente ad un periodo di ritorno dell'evento sismico di 475 anni).



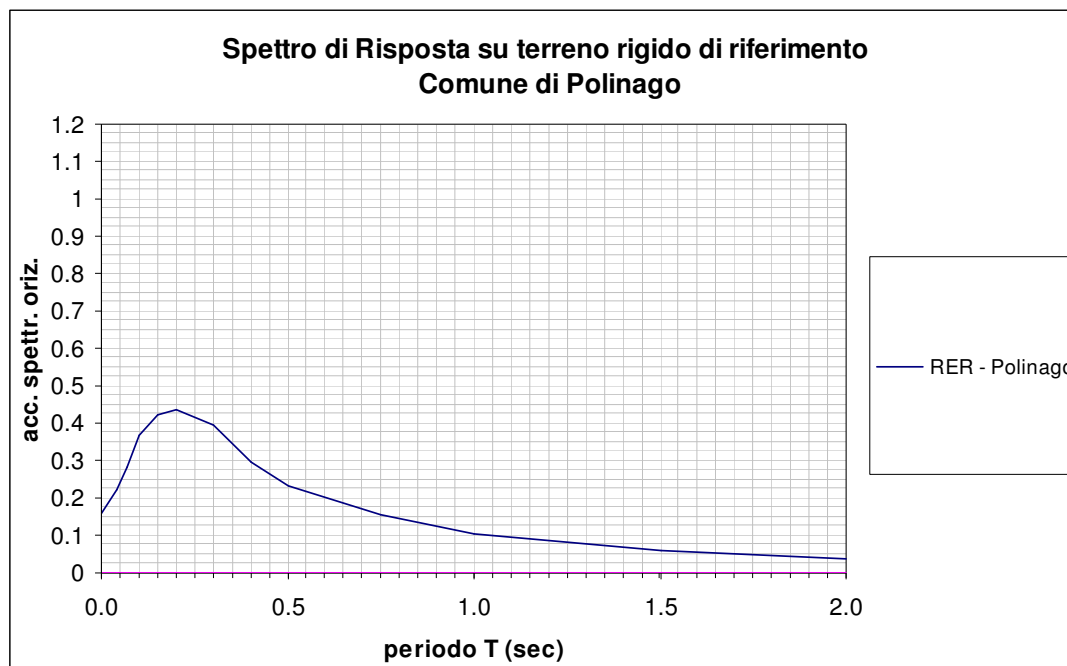
Spettro di risposta normalizzato ( $T_R = 475$  anni, smorzamento = 5%) per l'Emilia-Romagna, e valori che lo definiscono.

Dallo spettro di riferimento è possibile ottenere, moltiplicando le ordinate spettrali (valori della tabella della figura precedente) per il valore di accelerazione massima attesa in 475 anni  $a_{refg}$  del comune d'interesse, lo spettro di risposta elastico a probabilità uniforme del moto sismico atteso su terreno rigido di riferimento per il periodo di ritorno prescelto, che descrive le caratteristiche del moto sismico atteso per Polinago.

La PGA per un periodo di ritorno di 475 anni riportata nelle mappe di pericolosità sismica di INGV (Meletti C., Montaldo V., 2007. Stime di pericolosità sismica per diverse probabilità di superamento in 50 anni: valori di ag. Progetto DPC-INGV S1, Deliverable D2, <http://esse1.mi.ingv.it/d2.html>) varia, per Polinago, nell'intervallo  $0,150 \div 0,175$  g.

Tali dati sono anche stati utilizzati anche dalla Regione Emilia Romagna nella redazione della Delibera dell'Assemblea Legislativa n° 112 - 2007 "Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia Romagna per la pianificazione territoriale ed urbanistica" dove viene indicata una PGA corrispondente a 0,161 g per l'intero territorio comunale di Polinago.

Per il Comune di Polinago lo spettro così determinato è riportato nella figura seguente:



Spettro di risposta  
uniforme - Polinago

T (s)	Sa/a <sub>ref</sub>
0.00000	0.161
0.04000	0.22357
0.07000	0.28324
0.10000	0.36764
0.15000	0.4246
0.20000	0.4359
0.30000	0.39709
0.40000	0.29632
0.50000	0.23261
0.75000	0.15375
1.00000	0.10392
1.50000	0.05712
2.00000	0.03714

Spettro di risposta a probabilità uniforme, pari al 10% di almeno una eccedenza in 50 anni per Polinago. Con linea blu viene riportato lo spettro costruito con i parametri riportati nella delibera dell'assemblea legislativa ER – DAL112-2007.

Nella prima colonna sono riportati i valori del periodo proprio T, espresso in secondi, nella seconda i valori di accelerazione spettrale normalizzata al valore di accelerazione massima orizzontale (PGA), espressa in frazione dell'accelerazione di gravità g (pari a  $9.81\text{m/s}^2$ ), al corrispondente periodo T.

## **9.2 SELEZIONE DELL'IMPULSIONE SISMICA**

La risposta della coltre detritica che poggia sul substrato è stata valutata adottando 3 differenti segnali sismici di input.

Per i 3 segnali si sono utilizzati i segnali di riferimento (moto di input) resi disponibili dalla Regione Emilia Romagna e scaricabili dal sito web del Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli della RER.

Si tratta di segnali selezionati dalla banca dati accelerometrica "European Strong Motion database" – ISESD attraverso una procedura che valuta la similarità tra una forma spettrale di riferimento (nel nostro caso questa forma spettrale corrisponde alla forma dello spettro di risposta isoprobabile con il 10% di probabilità di eccedenza in 50 anni) e la forma degli spettri di risposta dei segnali contenuti nella banca dati ISESD.

L'analisi di risposta sismica locale ha permesso di determinare gli spettri di risposta riferiti alle aree in studio, per un periodo di ritorno di 475 anni con smorzamento  $z = 5\%$  e i valori di FA termini di PGA/PGA0 e SI/ SI0.

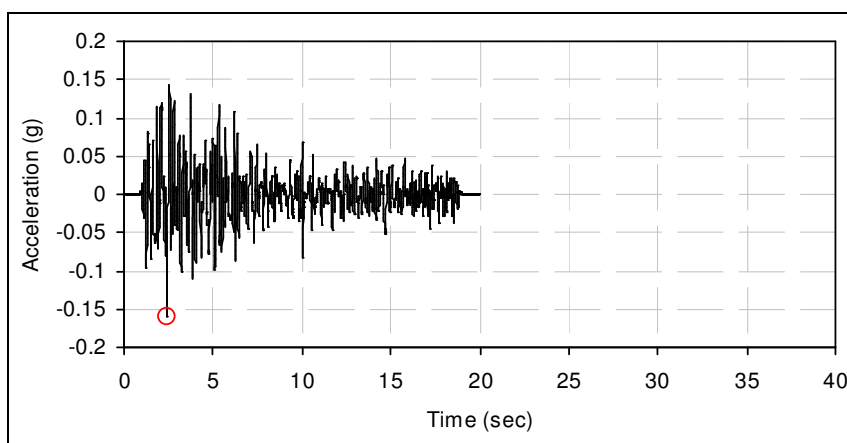
### **Accelerogrammi di riferimento**

Per l'elaborazione del modello di simulazione sismica occorre l'inserimento dei dati (accelerazione, intervalli di tempo) relativi ai segnali di riferimento selezionati dalla banca dati accelerometrica "European Strong Motion database" e forniti dal Servizio Geologico Sismico e dei Suoli regionale.

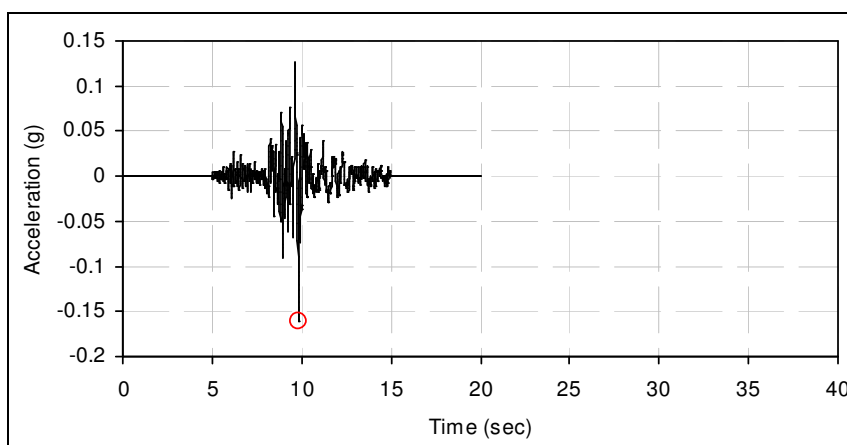
Si tratta di sismi che possono verificarsi nel territorio del comune oggetto di studio. Questi tre segnali, già "scalati" rispetto al comune a cui si riferiscono, sono rappresentati da tre differenti accelerogrammi di progetto:

- impulsivo
- con ampio contenuto in frequenze
- con componente predominante alle alte frequenze

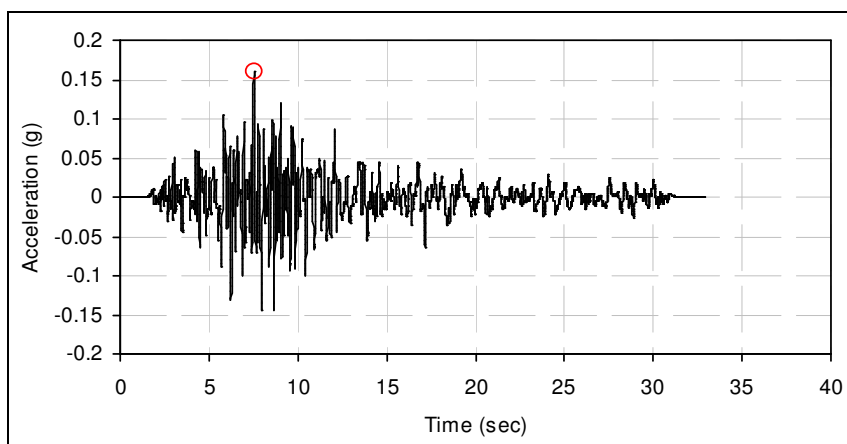
Tali segnali sono scalati in modo che la loro accelerazione massima corrisponda al valore di accelerazione con probabilità di superamento del 10% in 50 anni attesa nel Comune secondo le Norme Tecniche, ovvero 0.161 g (Polinago).



000046xa\_036032Polinago.xy



000126xa\_036032Polinago.xy



000354xa\_036032Polinago.xy

Segnali sismici di riferimento selezionati dalla banca dati accelerometrica "Europeam Strong Motion database".

Per ognuno di questi segnali sono state ottenute le funzioni di trasferimento accelerazione in superficie/accelerazione al bedrock.

Sono stati quindi ricavati gli spettri di risposta, ossia i valori massimi di accelerazione attesi per un oscillatore armonico semplice ad un grado di libertà (edificio tipo) in funzione della sua frequenza naturale e dello smorzamento (assunto pari al 5%)

Per il Comune di Polinago, il dato fondamentale del sisma forniti dalla Delibera Regionale è:

- accelerazione al substrato  $a_g = 0,162g$ .

La seconda fase di elaborazione permette di ottenere tre differenti "spettri di risposta", ognuno dei quali descrive il diverso comportamento relativo ad ogni singolo strato della colonna litologica tipo, rispetto all'input sismico utilizzato. Questi "spettri" vengono ripresi nell'ambito della progettazione per la verifica sismica delle strutture.

Il primo spettro ottenuto riguarda la **PSA** Viene mostrato il comportamento dell'accelerazione spettrale attraverso i diversi strati che compongono la colonna litologica tipo utilizzata nella modellizzazione per diversi valori di periodo: da 0 a 2 secondi (valori equiparabili ad edifici di varia altezza da un piano a torri alte).

Il secondo spettro ottenuto riguarda la **PSV**, ossia la pseudovelocità. Questo mostra il comportamento della velocità spettrale, in funzione del periodo (T) compreso tra 0 e 2 secondi, nei diversi layers della colonna litologica, in base all'input sismico applicato. I risultati di questa analisi sono utilizzabili per il calcolo del fattore SI-Intensità spettrale di Housner, richiesto nel terzo livello di caratterizzazione. L'intensità di Housner-SI è un indicatore della pericolosità sismica ed è definito come l'area sottesa dello spettro di risposta di pseudovelocità in un intervallo prefissato di frequenze. Questa grandezza è direttamente correlabile all'energia che viene dissipata nelle strutture durante un terremoto e quindi espressione del possibile grado di danneggiamento subito dagli edifici.

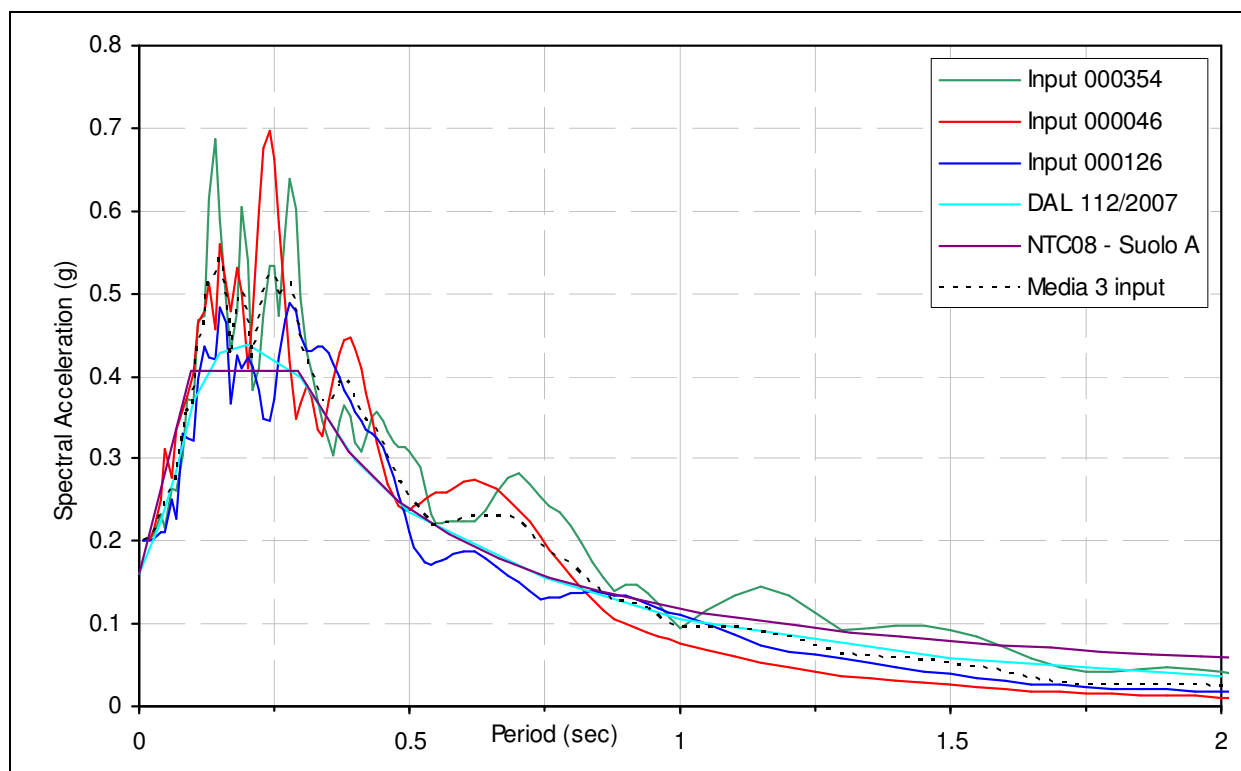
Il terzo spettro ottenuto riguarda l'amplificazione locale. Per amplificazione si intende il rapporto tra la massima ampiezza dell'accelerazione su affioramento rigido ( $a_{maxr}$ ) e la massima ampiezza dell'accelerazione alla superficie del deposito ( $a_{maxs}$ ) alla frequenza "f".

Il fattore di amplificazione dipende dalla frequenza di eccitazione armonica, dal fattore di smorzamento D e dal rapporto tra l'impedenza sismica, prodotto tra densità-velocità, della roccia base e quella del deposito.

La variazione del fattore di amplificazione con la frequenza definisce la funzione di amplificazione  $A(f)$  del deposito. Il moto sismico può essere amplificato in corrispondenza di determinate frequenze, corrispondenti alle frequenze naturali "fn" di vibrazione del deposito; molto importante risulta la prima frequenza naturale di vibrazione: "f 1" denominata *frequenza fondamentale*, in corrispondenza della quale la funzione di amplificazione assume un valore massimo.



Nella figura seguente sono riportati gli spettri di risposta elastici (per smorzamento pari al 5%) relativi ai 3 accelerogrammi scalati al valore di accelerazione massima attesa in 475 anni per il comune di Polinago ( $a_g=0.161g$ ) e assunti come input su bedrock affiorante ai fini dell'applicazione nel modello numerico.



Spettri di risposta elastici del moto sismico atteso ( $T_r=475$  anni, smorzamento 5%). Spettri dei 3 segnali di input RER per Polinago, spettro Dal RER 112/2007, spettro NTC08 su suolo rigido.

Per un immediato confronto nella figura sono stati inseriti anche lo spettro regionale (DAL 112/2007) e quello delle NTC08.

### **9.3 INDIVIDUAZIONE DEI SITI – DEFINIZIONE DEI PARAMETRI DEL MODELLO**

I modelli geo-stratigrafici rappresentativi dei due corpi di frana e utilizzati per le analisi di RSL, sono definiti sulla base delle indagini disponibili e di quelle opportunamente eseguite. In particolare il bedrock è stato posizionato in corrispondenza del contatto con la parte non alterata del substrato arenaceo-pelitico.

#### **Modellazione sismica - Sismostratigrafia**

Il modello geologico di sottosuolo e la correlabilità tra gli esiti litologici e meccanici ottenuti dalle prove geognostiche e geofisiche, consentono l'elaborazione di modellazioni numeriche di risposta sismica.

La prima fase consiste nel costruire la colonna di sottosuolo di riferimento, rappresentata da strati (layer) a differente tessitura e da diversi valori delle onde di taglio S ( $V_s$ ). Le stratigrafie che caratterizzano i diversi modelli per i primi 20-30 m derivano dagli esiti delle prove geognostiche e geofisiche eseguite per questo lavoro e di repertorio.

Per la caratterizzazione della risposta sismica della coltre detritica, per i due corpi di frana, sono state discretizzate e selezionate 3 zone omogenee e altrettante verticali d'indagine ritenute significative e rappresentative dal punto di vista dello spessore della copertura e della disponibilità di informazioni di tre:

- corpo di frana ovest, caratterizzato da una coltre detritica dove gli spessori rimangono sufficientemente costanti e mediamente compresi tra 13-16 m;
- corpo di frana est, parte superiore, caratterizzata da una coltre detritica che raggiunge uno spessore intorno ai 20-22 m;
- corpo di frana est, tratto medio-inferiore, caratterizzato da una coltre detritica di spessore mediamente compreso tra 12-15 m.

È necessario ora determinare le caratteristiche sismostratigrafiche del volume di terreno d'indagine ed oggetto della probabile amplificazione. Si riporta nel software Eera il profilo sismostratigrafico del terreno, ovvero i differenti sismostrati in cui la campagna di esplorazione geologica (geofisica e geotecnica) del sottosuolo ha discretizzato il sottosuolo dell'area in esame. Si assume, trattandosi di indagini monodimensionali, che gli strati siano piano paralleli e che la propagazione del sisma sia verticale. Di seguito si riportano le sismo stratigrafie di input:

**Modello sismostratigrafico – Frana Ovest**

*Polinago (Mo) - Frana Ovest*  
 Fundamental period (s) = 0.38  
 Average shear wave velocity (m/sec) = 578.99  
 Total number of sublayers = 7

Layer Number	Soil Material Type	Number of sublayers in layer	Thickness of layer (m)	Maximum shear modulus $G_{max}$ (MPa)	Initial critical damping ratio (%)	Total unit weight ( $kN/m^3$ )	Shear wave velocity (m/sec)	Location and type of earthquake input motion	Location of water table	Depth at middle of layer (m)	Vertical effective stress (kPa)
Surface	1	1	3.4	60.78		18.00	182			1.7	30.60
	2	1	4.4	64.15		19.00	182			5.6	103.00
	3	1	4.6	341.65		19.00	420			10.1	188.50
	4	1	3.5	181.27		21.00	291			14.2	268.95
	5	3	5.2	632.33		22.00	531			18.5	362.90
	6	3	33.9	1191.81		22.00	729			38.0	793.00
Bedrock	7	0		1435.27	1	22.00	800	Outcrop		55.0	1165.90

**Modello sismostratigrafico – Frana Est, parte superiore**

*Polinago (Mo) - Frana Est Superiore*  
 Fundamental period (s) = 0.42  
 Average shear wave velocity (m/sec) = 512.36  
 Total number of sublayers = 7

Layer Number	Soil Material Type	Number of sublayers in layer	Thickness of layer (m)	Maximum shear modulus $G_{max}$ (MPa)	Initial critical damping ratio (%)	Total unit weight ( $kN/m^3$ )	Shear wave velocity (m/sec)	Location and type of earthquake input motion	Location of water table	Depth at middle of layer (m)	Vertical effective stress (kPa)
Surface	1	1	3.0	41.28		18.00	150			1.5	27.00
	2	1	6.6	242.71		19.00	354			6.3	116.70
	3	1	3.8	198.33		19.00	320			11.5	215.50
	4	1	3.6	187.56		21.00	296			15.2	289.40
	5	1	7.4	478.67		22.00	462			20.7	408.60
	6	3	29.6	941.68		22.00	648			39.2	815.60
Bedrock	7	0		1435.27	1	22.00	800	Outcrop		54.0	1141.20

**Modello sismostratigrafico – Frana Est, parte medio-inferiore**

*Polinago (Mo) - Frana Est, parte medio-inferiore*  
 Fundamental period (s) = 0.38  
 Average shear wave velocity (m/sec) = 547.00  
 Total number of sublayers = 7

Layer Number	Soil Material Type	Number of sublayers in layer	Thickness of layer (m)	Maximum shear modulus $G_{max}$ (MPa)	Initial critical damping ratio (%)	Total unit weight ( $kN/m^3$ )	Shear wave velocity (m/sec)	Location and type of earthquake input motion	Location of water table	Depth at middle of layer (m)	Vertical effective stress (kPa)
Surface	1	1	4.4	42.95		18.00	153			2.2	39.60
	2	1	4.4	151.85		19.00	280			6.6	121.00
	3	1	3.4	189.75		19.00	313			10.5	195.10
	4	3	8.2	668.92		21.00	559			16.3	313.50
	5	3	8.2	834.47		22.00	610			24.5	489.80
	6	3	23.4	1033.93		22.00	679			40.3	837.40
Bedrock	7	0		1435.27	1	22.00	800	Outcrop		52.0	1094.80

Visto che le indagini sismiche raggiungono un substrato con velocità comprese tra 650-730 m/s, il bedrock (inteso come profondità alla quale  $V_{s \geq 800}$  m/s), viene estrapolato dai profili di  $V_s$  delle Masw, fino ad ottenere una velocità di 800 m/s, secondo un gradiente lineare individuato dall'ultimo tratto del profilo sperimentale.

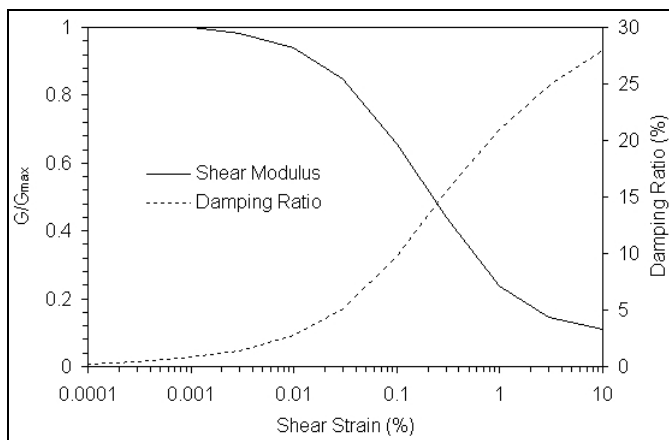
Tenendo conto che il comportamento del terreno non è lineare, ma varia al variare della deformazione indotta dal sisma, ad ogni tipologia di terreno individuata nella sismo stratigrafia sono associate curve di decadimento del modulo di taglio ( $G/G_0$ ) e dello smorzamento ( $D/D_0$ ) con la deformazione. Queste curve sono state tratte da bibliografia, facendo attenzione alla scelta in base alle caratteristiche litologiche/stratigrafiche.

Non avendo a disposizione prove di laboratorio dinamiche (colonna risonante), sono stati adottati per le proprietà meccaniche in campo dinamico (leggi di variazione  $G=G(\gamma)$  e  $D=D(\gamma)$ ), valori di letteratura.

In particolare per i terreni di copertura in prevalenza argillosi-limosi sono state adottate le curve proposte da Seed and Sun 1989 e Idriss 1990, mentre per il substrato arenaceo-pelitico, le curve per i materiali rocciosi implementate nel software Eera.

**Leggi di variazione del modulo di taglio e del rapporto di smorzamento  
con la deformazione di taglio**

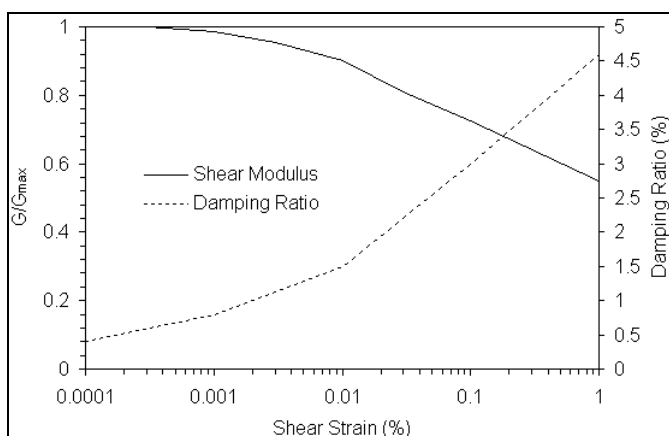
**Coltre detritica/deposito di frana**



*Modulus for clay (Seed and Sun, 1989) upper range and damping for clay (Idriss 1990)*

Strain (%)	G/G <sub>max</sub>	Strain (%)	Damping (%)
0.0001	1	0.0001	0.24
0.0003	1	0.0003	0.42
0.001	1	0.001	0.8
0.003	0.981	0.003	1.4
0.01	0.941	0.01	2.8
0.03	0.847	0.03	5.1
0.1	0.656	0.1	9.8
0.3	0.438	0.3	15.5
1	0.238	1	21
3	0.144	3.16	25
10	0.11	10	28

**Substrato arenaceo-marnoso/pelitico**



*Attenuation of rock average and damping in rock*

Strain (%)	G/G <sub>max</sub>	Strain (%)	Damping (%)
0.0001	1	0.0001	0.4
0.0003	1	0.001	0.8
0.001	0.9875	0.01	1.5
0.003	0.9525	0.1	3
0.01	0.9	1	4.6
0.03	0.81		
0.1	0.725		
1	0.55		

## 9.4 RISULTATI DELLA MODELLAZIONE NUMERICA

L'esecuzione della modellazione numerica mediante EERA ha consentito di definire per le aree individuate e per ciascuno dei segnali sismici di input applicati, i seguenti fattori di amplificazione:

- **FA<sub>PGA</sub>**: fattore di amplificazione di sito in termini di picco di accelerazione

$$FA_{PGA} = \frac{PGA_s}{ag}$$

dove  $PGA_s$  è il picco di accelerazione ottenuto sulla sommità del deposito e  $ag$  il valore del picco di accelerazione su terreno rigido di riferimento;

- **FA<sub>RSI</sub>**: fattore di amplificazione di sito in termini di intensità dello spettro di risposta in pseudo velocità, espresso come:

$$FA_{RSI} = \frac{RSI_s}{RSI_g}$$

dove  $RSI_s$  e  $RSI_g$  rappresentano l'integrale in un intervallo dello spettro di risposta in pseudo-velocità (PSV), calcolato in superficie, rispettivamente alla sommità del deposito e su terreno rigido di riferimento.

In conformità con quanto indicato anche dalle direttive regionali per il fattore di amplificazione, sono stati assunti un valore del rapporto di smorzamento  $\xi = 5\%$  e due intervalli di integrazione ritenuti di interesse per le costruzioni ordinarie, pari rispettivamente a  $0.1 \div 0.5s$  e  $0.5 \div 1s$ .

I valori dei fattori di amplificazione ottenuti per tutte le situazioni considerate sono riportati nelle tabelle a seguire.

Si riportano anche le frequenze naturali del deposito ricavate dalle analisi dei microtremori (HVSr).

I fattori di amplificazione stratigrafica così calcolati sono messi a confronto con i valori di FA delle tabelle regionali della DAL 112/2007 e con i valori di  $S_s$  definiti nel D.M. 14.01.08.

Per il calcolo di  $S_s$  in corrispondenza delle tre aree sono stati preliminarmente determinati, oltre alla categoria di sottosuolo (categoria "C" per tutti e tre i siti), i valori di accelerazione orizzontale max attesa  $ag$  e del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale  $F_0$ , in condizioni campo libero e terreno rigido e pianeggiante, per una probabilità di superamento del 10% in 50 anni. Nel caso specifico, data la vicinanza delle aree considerate, i valori ricavati per i suddetti parametri, a partire dai dati forniti dalla normativa per i nodi della maglia del reticolo di riferimento nazionale, sono pressochè coincidenti e valgono:  $ag=0.161$  e  $F_0=2.53$ .

**FRANA OVEST**

<b>Fattori di amplificazione</b>	<b>Modellazione numerica</b>				<b>D.A.L. 112/2007</b>	<b>NTC 08</b>
	<b>046</b>	<b>126</b>	<b>354</b>	<b>Media</b>		
$FA_{PGA} (PGA_S/a_g)$	1.85	2.05	2.05	1.98	2.1	1.456
$FA_{RSI} (RSI_S/RSI_g)$						
0.1 ÷ 0.5 s	2.18	2.22	2.18	2.20	2.3	-
0.5 ÷ 1.0 s	1.50	1.73	1.48	1.57	1.6	-
Frequenza naturale del deposito ( $f_0$ Hz)	5.2 - 5.6				-	-

**FRANA EST – Settore superiore**

<b>Fattori di amplificazione</b>	<b>Modellazione numerica</b>				<b>D.A.L. 112/2007</b>	<b>NTC 08</b>
	<b>046</b>	<b>126</b>	<b>354</b>	<b>Media</b>		
$FA_{PGA} (PGA_S/a_g)$	1.80	1.95	1.85	1.87	2.0	1.456
$FA_{RSI} (RSI_S/RSI_g)$						
0.1 ÷ 0.5 s	1.92	1.92	1.91	1.92	2.1	-
0.5 ÷ 1.0 s	1.48	1.54	1.42	1.48	1.6	-
Frequenza naturale del deposito ( $f_0$ Hz)	3.88				-	-

**FRANA EST – Settore medio-inferiore**

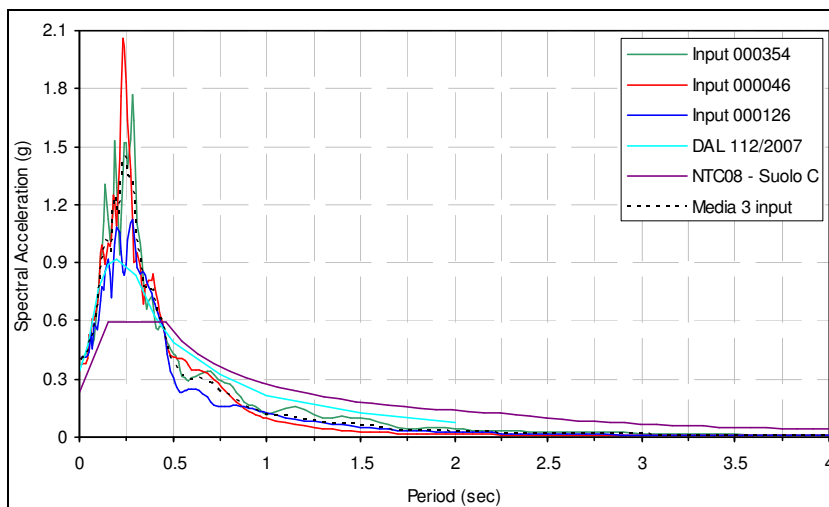
<b>Fattori di amplificazione</b>	<b>Modellazione numerica</b>				<b>D.A.L. 112/2007</b>	<b>NTC 08</b>
	<b>046</b>	<b>126</b>	<b>354</b>	<b>Media</b>		
$FA_{PGA} (PGA_S/a_g)$	1.75	1.85	2.05	1.88	2.2	1.456
$FA_{RSI} (RSI_S/RSI_g)$						
0.1 ÷ 0.5 s	2.11	2.14	2.11	2.12	2.6	-
0.5 ÷ 1.0 s	1.45	1.54	1.40	1.46	1.9	-
Frequenza naturale del deposito ( $f_0$ Hz)	5.2 – 6.8				-	-

Valori del fattore di amplificazione FA ottenuti dalla modellazione numerica con EERA confrontati con quelli ricavati dalle Tabelle aggiornate Dal RER 112/2007 e dalla normativa nazionale (NTC08).

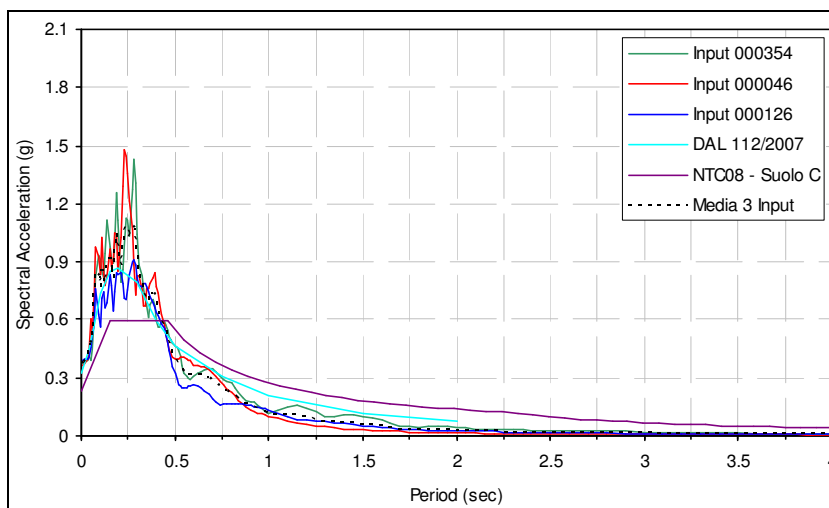
Dalle tabelle si rileva come i valori derivati dalla stima speditiva (DAL 112/2007 RER) siano sempre superiori (e quindi più cautelativi) rispetto a quelli ottenuti dalla modellazione numerica, ma in ogni caso con un discreto accordo, mentre i valori determinati seguendo le NTC08 siano sistematicamente inferiori e poco confrontabili con gli altri.

**SPETTRI DI RISPOSTA ELASTICI OTTENUTI DALLA MODELLAZIONE NUMERICA**

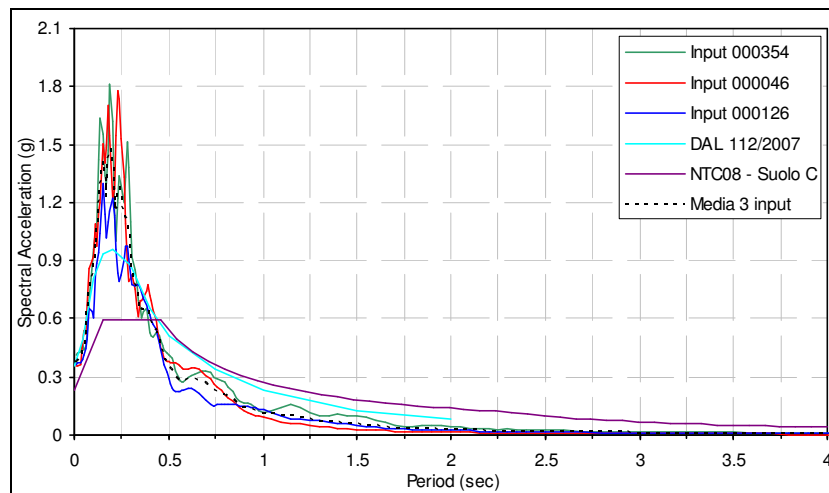
**FRANA OVEST**



**FRANA EST  
Settore superiore**



**FRANA EST  
Settore medio-inferiore**



Spettri di risposta elastici ottenuti dalla modellazione numerica ( $T_r=475$  anni, smorzamento 5%) per i tre siti rappresentativi e confronto con quelli proposti dalla Dal RER 112/2007 e NTC08.

Nelle figure sono rappresentati, per ciascuno dei tre siti esaminati, gli spettri di risposta elastici (al 5% dello smorzamento critico) ottenuti dalla modellazione numerica alla sommità del deposito con i 3 segnali di input, lo spettro regionale (DAL 112/2007) e lo spettro di risposta delle NTC08.

Dal confronto emerge che:

- per tutti settori dei corpi di frana studiati, lo spettro proposto dalle NTC08 è poco cautelativo per periodi inferiori a 0.4s e invece cautelativo per periodi più alti ( $T > 0.4s$ ). I valori dell'amplificazione massima calcolata con la modellazione numerica Eera sono fino a 2.5-3.4 volte quello proposto dalla normativa. Per periodi  $T > 0.4s$  i valori di normativa sono invece più alti mediamente di 1.5 volte rispetto agli spettri di Eera.
- per il settore superiore del corpo di frana est, caratterizzato da spessore più elevato della coltre detritica e da minori valori del rapporto di impedenza al bedrock, la differenza tra gli spettri calcolati e proposti da NTC08 è meno marcata nell'intervallo di periodi (0.15-0.4s) e con valori del rapporto delle ampiezze spettrali più bassi.



## **10 VERIFICHE DI STABILITÀ**

Le verifiche di stabilità del versante di Polinago sono state condotte in corrispondenza dei due corpi di frana che interferiscono direttamente con l'abitato; vengono distinte, come più volte descritto, in frana ovest (Sezione 1) e frana est (Sezione 2).

Le due sezioni di verifica sono state scelte in modo da:

- coinvolgere le diverse zone dell'area in studio ed in particolare le zone maggiormente soggette a movimenti franosi attivi;
- seguire le direzioni di massima pendenza;
- utilizzare al meglio le informazioni esistenti.

Le verifiche condotte hanno inteso valutare:

- *la stabilità in condizioni statiche (pre sismiche)*
- *la stabilità in condizione sismiche*
- *la stabilità in condizione post-sismiche*

Sono state eseguite con metodi all'equilibrio limite, sia con lo schema del pendio indefinito e filtrazione parallela al piano campagna (solo in condizioni pre sismiche), sia con i metodi delle strisce (Bishop per superfici circolari e Janbu per superfici di forma qualsiasi).

È stato utilizzato il programma di calcolo Slope della Geostru, basato su diversi metodi deterministici dell'equilibrio limite e che consente di effettuare analisi di pendii in zona sismica. Il software, caratterizzato da una notevole flessibilità e adattabilità a casi reali anche complessi, consente di analizzare singole superfici di rottura imposte dall'utente o di ricercare in maniera automatica la superficie critica mediante una tecnica di generazione casuale di superfici circolari, irregolari o vincolate al passaggio in zone prefissate all'interno del pendio.

### **10.1 MODELLAZIONE GEOTECNICA – SCELTA DEI PARAMETRI GEOTECNICI**

Per quanto riguarda la scelta dei parametri di resistenza al taglio di progetto, si è ritenuto ragionevole assumere:

- per il detrito di frana attiva (Fig. 3) i parametri medi di resistenza al taglio residua;
- per il detrito di frana quiescente i parametri di resistenza al taglio intermedi tra quelli di resistenza di picco e residua;
- per il primo substrato alterato e detensionato i parametri di resistenza al taglio di picco.

I parametri utilizzati nelle verifiche sono riportati nella tabella seguente:

**PARAMETRI GEOTECNICI CARATTERISTICI UTILIZZATI NELLE VERIFICHE DI STABILITÀ**

Parametri	$\gamma/\gamma_s$	$\phi_p$	$C'_p$	$\phi_r$	$C'_r$
	(t/mc)	(°)	(kPa)	(°)	(kPa)
Frana attiva	2.0	-	-	13	2
Frana quiescente	2.0	22	5	-	-
Primo substrato alterato detensionato	2.1/2.3	31	20	-	-

Legenda:  $\gamma$  peso di volume;  $\gamma_s$  peso di volume saturo;  $\phi_p$  angolo d'attrito di picco;  $\phi_r$  angolo d'attrito residuo;  $C'_p$  coesione efficace di picco;  $C'_r$  coesione efficace residua

Rispetto ai valori ricavati dalle prove di laboratorio si è ritenuto congruo apportare alcune modifiche: in particolare per le frane quiescenti è stato diminuito l'angolo di picco ed è stato aumentato invece per le frane attive l'angolo residuo che nelle prove di taglio anulare risultava pesantemente penalizzato.

Dato che le litologie coinvolte sono prevalentemente argillose e data la variabilità dei loro parametri geotecnici, è stato scelto un valore dell'angolo residuo di 13°, scaturito da verifiche di back analysis e confrontato con valori bibliografici di letteratura in contesti geologici confrontabili.

Per quanto riguarda l'idrologia sotterranea, i dati ricavati nel corso delle perforazioni dei sondaggi (vedi stratigrafie sondaggi All. 3) e di alcuni piezometri, seppur non recentissimi, opportunamente interpolati e estrapolati, hanno consentito di verificare come, lungo il pendio, non sia presente un livello di falda continuo e omogeneo, bensì livelli di filtrazione preferenziali a diverse profondità; pertanto sembra troppo penalizzante inserire nelle verifiche livelli di falda continui a breve profondità.

Della presenza della falda se ne è tenuto conto quindi ipotizzando che i livelli di filtrazione coincidano sostanzialmente con potenziali o esistenti superfici di scorrimento in corrispondenza delle quali i parametri geotecnici utilizzati ben rappresentano lo stato resistivo di ammolimento o residuo.

Inoltre per i depositi di frana si è assunto che il terreno fosse saturo per capillarità e/o imbibizione anche sopra il livello di falda. Per il peso di volume saturo del terreno si è assunto per i vari strati, un valore medio di  $\gamma=20 \text{ kN/m}^3$ .

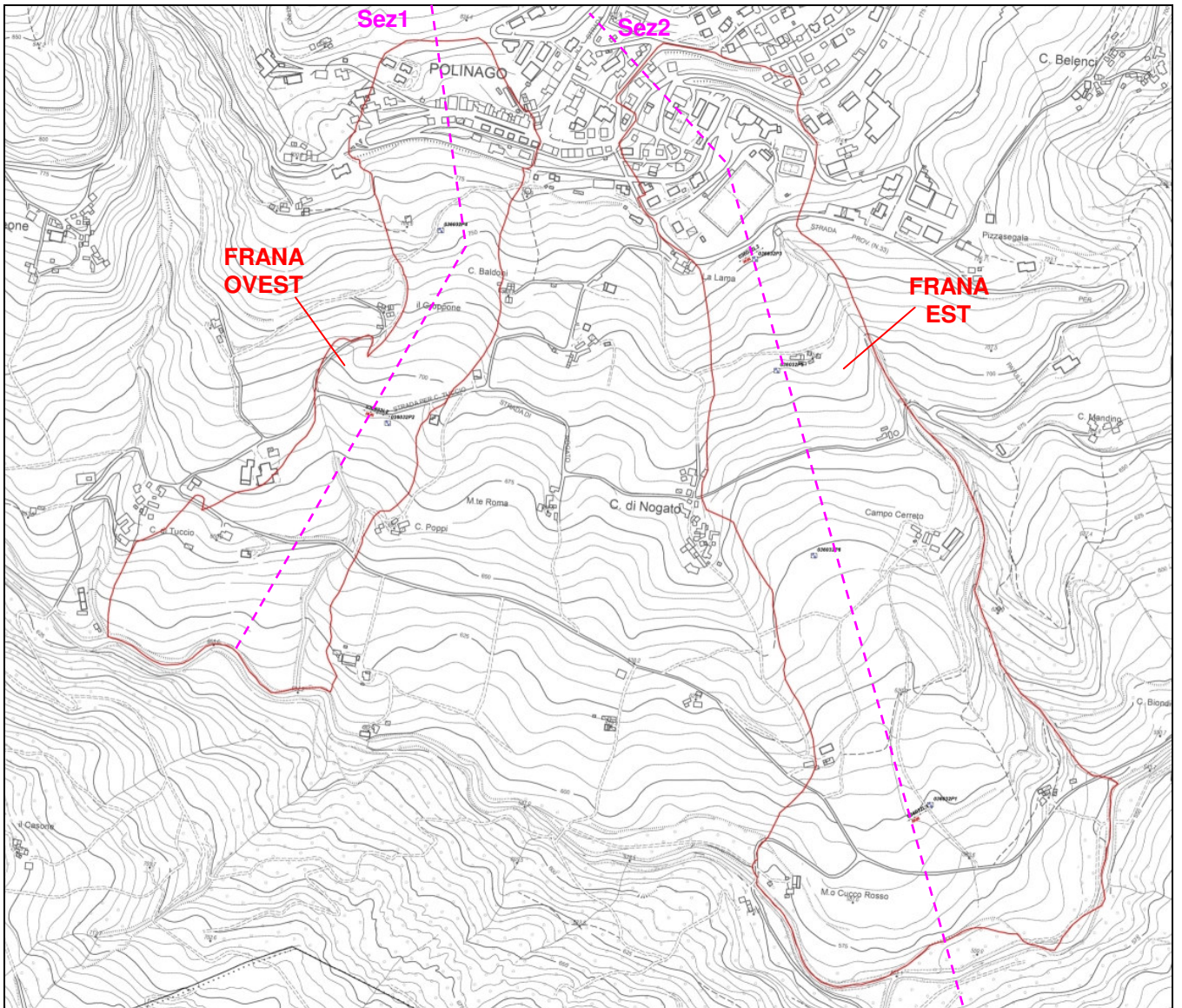


Figura 18 – Traccia delle sezioni di verifica di stabilità.

## 10.2 VERIFICHE DI STABILITÀ IN CONDIZIONI STATICHE (PRE-SISMICHE) - SCHEMA DEL PENDIO INDEFINITO

Le sezioni rappresentate mostrano come nel suo complesso il versante di Polinago sia a pendenza quasi costante per tratti di lunghezza molto superiore allo spessore del detrito di frana. In presenza di tali condizioni, le verifiche di stabilità possono essere ragionevolmente condotte facendo riferimento allo schema del pendio indefinito con filtrazione parallela al piano di campagna.

ACCLIVITÀ DEI CORPI FRANOSI

Corpo franoso/Acclività (°)	Media (°)	Parte superiore (°)	Parte Media/inf. (°)	Max (°)
FRANA OVEST	11.7°	14.5°	11.5°	16°
FRANA EST	8.7°	7.3°	9.1°	14°

Allo scopo di verificare la correttezza della stima dei parametri di resistenza al taglio del detrito di frana attiva ( $c'=2$  kPa e  $\phi=13^\circ$ ) sono stati inizialmente considerati i tratti di pendio "indefinito" corrispondenti a tali zone.

I tratti cartografati come attivi sono ubicati nel settore superiore e in una limitata parte del settore mediano della frana ovest e nel tratto medio-inferiore della frana est.

Le analisi svolte hanno fornito valori del fattore di sicurezza  $F_s$  spesso prossimi o inferiori a 1, confermando la correttezza della stima dei parametri di resistenza al taglio del detrito di frana attiva.

Lo schema del pendio indefinito è stato utilizzato

anche per verificare le condizioni di stabilità dei tratti di pendio corrispondenti al detrito di frana quiescente, assumendo per i parametri di resistenza al taglio valori intermedi tra quelli di picco e quelli residui ( $c'=5$  kPa e  $\phi=22^\circ$ ).

Inoltre è stato ipotizzato un livello di falda variabile da assente fino a piano campagna.

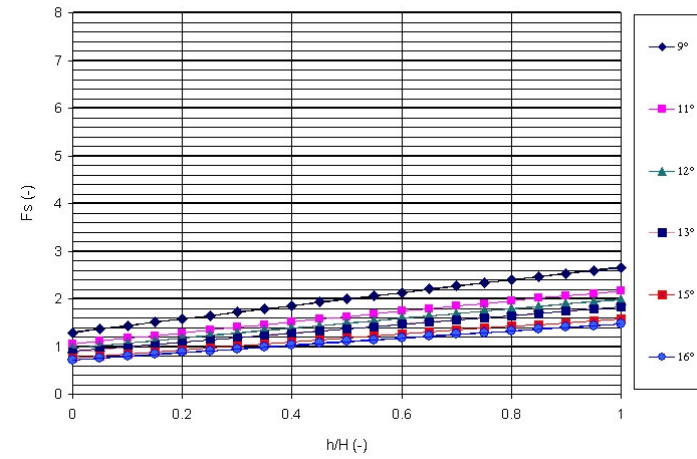
FORMULA ADOTTATA PER IL CALCOLO DEI COEFFICIENTI DI SICUREZZA	
$F_s = \frac{c'}{(h_w \times \gamma_{sat} + \gamma \times h) \times \sin \alpha \times \cos \alpha} + \frac{(h_w \times \gamma' + \gamma \times h) \times \tan \phi'}{(h_w \times \gamma_{sat} + \gamma \times h) \times \tan \alpha}$	
SIMBOLOGIA	
$W_n$	Umidità naturale del terreno
$\gamma$	Peso dell'unità di volume
$\gamma_s$	Peso specifico dei grani
$\gamma_w$	Peso specifico dell'acqua
$\gamma_{sat}$	Peso dell'unità di volume saturo
$\gamma'$	Peso dell'unità di volume immerso
$c'$	Coesione efficace
$\phi'$	Angolo d'attrito interno efficace
$\alpha$	Angolo d'inclinazione del pendio
$H$	Spessore dello strato dei terreni della coltre superficiale eluvio-colluviale
$h$	Profondità del pelo libero della falda dal piano campagna
$h_w$	Altezza della falda = H-h

**Corpi di frana quiescenti**

<b>VERIFICA DI STABILITA' GLOBALE DI PENDIO INDEFINITO</b>									
<b>DATI UTILIZZATI PER IL CALCOLO DEI COEFFICIENTI DI SICUREZZA</b>									
Wn	$\gamma$	$\gamma_s$	$c'$	$\phi'$	$\alpha$	H	$\gamma_w$	DIVISIONE DI "H" IN TRATTI	
(%)	(ton/m <sup>3</sup> )	(ton/m <sup>3</sup> )	(ton/m <sup>2</sup> )	(°)	(°)	(m)	(ton/m <sup>3</sup> )		
18.00	2.000	2.000	0.5	22	9	15.00	1	20	
					11				
					12				
					13				
					15				
					16				

<b>TABELLA DEI VALORI CALCOLATI DEI COEFFICIENTI DI SICUREZZA "F<sub>s</sub>" AL VARIARE DEL RAPPORTO "h/H"</b>											
$\alpha = 9^\circ$		$\alpha = 11^\circ$		$\alpha = 12^\circ$		$\alpha = 13^\circ$		$\alpha = 15^\circ$		$\alpha = 16^\circ$	
h/H (-)	F <sub>s</sub> (-)	h/H (-)	F <sub>s</sub> (-)	h/H (-)	F <sub>s</sub> (-)	h/H (-)	F <sub>s</sub> (-)	h/H (-)	F <sub>s</sub> (-)	h/H (-)	F <sub>s</sub> (-)
0.00	1.29	0.00	1.05	0.00	0.96	0.00	0.89	0.00	0.76	0.00	0.71
0.05	1.36	0.05	1.11	0.05	1.02	0.05	0.94	0.05	0.81	0.05	0.76
0.10	1.43	0.10	1.17	0.10	1.07	0.10	0.99	0.10	0.85	0.10	0.80
0.15	1.51	0.15	1.23	0.15	1.12	0.15	1.04	0.15	0.89	0.15	0.84
0.20	1.58	0.20	1.29	0.20	1.18	0.20	1.09	0.20	0.94	0.20	0.88
0.25	1.65	0.25	1.35	0.25	1.23	0.25	1.13	0.25	0.98	0.25	0.92
0.30	1.72	0.30	1.40	0.30	1.28	0.30	1.18	0.30	1.02	0.30	0.95
0.35	1.79	0.35	1.46	0.35	1.34	0.35	1.23	0.35	1.06	0.35	0.99
0.40	1.86	0.40	1.52	0.40	1.39	0.40	1.28	0.40	1.10	0.40	1.03
0.45	1.93	0.45	1.57	0.45	1.44	0.45	1.33	0.45	1.14	0.45	1.07
0.50	2.00	0.50	1.63	0.50	1.49	0.50	1.37	0.50	1.19	0.50	1.11
0.55	2.07	0.55	1.69	0.55	1.54	0.55	1.42	0.55	1.23	0.55	1.15
0.60	2.14	0.60	1.74	0.60	1.59	0.60	1.47	0.60	1.27	0.60	1.18
0.65	2.20	0.65	1.80	0.65	1.64	0.65	1.51	0.65	1.31	0.65	1.22
0.70	2.27	0.70	1.85	0.70	1.69	0.70	1.56	0.70	1.34	0.70	1.26
0.75	2.34	0.75	1.90	0.75	1.74	0.75	1.60	0.75	1.38	0.75	1.29
0.80	2.40	0.80	1.96	0.80	1.79	0.80	1.65	0.80	1.42	0.80	1.33
0.85	2.47	0.85	2.01	0.85	1.84	0.85	1.69	0.85	1.46	0.85	1.37
0.90	2.53	0.90	2.06	0.90	1.89	0.90	1.74	0.90	1.50	0.90	1.40
0.95	2.60	0.95	2.12	0.95	1.94	0.95	1.78	0.95	1.54	0.95	1.44
1.00	2.66	1.00	2.17	1.00	1.98	1.00	1.83	1.00	1.57	1.00	1.47

**GRAFICI DEI COEFFICIENTI DI SICUREZZA AL VARIARE DELL'ANGOLO D'INCLINAZIONE "α" DEL PENDIO**



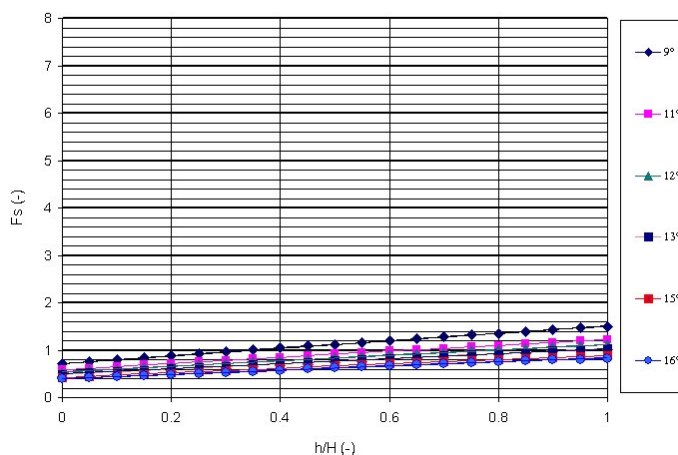
I risultati indicano che nelle zone di detrito di frana quiescente, il fattore di sicurezza  $F_s$  è sempre sufficientemente elevato ( $>1.5/2$ ). Solamente con livelli di falda prossimi al piano campagna ci si avvicina all'equilibrio limite ( $F \approx 1$ ) o a condizioni di instabilità ( $F < 1$ ) nei tratti a maggiore acclività ( $12^\circ \div 16^\circ$ ).

### Corpi di frana attivi

VERIFICA DI STABILITA' GLOBALE DI PENDIO INDEFINITO									
DATI UTILIZZATI PER IL CALCOLO DEI COEFFICIENTI DI SICUREZZA									
Wn	$\gamma$	$\gamma_s$	c'	$\phi'$	$\alpha$	H	$\gamma_w$	DIVISIONE DI "H" IN TRATTI	
[%]	(ton/m <sup>3</sup> )	(ton/m <sup>3</sup> )	(ton/m <sup>2</sup> )	(°)	(°)	(m)	(ton/m <sup>3</sup> )	20	
18.00	2.000	2.000	0.2	13	9	15.00	1		
					11				
					12				
					13				
					15				
					16				

TABELLA DEI VALORI CALCOLATI DEI COEFFICIENTI DI SICUREZZA "Fs" AL VARIARE DEL RAPPORTO "h/H"											
$\alpha = 9^\circ$		$\alpha = 11^\circ$		$\alpha = 12^\circ$		$\alpha = 13^\circ$		$\alpha = 15^\circ$		$\alpha = 16^\circ$	
h/H (-)	Fs (-)	h/H (-)	Fs (-)	h/H (-)	Fs (-)	h/H (-)	Fs (-)	h/H (-)	Fs (-)	h/H (-)	Fs (-)
0.00	0.72	0.00	0.58	0.00	0.53	0.00	0.49	0.00	0.42	0.00	0.40
0.05	0.76	0.05	0.62	0.05	0.57	0.05	0.52	0.05	0.45	0.05	0.42
0.10	0.80	0.10	0.65	0.10	0.60	0.10	0.55	0.10	0.47	0.10	0.44
0.15	0.84	0.15	0.69	0.15	0.63	0.15	0.58	0.15	0.50	0.15	0.47
0.20	0.88	0.20	0.72	0.20	0.66	0.20	0.61	0.20	0.52	0.20	0.49
0.25	0.92	0.25	0.75	0.25	0.69	0.25	0.63	0.25	0.55	0.25	0.51
0.30	0.96	0.30	0.79	0.30	0.72	0.30	0.66	0.30	0.57	0.30	0.53
0.35	1.00	0.35	0.82	0.35	0.75	0.35	0.69	0.35	0.60	0.35	0.56
0.40	1.04	0.40	0.85	0.40	0.78	0.40	0.72	0.40	0.62	0.40	0.58
0.45	1.08	0.45	0.88	0.45	0.81	0.45	0.74	0.45	0.64	0.45	0.60
0.50	1.12	0.50	0.92	0.50	0.84	0.50	0.77	0.50	0.67	0.50	0.62
0.55	1.16	0.55	0.95	0.55	0.87	0.55	0.80	0.55	0.69	0.55	0.64
0.60	1.20	0.60	0.98	0.60	0.90	0.60	0.83	0.60	0.71	0.60	0.67
0.65	1.24	0.65	1.01	0.65	0.92	0.65	0.85	0.65	0.73	0.65	0.69
0.70	1.28	0.70	1.04	0.70	0.95	0.70	0.88	0.70	0.76	0.70	0.71
0.75	1.32	0.75	1.07	0.75	0.98	0.75	0.90	0.75	0.78	0.75	0.73
0.80	1.35	0.80	1.10	0.80	1.01	0.80	0.93	0.80	0.80	0.80	0.75
0.85	1.39	0.85	1.13	0.85	1.04	0.85	0.95	0.85	0.82	0.85	0.77
0.90	1.43	0.90	1.16	0.90	1.06	0.90	0.98	0.90	0.85	0.90	0.79
0.95	1.46	0.95	1.19	0.95	1.09	0.95	1.01	0.95	0.87	0.95	0.81
1.00	1.50	1.00	1.22	1.00	1.12	1.00	1.03	1.00	0.89	1.00	0.83

GRAFICI DEI COEFFICIENTI DI SICUREZZA AL VARIARE DELL'ANGOLO D'INCLINAZIONE "α" DEL PENDIO



I risultati indicano che nelle zone di detrito di frana attiva, il fattore di sicurezza  $F_s$  è  $>1.1-1.2$  solo nei tratti meno pendenti ( $9^\circ-12^\circ$ ) e in assenza di falda.

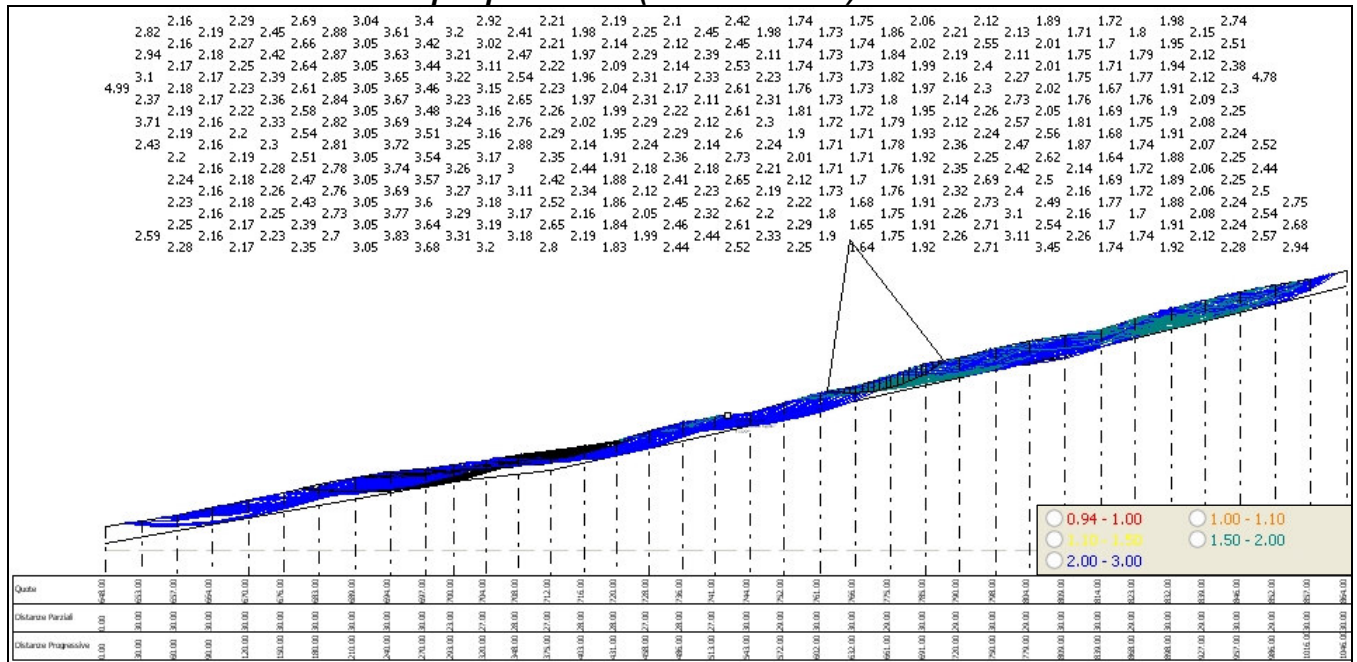
Negli altri casi si hanno sempre condizioni di equilibrio limite ( $F \approx 1$ ) o condizioni di instabilità ( $F < 1$ ).

### 10.3 VERIFICHE DI STABILITÀ IN CONDIZIONI STATICHE (PRE-SISMICHE) CON METODI DELLE STRISCE

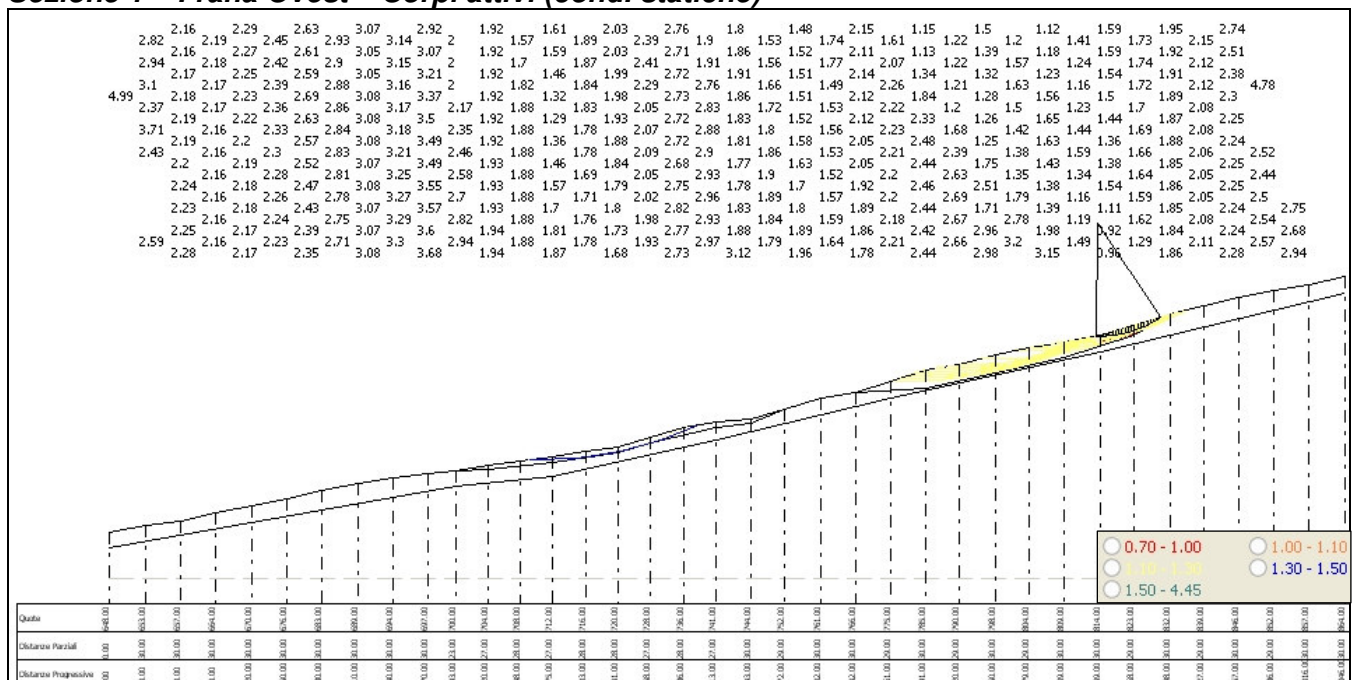
Le verifiche di stabilità del pendio nei tratti più critici delle sezioni indagate, sono state eseguite con metodi delle strisce all'equilibrio limite utilizzando il programma Slope della Geostru.

In particolare per superfici potenziali di scorrimento imposte e di forma non circolare è stato utilizzato il metodo di Janbu mentre per le ricerche del valore minimo del  $F_s$  è stato utilizzato il metodo di Bishop semplificato che ipotizza superfici di forma circolare.

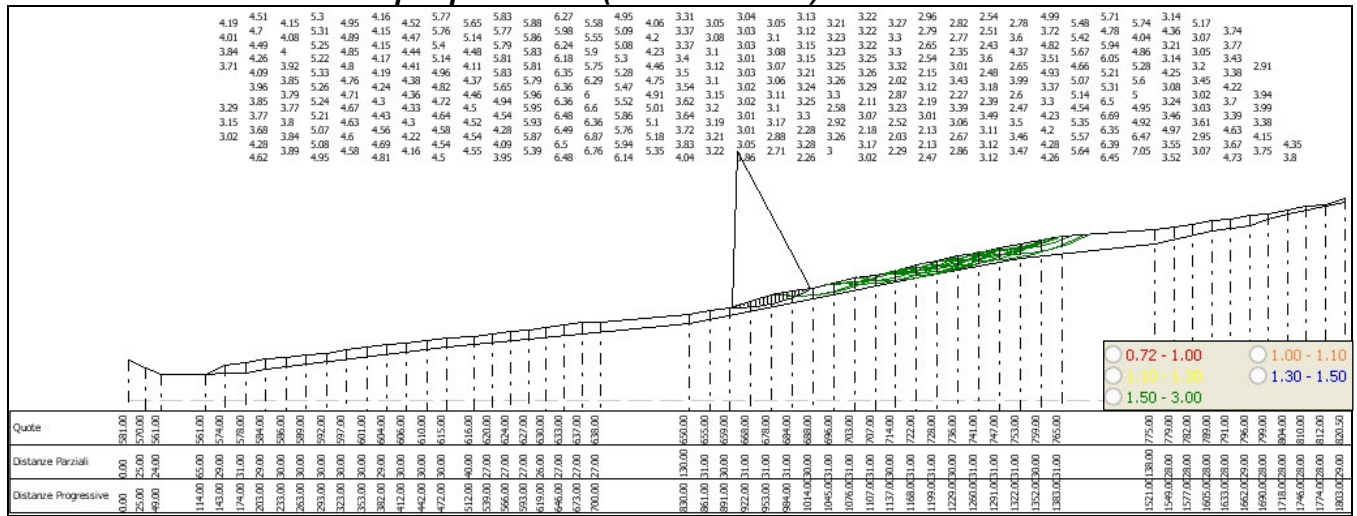
#### Sezione 1 – Frana Ovest – Corpo quiescente (cond. statiche)



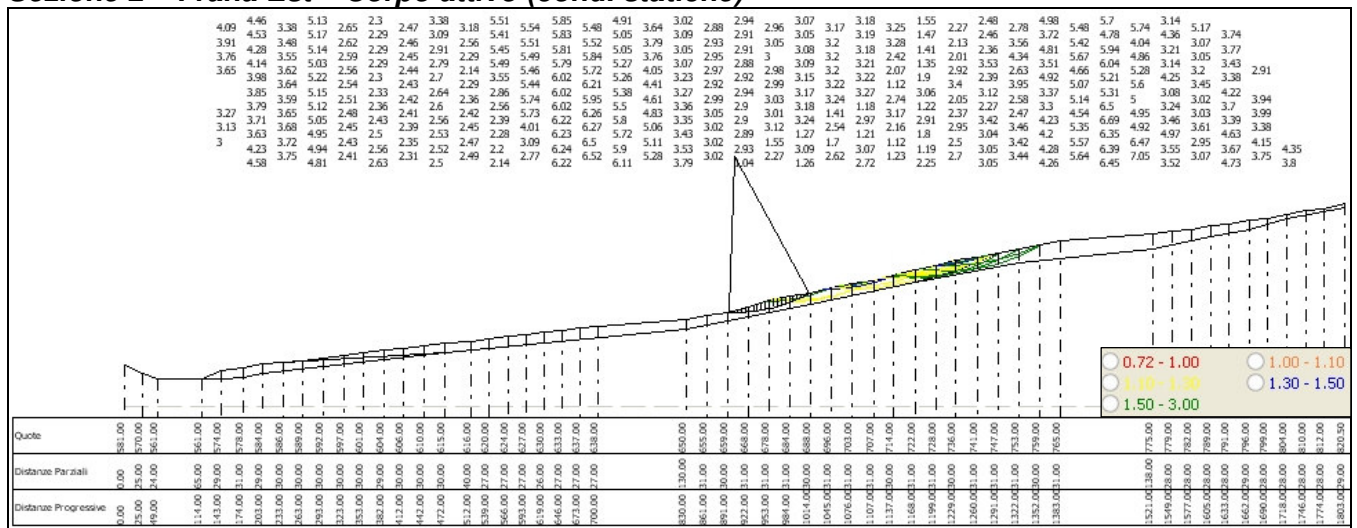
#### Sezione 1 – Frana Ovest – Corpi attivi (cond. statiche)



**Sezione 2 – Frana Est – Corpo quiescente (cond. statiche)**



**Sezione 2 – Frana Est – Corpo attivo (cond. statiche)**



Sezione di verifica	Corpo di frana	Sup qualsiasi (Fs)	Sup. Circolare (Fs range)	Sup. Circolare (Fs min)
1	Ovest quiescente	2.53	1.63 ÷ >4	1.63
1	Ovest attiva sup.	1.26	0.92 ÷ 1.6	0.92
1	Ovest attiva inf.	1.73	1.29 ÷ 1.9	1.29
2	Est quiescente	3.95	1.86 ÷ >4	1.86
2	Est attiva	1.83	1.04 ÷ 2.5	1.04

Fattori di sicurezza (Fs) in condizioni statiche



#### 10.4 VERIFICHE DI STABILITÀ IN CONDIZIONI SISMICHE E POST-SISMICHE

Per tutte le superfici di scorrimento potenziali caratterizzate da un coefficiente di sicurezza sufficientemente elevato in condizioni statiche ( $F_s > 1.2$ ) sono state eseguite verifiche di stabilità in condizioni sismiche con metodo pseudo statico.

Per la scelta del coefficiente sismico orizzontale  $k_h$  si è ritenuto opportuno fare riferimento alle indicazioni delle NTC 08, dove  $k_h$  è definito tenendo conto dell'accelerazione massima attesa al sito ( $a_{max}$ ), inclusiva degli effetti di amplificazione stratigrafica e topografica e della categoria di sottosuolo:

$$k_h = \beta_s \times a_{max}/g$$

dove  $\beta_s$  è un coeff. riduttivo funzione dell'accelerazione massima  $a_g$  su terreno rigido di riferimento e della categoria di sottosuolo.

Nel caso in esame essendo  $0.2 < a_g = 0.161 \leq 0.4$  e trattandosi di sottosuolo non appartenente alla categoria A, si ha  $\beta_s = 0.24$ .

**Tabella 7.11.I – Coefficienti di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito.**

	Categoria di sottosuolo	
	A	B, C, D, E
	$\beta_s$	$\beta_s$
$0.2 < a_g(g) \leq 0.4$	0.30	0.28
$0.1 < a_g(g) \leq 0.2$	0.27	0.24
$a_g(g) \leq 0.1$	0.20	0.20

I valori di  $a_{max} = a_g \times S_s \times S_T$  sono stati determinati sulla base dei risultati delle analisi di risposta sismica locale.

Per tutte le sezioni, come già ricordato nel capitolo 9, si assume  $S_T = 1$ , mentre per  $S_s$  si assumono i seguenti valori (ricavati dalla modellazione numerica):

Frana ovest:  $S_s = 1.98$

Frana est, parte superiore:  $S_s = 1.87$

Frana est, parte medio-inf.:  $S_s = 1.88$

Per quanto riguarda il coefficiente sismico verticale:

$$k_v = \pm 0.5 k_h$$

I coefficienti sismici orizzontale e verticale utilizzati nelle analisi sismiche pseudostatiche valgono:

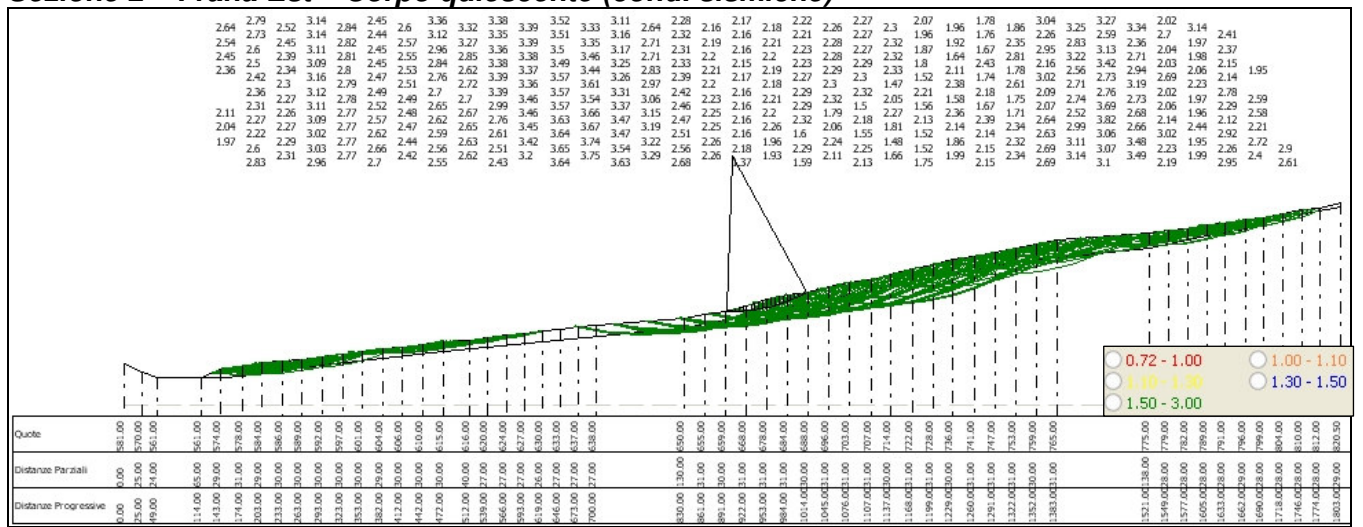
Frana ovest:  $k_h = 0.0765$  e  $k_v = \pm 0.0382$

Frana est:  $k_h = 0.0722$  e  $k_v = \pm 0.0361$

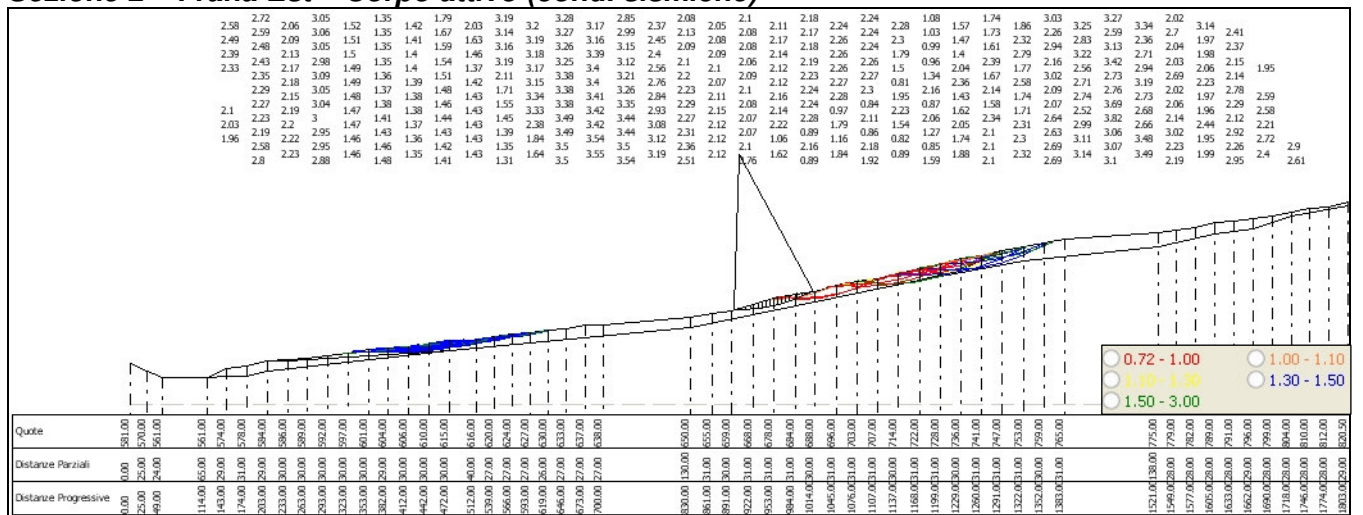
I risultati ottenuti dalle analisi sismiche sono sintetizzati nelle pagine seguenti.



**Sezione 2 – Frana Est – Corpo quiescente (cond. sismiche)**



**Sezione 2 – Frana Est – Corpo attivo (cond. sismiche)**



Sezione di verifica	Corpo di frana	Sup qualsiasi (Fs)	Sup. Circolare (Fs range)	Sup. Circolare (Fs min)
1	Ovest quiescente	1.76	1.22 ÷ 2.6	1.22
1	Ovest attiva sup.	0.91	0.73 ÷ 1.21	0.73
1	Ovest attiva inf.	1.18	0.89 ÷ 1.23	0.89
2	Est quiescente	2.56	1.37 ÷ 3.3	1.37
2	Est attiva	1.21	0.76 ÷ 1.5	0.76

Fattori di sicurezza (Fs) in condizioni sismiche

### 10.5 STIMA DEGLI SPOSTAMENTI PERMANENTI ATTESI

Le analisi di stabilità in condizioni sismiche sono state completate, in corrispondenza delle sezioni ritenute più significative, con la stima degli spostamenti permanenti attesi, mediante l'applicazione di metodi dinamici semplificati.

A tal fine sono stati ritenuti significativi i tratti delle sezioni localizzati nei settori interessati da movimenti di frana attiva.

Gli spostamenti sono stati stimati per quelle superfici che dall'analisi pseudo statica evidenziano un coefficiente di sicurezza  $F_s < 1$ .

Vengono quindi calcolati i valori del coefficiente sismico critico orizzontale (coeff. sismico pseudo statico che corrisponde alla condizione  $F_s = 1$ ).

Considerate le condizioni geometriche e stratigrafiche dell'area e le caratteristiche geotecniche dei litotipi presenti, lo spostamento cosismico del versante lungo le due superfici analizzate,  $S_\alpha$  può essere approssimato a quello del blocco rigido di Newmark (1965) su un piano inclinato vibrante, di pendenza  $\alpha$  (pari alla pendenza media della superficie di scorrimento) e angolo di attrito  $\phi$  (pari all'angolo di resistenza al taglio del terreno lungo la superficie di scorrimento).

In tal caso, lo spostamento può essere espresso mediante la relazione:

$$S_\alpha = S_0 \times A$$

$S_0$ : è lo spostamento del blocco sul piano orizzontale

$A = \cos(\phi - \alpha) / \cos \phi$ , un fattore di forma

Poiché per entrambe le sezioni esaminate il valore di  $\alpha$  è modesto, il coefficiente  $A$  risulta prossimo all'unità e quindi lo spostamento effettivo è approssimabile con lo spostamento  $S_0$  determinato mediante doppia integrazione numerica dell'equazione del moto relativo del blocco di Newmark sul piano orizzontale.

Lo spostamento ammissibile dipende da:

- tipo di pendio (naturale o artificiale) e caratteristiche del terreno
- interazione con manufatti esistenti
- livello di protezione assegnato e conseguenze di un'eventuale frana

Le linee guida per l'analisi e la mitigazione del rischio di frana in California (ASCE, 2002) indicano uno spostamento ammissibile di:

- 5 cm per superfici di scorrimento che coinvolgono manufatti rigidi
- 15 cm per cinematismi di collasso che si sviluppano in terreni con curve sforzi-deformazioni di tipo incrudente e non interagiscono con manufatti esistenti

Nel caso di terreni con curve sforzi-deformazioni di tipo rammollente 15 cm è ragionevole se  $K_c$  è calcolato utilizzando le caratteristiche di resistenza di post-picco o residua, mentre è opportuno assumere  $S_{amm} = 5$  cm se  $K_c$  è calcolato con i parametri di picco della resistenza al taglio.

Ai valori ottenuti è possibile associare, secondo alcune indicazioni di letteratura (Legg & Slosson, 1984; Idriss, 1985), un livello "modesto" del danno atteso.

<b>Relazione fra spostamenti osservati e danno strutturale (Legg &amp; Slosson, 1984)</b>	
<b>livello di danno</b>	<b>spostamento (cm)</b>
irrelevante	< 0.5
modesto	0.5÷5
forte	5÷50
severo	50÷500
catastrofico	> 500

<b>Spostamenti ammissibili di pendii naturali stabiliti dallo State of Alaska Geotechnical Evaluation Criteria Committee (Idriss, 1985)</b>	
<b>livello di danno</b>	<b>spostamento (cm)</b>
irrelevante	< 3
modesto	15
forte	30
severo	90
catastrofico	300

Spostamenti ammissibili calcolati con metodi dinamici.

I valori di  $S_0$  (cm), ottenuti per i 3 segnali accelerometrici già selezionati per le analisi di risposta sismica locale sono riportati nella tabella.

Sezione di verifica	Corpo di frana	Coeff. sismico critico orizzontale ( $K_c$ )	Accelerogramma		
			046	126	354
			$S_0$ (cm)	$S_0$ (cm)	$S_0$ (cm)
1	Ovest attiva sup.	0.021	2.70	0.57	4.31
1	Ovest attiva inf.	0.049	0.55	0.11	0.75
1	Ovest quiescente - sup.	0.067	0.23	0.05	0.31
2	Est attiva – parte sup.	0.047	0.53	0.10	0.72
2	Est attiva – parte inf.	0.068	0.22	0.04	0.29
2	Est quiescente – parte sup.	0.07	0.20	0.04	0.27

Spostamento del blocco di Newmark (in cm)

## 10.6 ANALISI DELLE CONDIZIONI POST-SISMICHE

Per l'analisi delle condizioni post-sismiche è stata valutata la possibilità che durante l'azione sismica possano manifestarsi all'interno del pendio fenomeni di incremento delle pressioni interstiziali e/o di degradazione dei parametri di resistenza per effetto della ciclicità del carico.

Affinchè tali fenomeni siano significativi, è necessario che l'ampiezza della deformazione di taglio ciclica equivalente indotta dal terremoto,  $\gamma_c$  sia superiore alla deformazione di soglia volumetrica  $\gamma_v$ , il cui valore può essere determinato, ad esempio, a partire dai risultati di prove di colonna risonante.

### Resistenza a taglio in condizioni di carico sismico

In assenza di determinazioni sperimentali appropriate, ottenute da prove di cicliche di laboratorio, la riduzione di resistenza al taglio in condizioni di carico sismico può essere stimata avvalendosi di relazioni empiriche di letteratura.

### Analisi in condizioni di tensioni efficaci

L'incremento di pressione interstiziale deve essere valutato nel caso di terreni saturi se la deformazione di taglio indotta dall'azione sismica è superiore al valore della deformazione di soglia volumetrica,  $\gamma_v$ .

La deformazione di soglia volumetrica  $\gamma_v$ , determinabile con prove cicliche di laboratorio, può essere valutata in prima approssimazione mediante la relazione:

$$\gamma_v = Ax(OCR-1) + B$$

dove

OCR: grado di sovraconsolidazione

A e B: coefficienti sperimentali che, in assenza di una determinazione diretta, possono essere ricavati in funzione dell'indice di plasticità:

Ip (%)	A	B
20	$0.4 \cdot 10^{-3}$	$0.6 \cdot 10^{-3}$
40	$1.2 \cdot 10^{-3}$	$1.1 \cdot 10^{-3}$
55	$2.5 \cdot 10^{-3}$	$1.2 \cdot 10^{-3}$

Valori suggeriti per i coefficienti A e B

La massima deformazione di taglio indotta dal sisma  $\gamma_{c,max}$  relativo alla profondità considerata può essere determinato mediante:

$$\gamma_{c,max} = \frac{\tau_{max}}{G}$$

dove:

$$\tau_{max} = \frac{a_{max}}{g} \sigma_v r_d$$

$a_{max}$ , espressa in g, l'accelerazione di picco al piano campagna sulla verticale del punto considerato;  
g è l'accelerazione di gravità;

$\sigma_v$  è la tensione verticale totale;

$r_d$  è un coefficiente riduttivo che tiene conto dell'azione sismica alla profondità di interesse che porta in conto la deformabilità del sottosuolo.

Il coefficiente  $r_d$  può essere valutato, in prima approssimazione, con la seguente espressione:

$$r_d = 1 - 0.015z$$

dove  $z$  è la profondità nel punto considerato.

Il modulo di taglio  $G$  da introdurre nelle equazioni precedenti può essere valutato, per via iterativa, facendo riferimento a diagrammi del tipo di quelli mostrati nella seguente figura, nei quali si traccia l'andamento del modulo di taglio con la deformazione di taglio (per diversi valori di indice di plasticità del terreno  $I_p$ ).

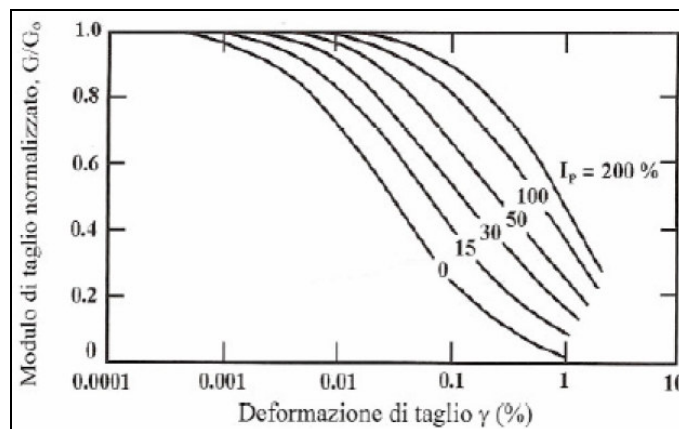


Diagramma utilizzato per il modulo di taglio  $G$

Come si osserva ad essere diagrammato non è direttamente  $G$  bensì il rapporto  $G/G_0$  dove  $G_0$  è il modulo di taglio in condizioni dinamiche per basse deformazioni. Il modulo  $G_0$  può essere ricavato correlandolo con la velocità delle onde  $S$  dello strato:

$$G_0 = \rho V_s^2$$

dove  $\rho$  è la densità di massa del terreno data dal peso di volume diviso l'accelerazione di gravità in  $m/s^2$  ( $9.81 m/s^2$ ).

Per le aree d'indagine, in via preliminare, si è eseguita, tramite le correlazioni e formule empiriche sopra riportate, la stima dell'entità della deformazione di taglio ciclica equivalente indotta dal terremoto  $\gamma_c$ . In tutti i casi esaminati,  $\gamma_c$  risulta inferiore ai valori della deformazione di soglia volumetrica  $\gamma_v$ .

Pertanto è possibile concludere che nel sottosuolo delle aree in esame non sono da attendersi fenomeni di degradazione dei parametri di resistenza e/o di incremento delle pressioni interstiziali in seguito ad un terremoto di progetto con periodo di ritorno di 475 anni e che le condizioni di stabilità pre-sismiche possono essere ragionevolmente considerate rappresentative anche della situazione seguente all'evento sismico.

## 11. ELABORATI CARTOGRAFICI

Sono state aggiornate secondo gli standard 4 vigenti (DGR 2193/2015) i seguenti elaborati di 1° e 2° livello di approfondimento:

3 AD) Carta Geologica-Tecnica

7 AD) Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (MOPS)

9a AD) Carta di microzonazione sismica, Il Livello - Fattori di amplificazione FA P.G.A.

9b AD) Carta di microzonazione sismica, Il Livello - Fattori di amplificazione FA I.S. 0.1-0.5 s

9c AD) Carta di microzonazione sismica, Il Livello - Fattori di amplificazione FA I.S. 0.5-1 s

10) Carta delle Indagini – Livello 3

A corredo dello studio di approfondimento di 3° Livello è stata prodotta 1 tavola tematica a scala 1:2.000:

10) Carta delle Indagini – Livello 3

Per quanto attiene la microzonazione sismica di 3° livello, in conformità agli standard 4, è stata redatta all'interno delle carte di micr. sismica di livello 2.

La numerazione delle Tavole segue quella dello Studio di Microzonazione Sismica Livello 1-2.

### CARTA DELLE INDAGINI – LIVELLO 3 – TAV 10

Nella carta delle indagini sono riportate con opportuno simbolo grafico tutte le indagini geognostiche disponibili, sia quelle pregresse che quelle di nuova realizzazione per il Livello 3 di approfondimento.

L'insieme delle conoscenze di sottosuolo di repertorio è stata utilizzata sia per orientare il programma e la localizzazione delle nuove indagini da effettuare, sia per stabilire la tipologia delle prove da realizzare.

#### Indagini di nuova realizzazione per il Livello 3:

- n° 3 Masw
- n° 6 Hvsr

che si aggiungono a indagini pregresse presenti all'interno delle aree instabili oggetto del 3° Livello:

- n° 8 sondaggi a carotaggio continuo
- n° 2 Hvsr
- n° 5 stendimenti di sismica a rifrazione

I simboli adottati sono riportati in legenda qui a fianco.

	Sondaggio a carotaggio continuo che intercetta il substrato
	Stazione microtremore a stazione singola
	MASW
	Profilo sismico a rifrazione



## CARTA GEOLOGICO TECNICA – TAV 3AD

Nella Carta geologico tecnica sono rappresentati:

- i terreni copertura, prodotti dalla degradazione meteorica del substrato geologico le faglie e le forme del dissesto;
- i terreni e le rocce del substrato geologico, con in evidenza la natura litologica del substrato costituente le aree indagate.

Di seguito la legenda della Carta Geologica-Tecnica.

### Terreni di copertura

I prodotti della degradazione meteorica dell'unica Formazione presente nelle zone indagate possono sostanzialmente essere tutti indicati con la sigla:

- **SMfd**: sabbie limose, miscela di sabbia e limo di falda detritica.













Si tratta di terreni di copertura derivanti per lo più dalla degradazione meteorica dell'Unità della Formazione di Monghidoro (MOH).

### Substrato geologico

Nel contesto geologico in studio, è presente un'unica formazione con caratteristiche litostratigrafiche che rientrano in un'unica classe.

**ALS – Alternanza di litotipo stratificato**: rocce costituite da alternanze con livelli lapidei prevalenti e alternanze tra livelli lapidei e livelli pelitici.

Formazione di Monghidoro (MOH).

<b>Terreni di copertura</b>	
	Sabbie limose, miscela di sabbia e limo di falda detritica
<b>Substrato geologico</b>	
	Alternanza di litotipi stratificato
	Alternanza di litotipi stratificato con amplificazione topografica
<b>Instabilità di versante</b>	
	scorrimento – attiva
	colata – attiva
	scorrimento – quiescente
	colata – quiescente
	complessa – quiescente
<b>Elementi tettonico strutturali</b>	
	Faglia inversa non attiva (incerta)
	Giacitura degli strati
<b>Elementi geologici e idrogeologici</b>	
	Pozzo o sondaggio che ha raggiunto il substrato geologico (profondità in m)
	Traccia di sezione geologica significativa e rappresentativa del modello del sottosuolo

L'area cartografata è stata limitata come estensione all'interno delle aree d'indagine concordate con il Comune di Polinago per il 1°-2° ed è pertanto coincidente con la carta di primo livello delle MOPS (Microzone omogenee in prospettiva sismica).

### Note di rappresentazione grafica

- 1) In Legenda sono stati riportati anche i codici relativi agli ambienti genetico-deposizionali dei terreni di copertura.
- 2) Vengono evidenziate, con un sovrassegno rigato nero, le aree soggette ad amplificazione topografica.

## **CARTA DELLE MICROZONE OMOGENEE IN PROSPETTIVA SISMICA (MOPS) – TAV. 7AD**

Il moto sismico di un determinato territorio è direttamente influenzato dalle condizioni geologiche e morfologiche locali. Alcuni depositi e forme morfologiche possono amplificare il moto sismico in superficie e favorire fenomeni d'instabilità dei terreni quali cedimenti, frane o fenomeni di liquefazione. Queste modificazioni dovute alle caratteristiche locali sono comunemente definite "effetti locali".

La Carta delle aree suscettibili di effetti locali o delle microzone omogenee in prospettiva sismica (MOPS); è il documento fondamentale del primo livello di approfondimento.

Le microzone presenti nella Carta sono classificate in tre categorie:

a) **zone stabili**, nelle quali non si ipotizzano effetti locali significativi di alcuna natura, se non lo scuotimento, funzione dell'energia e della distanza dell'evento; il moto sismico non viene modificato (litotipi assimilabili al substrato rigido in affioramento con morfologia pianeggiante o poco acclive); sono le zone dove è affiorante il bedrock sismico con morfologia pianeggiante o poco inclinata (pendii con inclinazione inferiore a circa 15°-20°).

In queste zone non sono quindi richiesti ulteriori approfondimenti;

b) **zone stabili suscettibili di amplificazioni locali**, nelle quali sono attese amplificazioni del moto sismico, come effetto dell'assetto litostratigrafico e morfologico/topografico locale.

In alcune aree indagate può essere presente l'effetto di amplificazione topografica.

Per l'amplificazione: litostratigrafica vengono distinte diverse zone sulla base degli spessori dei terreni di copertura e della natura.

Per le zone di questa categoria sono definiti numericamente dei valori dei fattori di amplificazione delle accelerazioni FA; in tali zone sono presenti terreni di copertura, coltri di alterazione del substrato, substrato molto fratturato o substrato caratterizzato da velocità di propagazione delle onde di taglio ( $V_s < 800$  m/s) con spessori superiori ai 5 m.

c) **zone suscettibili di instabilità**, nelle quali gli effetti sismici attesi e predominanti, oltre i fenomeni di amplificazione, sono riconducibili a deformazioni permanenti del territorio.

Le zone cartografate identificano un'unica categoria di effetti deformativi:

– instabilità di versante distinte per tipo di frana (crollo o ribaltamento; scorrimento, colata, frana complessa) e per attività (attiva, quiescente, inattiva);

Sul territorio indagato non sono presenti effetti quali: liquefazione, cedimenti differenziali, faglie attive e capaci, forme di superficie, forme/elementi sepolti in grado di determinare deformazioni permanenti.

Nelle aree in studio il principale e unico tipo di instabilità atteso risulta quindi:

- *instabilità di versante in presenza di pendii instabili e potenzialmente instabili.*

Dalla cartografie tematiche prodotte e dalle indagini svolte sono stati individuate i seguenti dati:

1. Tipo, spessore e natura dei terreni di copertura;
2. Tipo e natura del substrato geologico;
3. Forme del dissesto: frane attive, frane quiescenti e falde detritiche;

Nella carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica, sono state individuate, sulla base delle caratteristiche della copertura e del substrato geologico, **1 zona stabile, 4 zone stabili suscettibili di amplificazione locale e 2 zone di attenzione per instabilità:**

### ZONE STABILI

Queste zone comprendono le aree caratterizzate da alternanze di litotipi stratificati ( $V_{s_{sub}} > 800$  m/s) affiorante o subaffiorante (<3m).

Rientra in questa zona l'unica formazione affiorante: Formazione di Monghidoro (MOH).

### ZONE STABILI SUSCETTIBILI DI AMPLIFICAZIONI LOCALI

#### LOCALI

Si tratta di zone caratterizzate da substrato affiorante o subaffiorante ma con amplificazioni topografiche o substrato sovrastato da terreni di copertura con spessori variabili e compresi tra 5 fino a 20 m.

### ZONE DI ATTENZIONE PER INSTABILITÀ

Nelle stesse aree d'indagine sono state inoltre individuate tutte le **zone suscettibili d'instabilità** caratterizzate da depositi di frana attiva o quiescente con spessori variabili, fino a 10 m o tra 10-25 m.

### Zone stabili

 Alternanza di litotipi stratificato

### Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali

 Zona 1 - Aree con substrato costituito da alternanze di litotipi stratificato affiorante ma con amplificazioni topografiche.

 Zona 2 - Aree caratterizzate da substrato geologico costituito da alternanza di litotipi stratificato situato a profondità comprese tra 5 e 10 m dal p.d.c.

 Zona 3 - Aree caratterizzate da substrato geologico costituito da alternanza di litotipi stratificato situato a profondità comprese tra 10 e 15 m dal p.d.c.

 Zona 4 - Aree caratterizzate da substrato geologico costituito da Alternanza di litotipi stratificato a profondità comprese tra 15 e 20 m dal p.d.c.

### Zone di attenzione per instabilità

 Zona 5 - Aree caratterizzate da depositi di frana con spessori fino a 10 m e substrato geologico costituito da Alternanza di litotipi stratificato.

 Zona 6 - Aree caratterizzate da depositi di frana con spessori compresi tra 10 e 25 m e substrato geologico costituito da Alternanza di litotipi stratificato.

### Punti di misura di rumore ambientale

 Punto di misura di rumore ambientale con indicazione del valore di fo

## CARTE DELLA MICROZONAZIONE SISMICA – TAV. 9a,b,c AD

Nelle carte della microzonazione sismica di 2° e 3° livello, viene quantificato il parametro FA di amplificazione stratigrafica.

Il metodo utilizzato è quello suggerito nella DAL 112/2007 RER, Allegato A2, di cui "Approvazione dell'atto di indirizzo e coordinamento tecnico ai sensi dell'art. 16, comma 1, della L.R. 20/2000 "Disciplina generale sulla tutela e l'uso del territorio", in merito a "Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica".

La Delibera regionale, propone un'analisi semplificata al secondo livello di approfondimento con lo scopo di valutare l'effettivo grado di pericolosità sismica locale. Essa suggerisce la definizione delle amplificazioni locali sulla base delle tabelle allegate in appendice al documento e riferite a grandi situazioni morfologico-stratigrafiche ("secondo livello" di analisi).

Tale livello di approfondimento prevede la determinazione dei coefficienti di amplificazione sismica impiegando le tabelle e le formule dell'Allegato A2 (A2.1.1 e A2.1.2) che permettono di calcolare i fattori di amplificazione sismica rispetto ad un suolo di riferimento.

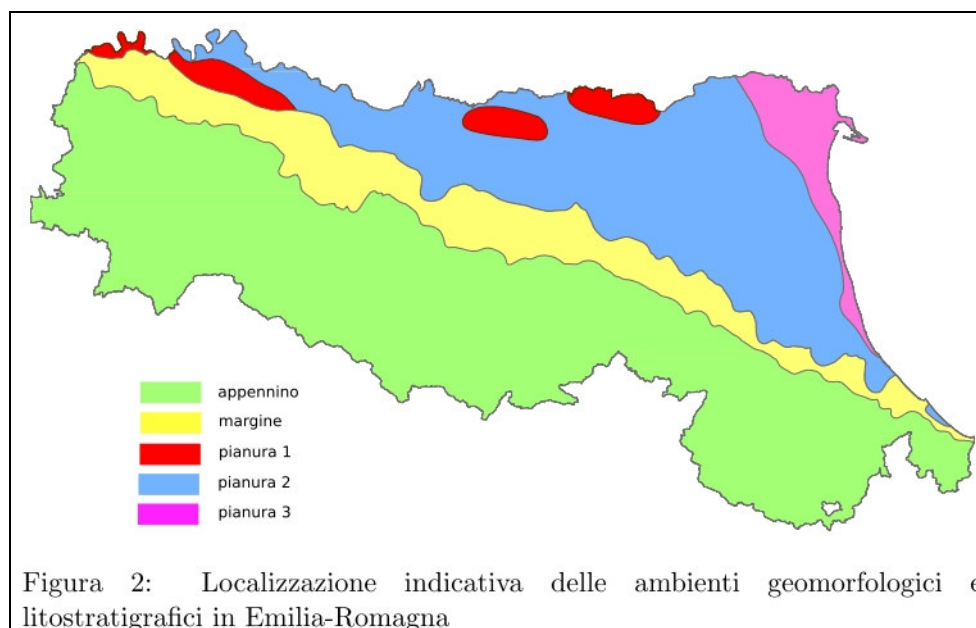
Recentemente (Settembre 2015), le Tabelle della Dal 112/07 sono state oggetto di una opportuna revisione nel lavoro prodotto dal CNR – Istituto per la dinamica dei processi ambientali di Milano dal titolo "Abachi per la valutazione dei fattori di amplificazione per le indagini di microzonazione sismica di secondo livello in Emilia-Romagna" (A. Tento, L. Martelli, A. Marcellini).

Questo studio ha rivisto la suddivisione del territorio regionale in ambiti geo-litologici omogenei.

Nel territorio regionale sono stati individuati due ambienti geo-litologici omogenei principali relativi a:

- 1) zona collinare e montana (Appennino) e 2) pianura e zona costiera che comprende anche il settore di transizione Appennino-Pianura (Margine).

La Figura seguente riporta schematicamente questa suddivisione.



Tratta da: "Abachi per la valutazione dei fattori di amplificazione per le indagini di microzonazione sismica di secondo livello in Emilia-Romagna" CNR (A. Tento, L. Martelli, A. Marcellini).

Sulla base di quanto sopra detto e in considerazione delle risultanze delle indagini svolte, l'area in studio rientra nel:

**Ambiente APPENNINO** Questo ambiente è caratterizzato da depositi alluvionali con spessori fino a 50 metri che sovrastano due tipologie di substrato geologico.

In particolare sono state individuate tre casi:

1. depositi di copertura, con spessori fino a 50 metri, sovrastanti il sub-strato geologico rigido (depositi marini generalmente caratterizzati da  $V_s > 800\text{m/s}$ )
2. depositi di copertura, con spessori fino a 50 metri, sovrastanti il substrato marino non rigido (depositi marini caratterizzati da  $V_s < 800\text{m/s}$ )
3. substrato marino non rigido affiorante o sub affiorante (ovvero depositi marini caratterizzati da  $V_s < 800\text{m/s}$ , con spessore della copertura o della coltre di alterazione inferiore a 2.5 m)

Per quanto riguarda i casi 1 e 2, i fattori di amplificazione sono in funzione della spessore totale dei depositi, ovvero della profondità del bedrock, H e della corrispondente velocità media  $V_sH$ .

Nel caso 3, che non prevede la presenza di terreni di copertura di spessore rilevante ( $H < 2.5\text{m}$ ), il parametro considerato è  $V_{s30}$ , con valori a partire da 350 m/s.

Nelle tabelle seguenti sono riportati per ogni ambito relativo all'ambiente Appennino:

- profili medi di VS che caratterizzano ogni caso.
- rapporto fra gli spettri di risposta in accelerazione, con smorzamento 5%, calcolati sulla superficie dei profili medi e quello relativo al suolo A. Sono inoltre riportati i fattori di amplificazione dei profili medi. Si noti che i valori indicati possono differire da quelli delle tabelle poichè quest'ultimi sono relativi a 84 percentile dei valori ottenuti considerando la variabilità della risposta sismica relativa ai profili sismici.
- fattori di amplificazione ottenuti con le attuali elaborazioni.

I Fattori di Amplificazione sismica (F.A.) sono relativi a due parametri rappresentativi dello scuotimento sismico. Il primo è l'accelerazione di picco orizzontale (PGA), il secondo è l'intensità spettrale  $S_l$ .

- **F.A. P.G.A.** - rapporto tra la massima ampiezza dell'accelerazione su affioramento rigido ( $a_{max,r}$ ) e la massima ampiezza dell'accelerazione alla superficie del deposito ( $a_{max,s}$ ) alla frequenza  $f$ . Il fattore di amplificazione dipende dalla frequenza di eccitazione armonica, dal fattore di smorzamento  $D$  e dal rapporto tra l'impedenza sismica, prodotto tra densità-velocità, della roccia base e quella del deposito.
- **F.A. S.I.** - Intensità spettrale di Housner - indicatore della pericolosità sismica, è definito come l'area sottesa dello spettro di risposta di pseudovelocità, nel nostro caso per i due intervalli di frequenze, rispettivamente da  $0.1\text{s} \leq T_0 \leq 0.5\text{s}$ ,  $0.5\text{s} \leq T_0 \leq 1.0\text{s}$  e  $0.5\text{s} \leq T_0 \leq 1.5\text{s}$ .

È stato considerato uno smorzamento  $\xi$  del 5 % e sono stati valutati tre intervalli di periodo proprio  $T_0$  ottenendo tre valori di intensità spettrale:

$S_{I1} : 0.1\text{s} \leq T_0 \leq 0.5\text{s}$

SI2 :  $0.5s \leq T_0 \leq 1.0s$

SI3 :  $0.5s \leq T_0 \leq 1.5s$

Di seguito si riportano le tabelle di calcolo per le diverse situazioni presenti nell'aree in studio.

**Tabelle Appennino**

	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700
5	1.8	1.7	1.4	1.2	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
10	2.0	2.0	1.9	1.7	1.5	1.4	1.2	1.1	1.0	1.0
15	2.0	2.0	2.0	1.9	1.8	1.6	1.4	1.3	1.2	1.0
20	2.0	2.0	2.0	2.0	1.9	1.7	1.6	1.4	1.3	1.0
25	2.0	2.0	2.0	1.9	1.8	1.8	1.6	1.5	1.3	1.0
30		1.9	1.9	1.9	1.8	1.7	1.6	1.5	1.4	1.2
35		1.9	1.9	1.9	1.9	1.7	1.6	1.4	1.4	1.2
40		1.9	1.9	1.9	1.9	1.7	1.6	1.4	1.4	1.2
50		1.9	1.9	1.9	1.9	1.8	1.6	1.4	1.4	1.2

Tabella 1: Substrato marino caratterizzato da  $V_s \geq 800m/s$ . Fattori di Amplificazione **PGA**. Colonna 1  $H(m)$ , riga 1  $V_{sH}(m/s)$

	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700
5	1.5	1.2	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
10	2.1	2.0	1.6	1.3	1.1	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
15	2.4	2.3	2.1	1.7	1.4	1.3	1.1	1.0	1.0	1.0
20	2.4	2.4	2.3	2.0	1.7	1.5	1.3	1.2	1.1	1.0
25	2.4	2.4	2.4	2.2	1.9	1.7	1.5	1.3	1.2	1.0
30		2.4	2.4	2.3	2.1	1.8	1.6	1.5	1.3	1.1
35		2.3	2.3	2.3	2.2	1.9	1.7	1.5	1.4	1.2
40		2.2	2.2	2.2	2.2	2.0	1.8	1.6	1.4	1.2
50		2.1	2.1	2.1	2.1	2.0	1.8	1.6	1.5	1.3

Tabella 2: Substrato marino caratterizzato da  $V_s \geq 800m/s$ . Fattori di Amplificazione **SI1** ( $0.1s \leq T_0 \leq 0.5s$ ). Colonna 1  $H(m)$ , riga 1  $V_{sH}(m/s)$

	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700
5	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
10	1.3	1.1	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
15	1.6	1.4	1.2	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
20	2.6	1.9	1.5	1.2	1.1	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
25	2.9	2.5	1.9	1.4	1.2	1.1	1.1	1.0	1.0	1.0
30		2.9	2.3	1.6	1.4	1.2	1.1	1.1	1.0	1.0
35		3.2	2.8	1.9	1.5	1.4	1.2	1.1	1.1	1.0
40		3.4	3.1	2.4	1.8	1.5	1.4	1.2	1.1	1.0
50		3.2	3.2	2.9	2.2	1.9	1.6	1.4	1.3	1.1

Tabella 3: Substrato marino caratterizzato da  $V_s \geq 800m/s$ . Fattori di Amplificazione **SI2** ( $0.5s \leq T_0 \leq 1.0s$ ). Colonna 1  $H(m)$ , riga 1  $V_{sH}(m/s)$

	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700
5	2.3	2.0	1.6	1.5	1.4	1.3	1.3	1.2	1.2	
10	2.3	2.2	2.0	1.8	1.6	1.4	1.3	1.3	1.2	
15	2.2	2.2	2.1	2.0	1.8	1.6	1.4	1.3	1.2	
20	2.1	2.1	2.1	2.0	1.9	1.7	1.5	1.4	1.2	
25	2.1	2.1	2.1	2.0	1.9	1.8	1.6	1.4	1.3	
30		2.1	2.1	2.0	1.9	1.8	1.6	1.4	1.3	
35		2.1	2.1	2.0	1.9	1.8	1.6	1.5	1.4	1.2
40		2.0	2.0	2.0	1.9	1.8	1.6	1.5	1.4	1.2
50		1.9	1.9	1.9	1.9	1.8	1.6	1.5	1.4	1.2

Tabella 4: Substrato marino caratterizzato da  $V_s < 800m/s$ . Fattori di Amplificazione **PGA**. Colonna 1  $H(m)$ , riga 1  $V_{sH}(m/s)$

	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700
5	2.1	1.7	1.5	1.4	1.4	1.3	1.3	1.3	1.3	
10	2.6	2.3	1.9	1.6	1.5	1.4	1.3	1.3	1.3	
15	2.7	2.6	2.3	1.9	1.6	1.5	1.4	1.3	1.3	
20	2.6	2.6	2.4	2.1	1.8	1.6	1.5	1.4	1.3	
25	2.6	2.6	2.5	2.3	2.0	1.7	1.6	1.4	1.3	
30		2.4	2.4	2.3	2.1	1.8	1.6	1.5	1.3	
35		2.4	2.4	2.3	2.2	1.9	1.7	1.5	1.4	1.2
40		2.2	2.2	2.2	2.2	2.0	1.8	1.6	1.4	1.2
50		2.1	2.1	2.1	2.1	2.0	1.8	1.6	1.5	1.3

Tabella 5: Substrato marino caratterizzato da  $V_s < 800m/s$ . Fattori di Amplificazione **SI1** ( $0.1s \leq T_0 \leq 0.5s$ ). Colonna 1  $H(m)$ , riga 1  $V_{sH}(m/s)$

	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700
5	1.4	1.4	1.4	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	
10	1.8	1.6	1.4	1.4	1.3	1.4	1.3	1.3	1.3	
15	2.3	1.9	1.6	1.4	1.4	1.4	1.3	1.3	1.3	
20	2.9	2.6	1.9	1.6	1.4	1.4	1.4	1.3	1.3	
25	3.6	3.0	2.3	1.7	1.5	1.4	1.4	1.4	1.3	
30		3.3	2.7	1.9	1.7	1.5	1.4	1.4	1.3	
35		3.5	3.0	2.2	1.8	1.6	1.5	1.4	1.3	1.1
40		3.5	3.2	2.6	2.0	1.8	1.6	1.5	1.4	1.2
50		3.3	3.3	3.0	2.4	2.0	1.8	1.6	1.5	1.3

Tabella 6: Substrato marino caratterizzato da  $V_s < 800m/s$ . Fattori di Amplificazione **SI2** ( $0.5s \leq T_0 \leq 1.0s$ ). Colonna 1  $H(m)$ , riga 1  $V_{sH}(m/s)$

$V_{s30}(m/s) \rightarrow$	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700
F.A. PGA					1.9	1.8	1.6	1.4	1.2	1.1
F.A. SI1					1.9	1.7	1.6	1.4	1.3	1.2
F.A. SI2					1.5	1.5	1.4	1.4	1.3	1.3

Tabella 7: Substrato marino caratterizzato da  $V_s < 800m/s$  affiorante. Fattori di Amplificazione **PGA**, **SI1** e **SI2**

Tratta da: "Abachi per la valutazione dei fattori di amplificazione per le indagini di microzonazione sismica di secondo livello in Emilia-Romagna" CNR (A. Tento, L. Martelli, A. Marcellini).

Le zone sono individuate in ordine crescente di pericolosità sismica:

Di seguito la legenda della carta che individua le zone distinte per range di valori di FA (FA<sub>pga</sub>, FA 0.1-0.5 s, FA 0.5-1 s).

L'amplificazione litostratigrafica è stata quindi quantificata in termini di parametri di:

- FA<sub>pga</sub>, FA 0,1-0,5s, FA 0,5-1s.

Di seguito la legenda delle carte di microzonazione sismica di 2° livello con i diversi valori di FA ( $FA_{PGA}$ , FA 0.1-0.5 s, FA 0.5-1 s).

### PGA

#### Zone stabili



FA P.G.A. = 1

#### Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali



FA P.G.A. = 1.3 - 1.4



FA P.G.A. = 1.9 - 2.0

#### Zone di attenzione per instabilità (Livello 2)



FA P.G.A. = 1.9 - 2.0

#### Zone suscettibili di instabilità (Livello 3)



FA P.G.A. = 1.9 - 2.0  
0 < FRT ≤ 15 cm

### I.S. 0.1-0.5s

#### Zone stabili



FH0105 = 1

#### Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali



FH0105 = 1.1 - 1.2



FH0105 = 1.7 - 1.8



FH0105 = 2.3 - 2.4

#### Zone di attenzione per instabilità (Livello 2)



FH0105 = 1.5 - 1.6



FH0105 = 1.9 - 2.0

#### Zone suscettibili di instabilità (Livello 3)



FH0105 = 1.9 - 2.0  
0 < FRT ≤ 15 cm



FH0105 = 2.1 - 2.2  
0 < FRT ≤ 15 cm

### I.S. 0.5-1s

#### Zone stabili



FH0510 = 1

#### Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali



FH0510 = 1.1 - 1.2



FH0510 = 1.3 - 1.4

#### Zone di attenzione per instabilità (Livello 2)



FH0510 = 1.1 - 1.2

#### Zone suscettibili di instabilità (Livello 3)



FH0510 = 1.5 - 1.6  
0 < FRT ≤ 15 cm

Si sottolinea che la scelta degli abachi per la stima dell'amplificazione non è dipesa dalle sole caratteristiche litologiche e morfologiche delle aree ma è stata attentamente valutata sulla base delle caratteristiche stratigrafiche del sottosuolo, in particolare della profondità del substrato rigido. Sono state tenute in debita considerazione sia la Carta delle MOPS che la Carta delle frequenze naturali dei terreni.

L'analisi congiunta dei valori puntuali dei fattori di amplificazione e delle conoscenze geologiche e litostratigrafiche delle aree studiate, ha permesso una valutazione areale dell'andamento dei fattori stessi con conseguente individuazione di diverse zone con ranges di valori crescenti.

Nelle zone suscettibili di instabilità, per il 3° livello di approfondimento, viene quantificato il parametro FRT che rappresenta in qualche modo il grado di stabilità.

La carta suddivide il territorio indagato in diverse aree caratterizzate da pericolosità locale differente. Nel caso in studio, oltre ai valori di FRT, vengono indicati i diversi valori del fattore di amplificazione di sito FA, sia in termini di picco di accelerazione  $FA_{PGA}$ , che in termini di intensità dello spettro di risposta in pseudo velocità  $FA_{RSI}$  nei due intervalli 0.1-0.5 s e 0.5-1s.

Il parametro FRT è rappresentato dal valore dello spostamento permanente atteso, stimato mediante l'applicazione di metodi dinamici semplificati (blocco rigido di Newmark).

L'area in studio viene suddivisa in diverse zone sulla base dei differenti valori di FRT e FA.

Si osservano 4 range/valori tipici degli spostamenti che caratterizzano le varie zone (0 cm, 0÷0.5 cm, 0.5÷1 cm, 1÷5 cm).

**12 CONCLUSIONI**

I risultati dello studio di risposta sismica locale e di analisi di stabilità (III livello di approfondimento), realizzati in accordo con i criteri per gli studi di microzonazione sismica (OPCM 4007/2012 – DGR 1302/2012), possono essere così sintetizzati:

- l'analisi della risposta sismica locale effettuata su modelli monodimensionali, utilizzando il codice di calcolo EERA, ha permesso di determinare, per le aree esaminate, fattori di amplificazione leggermente inferiori rispetto a quelli ottenuti con i metodi speditivi (II livello di approfondimento).
- Le verifiche di stabilità in condizioni statiche, condotti con metodi all'equilibrio limite, hanno evidenziato che i corpi di frana quiescente presentano un rischio di frana praticamente nullo o molto basso in quanto caratterizzata da valori di  $F_s$  alti ( $1.5 \div >2.5$ ). Per quanto riguarda invece i corpi di frana considerati attivi il rischio frana è variabile: si va da un rischio frana mediamente basso ( $F_s=1.2 \div 1.6/1.8$ ) per i corpi di frana attivi ovest inferiore e est e solo localmente alto ( $F_s=1.04$ ) per il corpo di frana attivo est, a rischio frana da medio-basso ( $F_s=1.2 \div 1.5$ ) a alto/molto alto ( $F_s=0.92 \div 1.1$ ) per il corpo di frana attivo ovest superiore.
- Le verifiche di stabilità in condizioni sismiche, eseguite con metodo pseudo statico, indicano che in caso di terremoto atteso con periodo di ritorno  $T=475$  anni, i corpi quiescenti mantengono nel complesso una buona stabilità con rischio di frana molto basso ( $F_s=1.7 \div 2.5$ ) ma con diversi settori (laddove l'acclività è maggiore) con rischio medio ( $F_s=1.2 \div 1.4$ ), mentre tutti i corpi di frana attivi sono caratterizzati da un livello del rischio frana significativo, con valori del coefficiente di sicurezza sempre  $F_s < 1.2$  per le frane ovest e  $F_s < 1.5$  per la frana est, con diversi settori con  $F_s < 1$ .
- L'applicazione del metodo dinamico degli spostamenti ad alcuni tratti significativi ha fornito valori massimi dello spostamento cosismico atteso dell'ordine di  $2.7 \div 4.3$  cm in corrispondenza del corpo di frana attivo ovest superiore, ai quali è lecito ritenere che sia associato un livello "modesto" del danno atteso. Negli altri settori verificati lo spostamento è sempre inferiore a 0.5 o 1 cm.

Dott. Geol. Marco Santi Bortolotti



**BIBLIOGRAFIA**

- AA.VV. a cura della Società Geologica Italiana, 1994. Appennino Ligure-Emiliano, Guide Geologiche Regionali. BE-MA Editrice.
- AGIP (1969) - Italia II - Geologia e ricerca petrolifera; Pianura Padana Veneta.-Enciclopedia del petrolio e del gas naturale, ENI
- Boccaletti M., Bovini M., Corti G., Gasperini P., Martelli L., Piccardi L., Severi P., Vannucchi G. (2004) – Carta Sismotettonica della Regione Emilia Romagna. RER, SGSS, CNR, IGG Firenze S.E.L.C.A. Firenze.
- Borsellini A. - Mutti E. – Ricci Lucchi F. (1989) - Rocce e Successioni sedimentarie UTET
- C.N.R. – A. Tonto, L. Martelli, A. Marcellini - Abachi per la valutazione dei fattori di amplificazione per le indagini di microzonazione sismica di secondo livello in Emilia-Romagna, 2015.
- C.N.R. (1979) - Carte preliminari di suscettibilità del territorio nazionale. Pubbl. N° 227 ESA Editrice - Roma
- C.N.R. (1980) - Proposta di riclassificazione sismica del territorio nazionale - Pubblic. N° 361 ESA Editrice - Roma.
- DAL 111/2007. Deliberazione dell'assemblea Legislativa della Regione Emilia-Romagna n.112 del 2/5/2007: Approvazione dell'atto di indirizzo e coordinamento tecnico ai sensi dell'art.16 comma 1, della L.R. 20/2000 per "Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica". Boll. Uff. Reg. Emilia-Romagna n.64 del 17/05/2007. <http://demetra.regione.emilia-romagna.it/> o <http://www.regioneemiliaromagna.it/geologia/>
- D.M 14/01/2008 Decreto Ministeriale 14 gennaio 2008: Approvazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni. Ministero delle Infrastrutture. G.U n. 29 del 4/2/2008 – Serie Generale, Suppl. Ord. N. 30
- DGR1051/2011. Deliberazione della Giunta Regionale n. 1051/18/07/2011, " Approvazione dei criteri per gli studi di microzonazione sismica ed assegnazione e concessione dei contributi di cui all'OPCM 3907/2010 e ss.mm". Boll. Uff. Reg. Emilia-Romagna n. 120 del 02/08/2011.
- EERA – Equivalent linear Earthquake site Response Analyses of Layered Soil Deposits
- ENI (1972) - Acque dolci sotterranee - ENI
- Ferrari G - Postpischl D.(1981) - Le scale macrosismiche C.N.R. P.F. Geodinamica. Pubbl. N° 387. Ist. Topografia, geodesia e geofisica Mineraria, Univ. MO
- Gasperi G., Bettelli G., Panini F. e Pizziolo M. (1999) – *Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000. Foglio 219 "Sassuolo"*. Servizio Geologico nazionale - Regione Emilia-Romagna.
- Gasperi G., Bettelli G., Panini F. e Pizziolo M. (1999) – *Note illustrative alla Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000. Foglio 219 "Sassuolo"*. Servizio Geologico, Sismico e dei suoli - Regione Emilia-Romagna.
- Gruppo di lavoro DBMI – INGC 2009 – Database Macrosismico Italiano
- Gruppo di lavoro MS (2008). " Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica". Conferenza delle Regioni e delle Province Autonome – Dipartimento della protezione Civile, Roma, 3 vol. e Dvd.

<http://demetra.regione.emilia-romagna.it/> o <http://www.regione.emilia-romagna.it/geologia/>

[http://www.protezionecivile.it/cms/view.php?dir\\_pk=395&cms\\_pk=15833](http://www.protezionecivile.it/cms/view.php?dir_pk=395&cms_pk=15833)

Locati M., R. Camassi e M. Stucchi (a cura di), 2011. DBMI11, la versione 2011 del Database Macrosismico Italiano. Milano, Bologna, <http://emidius.mi.ingv.it/DBMI11>.

Meletti C. e Valensise G., (2004). Zonazione sismogenetica ZS9-App. 2 al rapporto Conclusivo. In: “Gruppo di Lavoro MPS (2004).

Molin D., Stucchi M., Valensise G. con la collaborazione di C. Meletti, S. Mirena, G. Monachesi, G. Morelli, L. Peruzza, A. Zerga - Massime intensità macrosismiche osservate nei comuni italiani valutate a partire dalla banca dati macrosismici del GNDT e dai dati del Catalogo dei Forti Terremoti in Italia di ING/SGA Elaborato per il Dipartimento della Protezione Civile.

Newmark N. M., 195 Effects of earthquakes on dams and embankments. *Geotechnique*, vol. 15, No2, pp 139-159.

NOTE ILLUSTRATIVE della CARTA GEOLOGICA D'ITALIA (2009) alla scala 1:50.000, foglio 219

OPCM 3274/2003. Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274/2003: “ Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica”. G.U. n. 155, 08/05/2003, suppl. ord. N. 72.

PSC Comune di Scandiano, QC Geologico Idrogeologico Sismico - Approfondimenti sismici – Studio Idrogeotecnico Associato – Ambiter Srl

PTPC Provincia di Reggio Emilia 2009

QSIM 2016 - Software Geostru

Redazione della mappa di pericolosità sismica prevista dall'Ordinanza PCm 3274 del 20 marzo 2003”. Rapporto per il Dipartimento della Protezione Civile, INGV, Milano-Roma, aprile 2004, 65 pp. + 5 appendici.

Regione Emilia-Romagna & ENI-AGIP (1998) - *Riserve idriche sotterranee della regione Emilia-Romagna*. S.EL.CA. (Firenze), 120 pp.

Regione Emilia-Romagna – Provincia di Reggio Emilia (2004) – *Carta inventario del dissesto. Relazione tecnico-illustrativa e cartografia. Edizione 2003.*

Rovida A., R. Camassi, P. Gasperini e M. Stucchi (a cura di), 2011. CPTI11, la versione 2011 del Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani. Milano, Bologna, <http://emidius.mi.ingv.it/CPTI>. DOI: 10.6092/INGV.IT-CPTI11

Scandone et Alii (1992) - Struttura geologica, evoluzione cinematica e schema sismotettonico della penisola italiana, Atti, Convegno GNDT.

Slope 2016 – Software Geostru

## **ALLEGATO - 1 -**

### **INDAGINI SISMICHE MASW**

**DOTT. SANTI BORTOLOTTI MARCO**  
**GEOLOGO**

Via Montorso, 19 - 41026 Pavullo nel Frignano (Mo)  
Tel./Fax 0536 324233 - Cell. 339 4679008 – E Mail sb.marco@libero.it

**PROSPEZIONE SISMICA DI SUPERFICIE**  
**036032L1MASW1**

Committente: Comune di Polinago  
Località: Polinago, frana est – parte inferiore  
Data prova: Giugno 2013

**Attrezzatura utilizzata**

- Sismografo PASI SG 24 16S-U a 24 canali
- n° 24 geofoni verticali Pasi da 4.5 Hz con clip singola
- geofono starter
- n° 1 cavo schermato su rullo, 100 m, trasmissione geofono starter-Sismografo
- n° 2 cavi sismici su rullo, 75 m, 12 tracce, intervallo 5 m, connettori e attacchi singoli
- mazza di battuta kg 8
- piattello di battuta in alluminio (20x20x5 cm)
- pc portatile
- Software Winmasw Pro 4.8

**Finalità d'indagine**

Al fine di caratterizzare la risposta sismica del sito in esame è stata effettuata una serie di acquisizioni MASW (*Multi-channel Analysis of Surface Waves*, analisi della dispersione delle onde superficiali di Rayleigh da misure di sismica attiva – e.g. Park et al., 1999) utili a definire il profilo verticale della VS (velocità di propagazione delle onde di taglio).

Nel loro insieme, le procedure adottate sono state eseguite in accordo alle norme tecniche per le costruzioni del DM 14 gennaio 2008.

Queste acquisizioni, in buona misura, fanno risalire la stima dell'effetto di sito alle caratteristiche del profilo di velocità delle onde di taglio (VS).

La classificazione dei terreni è stata svolta sulla base del valore della Vs30 (velocità equivalente della VS nei primi 30m di profondità) definita dalla relazione:

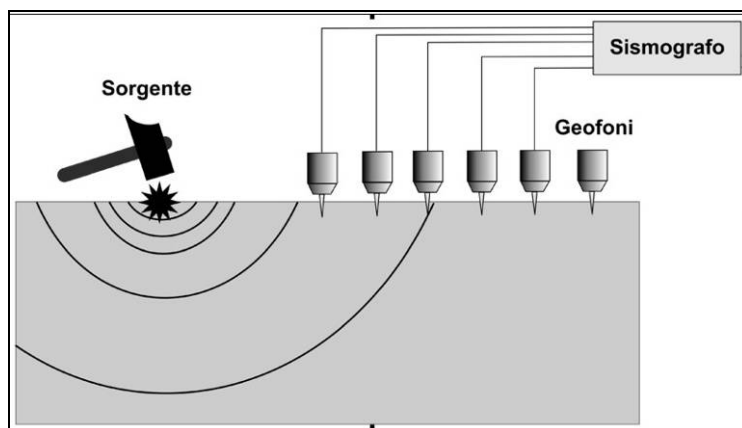
$$V_{S30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{V_{S_i}}} \text{ m/s}$$

hi = spessore dello strato i-esimo  
VS<sub>i</sub> = velocità onde S nello strato i-esimo  
N = numero strati considerati

**Metodologia ed elaborazione d'indagine**

Lunghezza stendimento: 46 m  
N° geofoni: 24  
Spaziatura geofoni: 2 m  
Offset energizzazione: 2-5 m

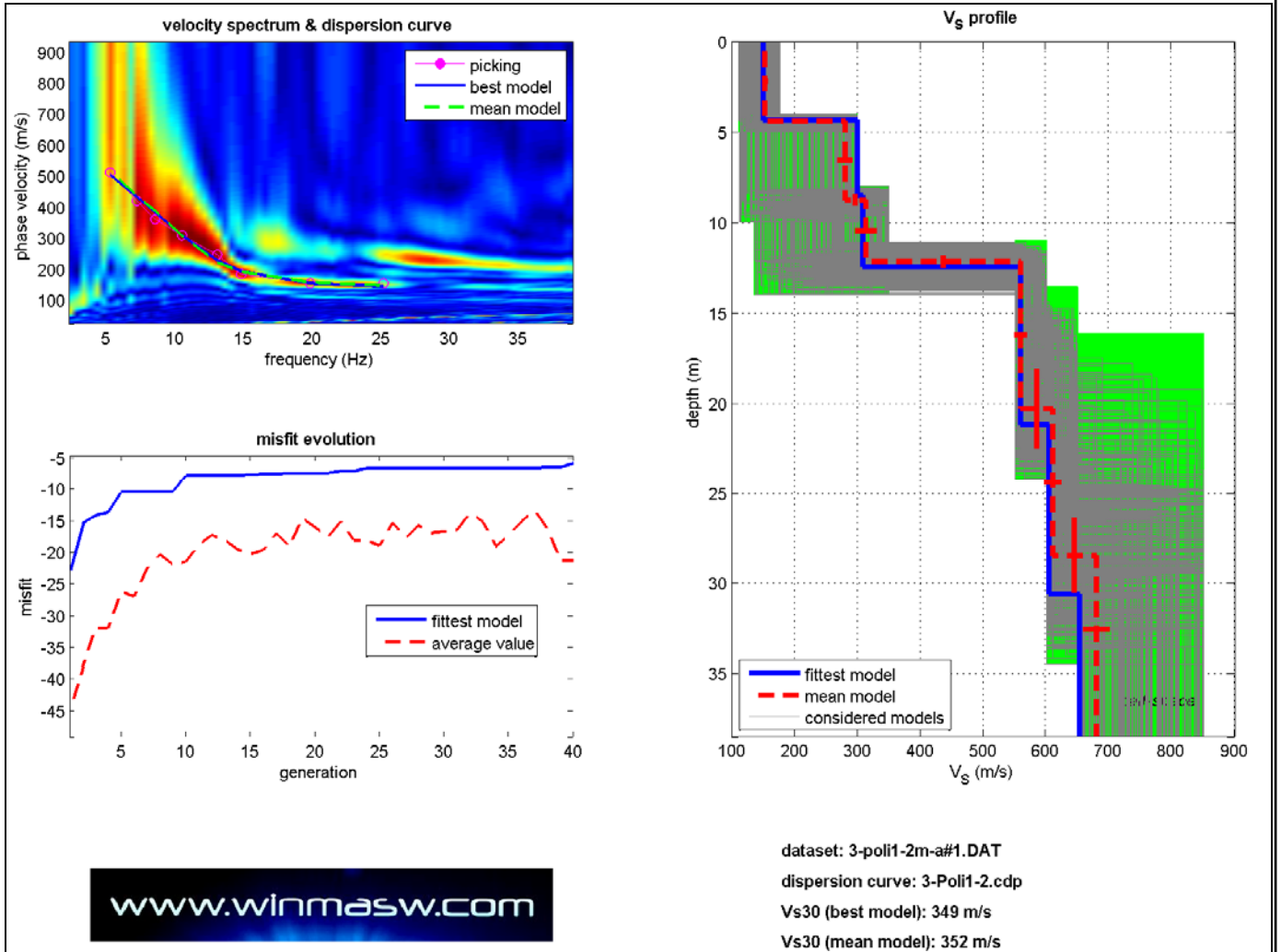
Per ricostruire il profilo verticale della velocità delle onde di taglio (VS), i dati acquisiti sono stati elaborati tramite i seguenti passaggi: determinazione spettro di velocità, identificazione curve di dispersione, inversione/modellazione di queste ultime.



**DOTT. SANTI BORTOLOTTI MARCO  
GEOLOGO**

Via Montorso, 19 - 41026 Pavullo nel Frignano (Mo)  
Tel./Fax 0536 324233 - Cell. 339 4679008 – E Mail sb.marco@libero.it

**036032L1MASW1**



**MASW**

Profondità (m)		Spessore (m)	Vs
da	a	(m)	(m/s)
0.0	4.4	4.4	153
4.4	8.8	4.4	280
8.8	12.2	3.4	313
12.2	20.4	8.2	559
20.4	28.6	8.2	610
28.6			679

**V<sub>s30</sub> = 352 m/s**

**DOTT. SANTI BORTOLOTTI MARCO**  
**GEOLOGO**

Via Montorso, 19 - 41026 Pavullo nel Frignano (Mo)  
Tel./Fax 0536 324233 - Cell. 339 4679008 – E Mail sb.marco@libero.it

**PROSPEZIONE SISMICA DI SUPERFICIE**  
**036032L2MASW2**

Committente: Comune di Polinago  
Località: Polinago, frana ovest – parte media/inferiore  
Data prova: Giugno 2013

**Attrezzatura utilizzata**

- Sismografo PASI SG 24 16S-U a 24 canali
- n° 24 geofoni verticali Pasi da 4.5 Hz con clip singola
- geofono starter
- n° 1 cavo schermato su rullo, 100 m, trasmissione geofono starter-Sismografo
- n° 2 cavi sismici su rullo, 75 m, 12 tracce, intervallo 5 m, connettori e attacchi singoli
- mazza di battuta kg 8
- piattello di battuta in alluminio (20x20x5 cm)
- pc portatile
- Software Winmasw Pro 4.8

**Finalità d'indagine**

Al fine di caratterizzare la risposta sismica del sito in esame è stata effettuata una serie di acquisizioni MASW (*Multi-channel Analysis of Surface Waves*, analisi della dispersione delle onde superficiali di Rayleigh da misure di sismica attiva – e.g. Park et al., 1999) utili a definire il profilo verticale della VS (velocità di propagazione delle onde di taglio).

Nel loro insieme, le procedure adottate sono state eseguite in accordo alle norme tecniche per le costruzioni del DM 14 gennaio 2008.

Queste acquisizioni, in buona misura, fanno risalire la stima dell'effetto di sito alle caratteristiche del profilo di velocità delle onde di taglio (VS).

La classificazione dei terreni è stata svolta sulla base del valore della Vs30 (velocità equivalente della VS nei primi 30m di profondità) definita dalla relazione:

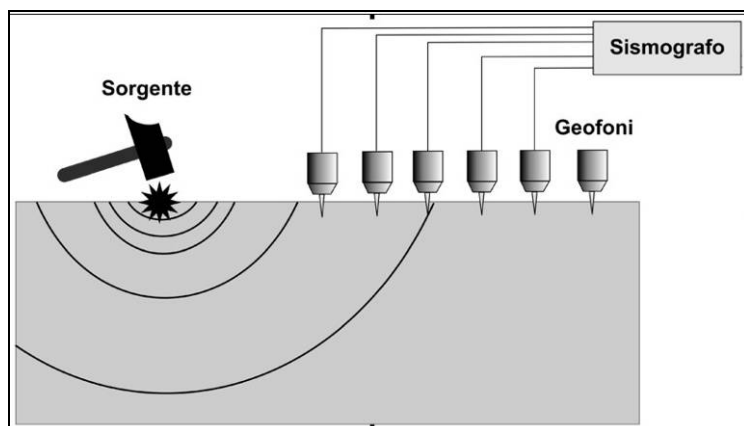
$$V_{S30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{V_{S_i}}} \text{ m/s}$$

hi = spessore dello strato i-esimo  
VS<sub>i</sub> = velocità onde S nello strato i-esimo  
N = numero strati considerati

**Metodologia ed elaborazione d'indagine**

Lunghezza stendimento: 46 m  
N° geofoni: 24  
Spaziatura geofoni: 2 m  
Offset energizzazione: 2-5 m

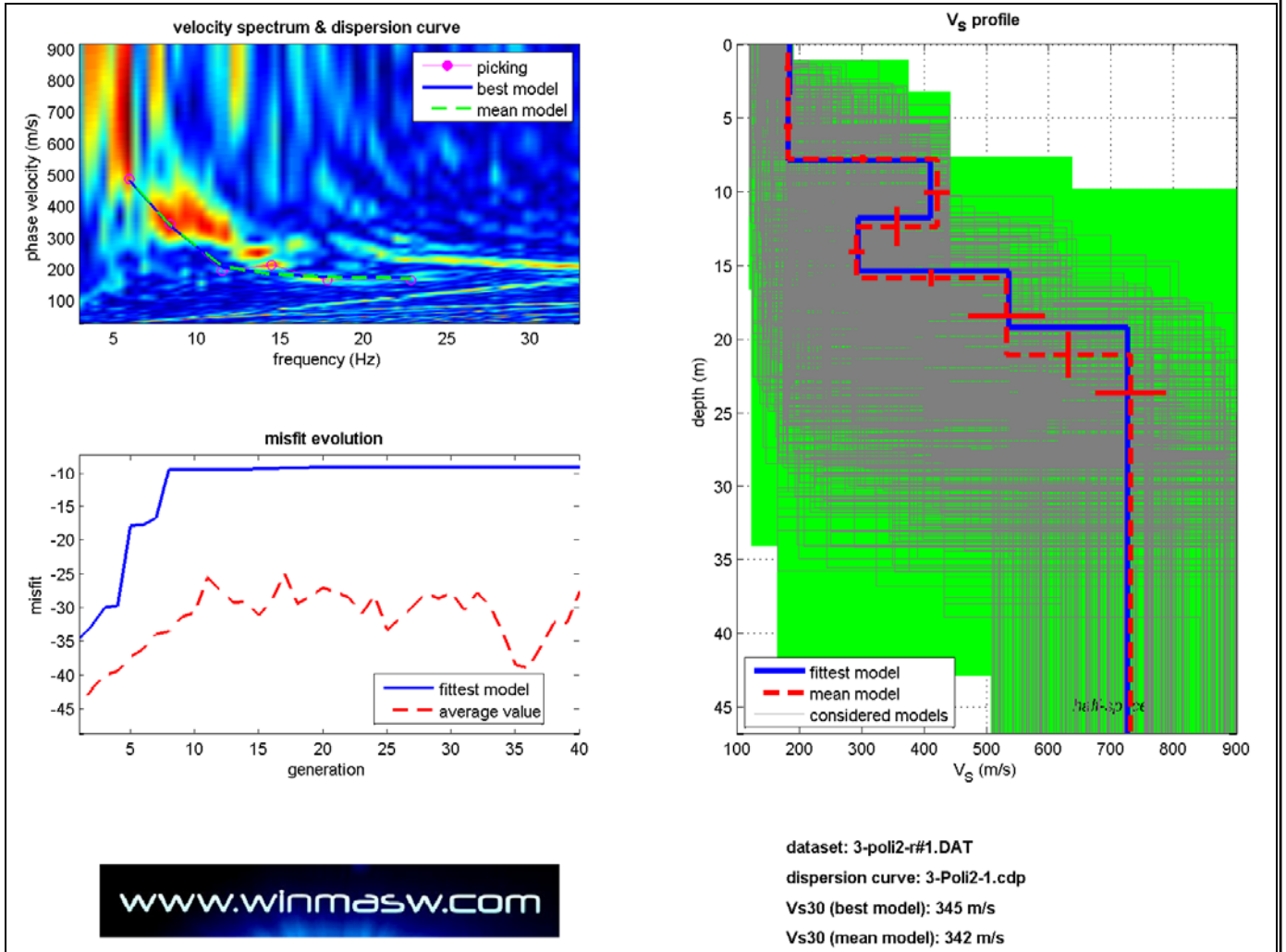
Per ricostruire il profilo verticale della velocità delle onde di taglio (VS), i dati acquisiti sono stati elaborati tramite i seguenti passaggi: determinazione spettro di velocità, identificazione curve di dispersione, inversione/modellazione di queste ultime.



**DOTT. SANTI BORTOLOTTI MARCO  
GEOLOGO**

Via Montorso, 19 - 41026 Pavullo nel Frignano (Mo)  
Tel./Fax 0536 324233 - Cell. 339 4679008 – E Mail sb.marco@libero.it

**036032L2MASW2**



**MASW**

Profondità (m)		Spessore (m)	Vs
da	a	(m)	(m/s)
0.0	3.4	3.4	182
3.4	7.8	4.4	182
7.8	12.4	4.6	420
12.4	15.9	3.5	291
15.9	21.1	5.2	531
21.1			729

**$V_{s30} = 342 \text{ m/s}$**

**DOTT. SANTI BORTOLOTTI MARCO**  
**GEOLOGO**

Via Montorso, 19 - 41026 Pavullo nel Frignano (Mo)  
Tel./Fax 0536 324233 - Cell. 339 4679008 – E Mail sb.marco@libero.it

**PROSPEZIONE SISMICA DI SUPERFICIE**  
**036032L3MASW3**

Committente: Comune di Polinago  
Località: Polinago, frana est – parte superiore  
Data prova: Giugno 2013

**Attrezzatura utilizzata**

- Sismografo PASI SG 24 16S-U a 24 canali
- n° 24 geofoni verticali Pasi da 4.5 Hz con clip singola
- geofono starter
- n° 1 cavo schermato su rullo, 100 m, trasmissione geofono starter-Sismografo
- n° 2 cavi sismici su rullo, 75 m, 12 tracce, intervallo 5 m, connettori e attacchi singoli
- mazza di battuta kg 8
- piattello di battuta in alluminio (20x20x5 cm)
- pc portatile
- Software Winmasw Pro 4.8

**Finalità d'indagine**

Al fine di caratterizzare la risposta sismica del sito in esame è stata effettuata una serie di acquisizioni MASW (*Multi-channel Analysis of Surface Waves*, analisi della dispersione delle onde superficiali di Rayleigh da misure di sismica attiva – e.g. Park et al., 1999) utili a definire il profilo verticale della VS (velocità di propagazione delle onde di taglio).

Nel loro insieme, le procedure adottate sono state eseguite in accordo alle norme tecniche per le costruzioni del DM 14 gennaio 2008.

Queste acquisizioni, in buona misura, fanno risalire la stima dell'effetto di sito alle caratteristiche del profilo di velocità delle onde di taglio (VS).

La classificazione dei terreni è stata svolta sulla base del valore della Vs30 (velocità equivalente della VS nei primi 30m di profondità) definita dalla relazione:

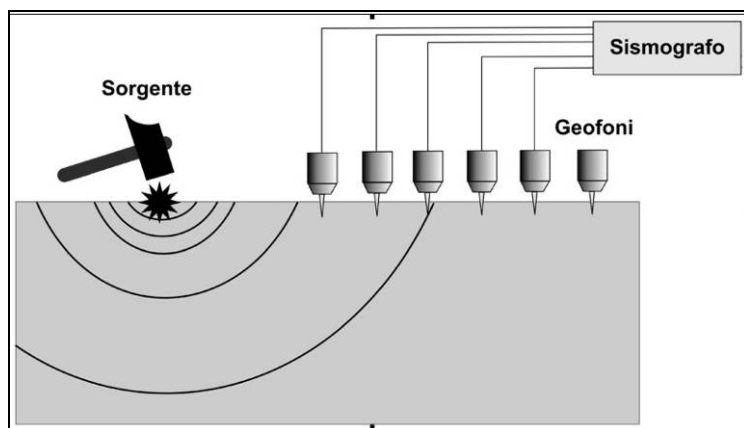
$$V_{S30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{V_{S_i}}} \text{ m/s}$$

hi = spessore dello strato i-esimo  
VS<sub>i</sub> = velocità onde S nello strato i-esimo  
N = numero strati considerati

**Metodologia ed elaborazione d'indagine**

Lunghezza stendimento: 46 m  
N° geofoni: 24  
Spaziatura geofoni: 2 m  
Offset energizzazione: 2-5 m

Per ricostruire il profilo verticale della velocità delle onde di taglio (VS), i dati acquisiti sono stati elaborati tramite i seguenti passaggi: determinazione spettro di velocità, identificazione curve di dispersione, inversione/modellazione di queste ultime.

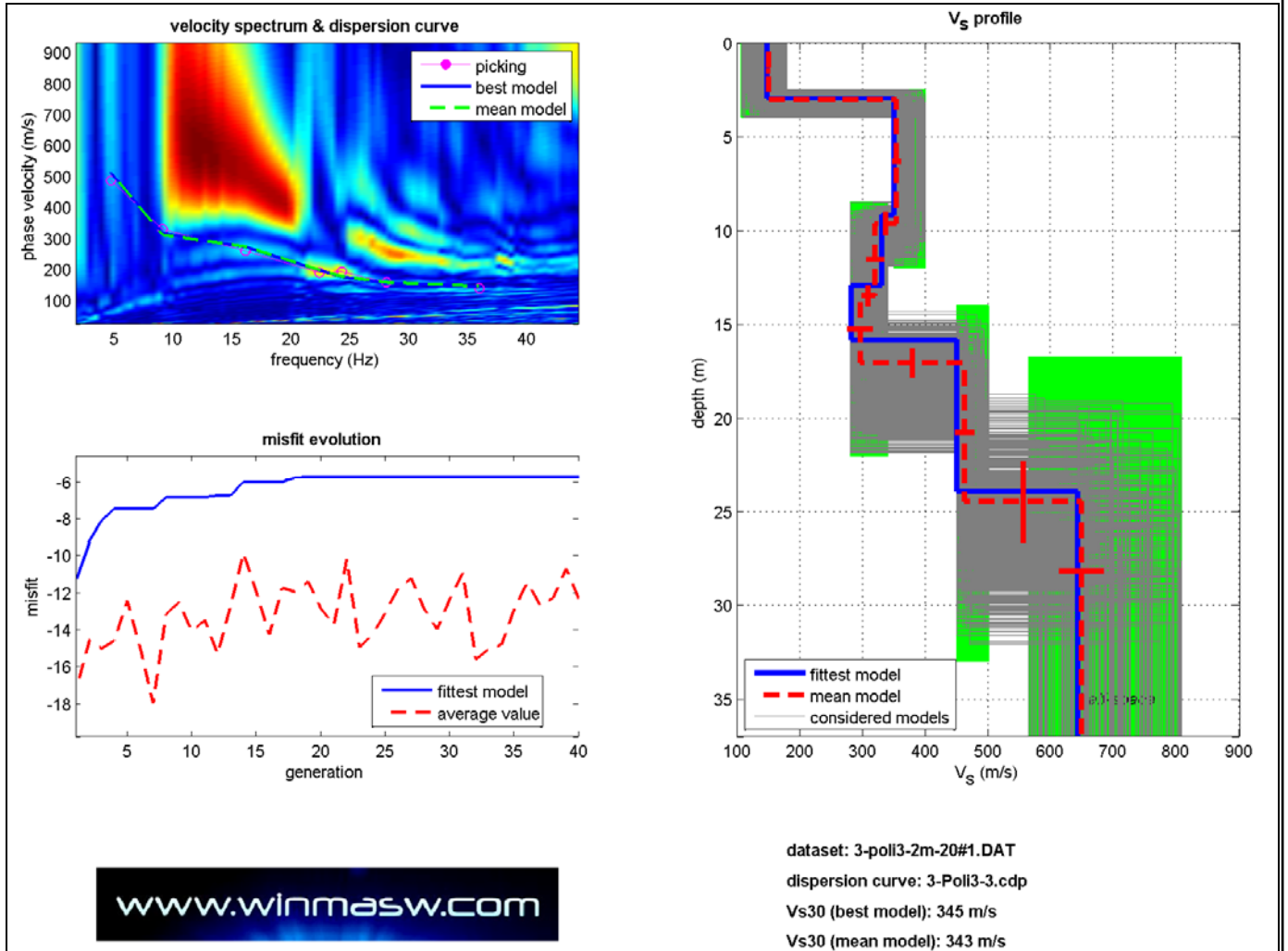




**DOTT. SANTI BORTOLOTTI MARCO  
GEOLOGO**

Via Montorso, 19 - 41026 Pavullo nel Frignano (Mo)  
Tel./Fax 0536 324233 - Cell. 339 4679008 – E Mail sb.marco@libero.it

**036032L3MASW3**



**MASW**

Profondità (m)		Spessore (m)	Vs
da	a	(m)	(m/s)
0.0	3.0	3.0	150
3.0	9.6	6.6	354
9.6	13.4	3.8	320
13.4	17.0	3.6	296
17.0	24.4	7.4	462
24.4			648

**$V_{s30} = 343 \text{ m/s}$**

## **ALLEGATO - 2 -**

### **INDAGINI SISMICHE HVSR**

## INDAGINE SISMICA HVSR - 036032P1

Ubicazione: Polinago, frana est, parte inferiore

Strumento: TRZ-0162/01-11

Inizio registrazione: 19/06/13 07:55:48 Fine registrazione: 19/06/13 08:15:48

Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

Dato GPS non disponibile

Durata registrazione: 0h20'00".

Analizzato 80% tracciato (selezione manuale)

Freq. campionamento: 128 Hz

Lunghezza finestre: 20 s

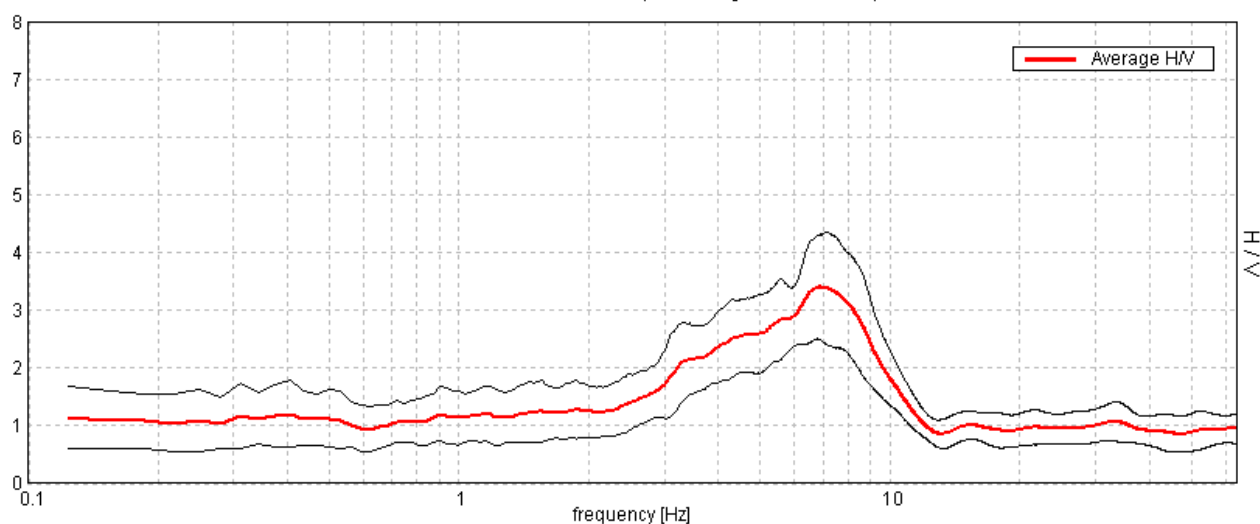
Tipo di lisciamento: Triangular window

Lisciamento: 10%

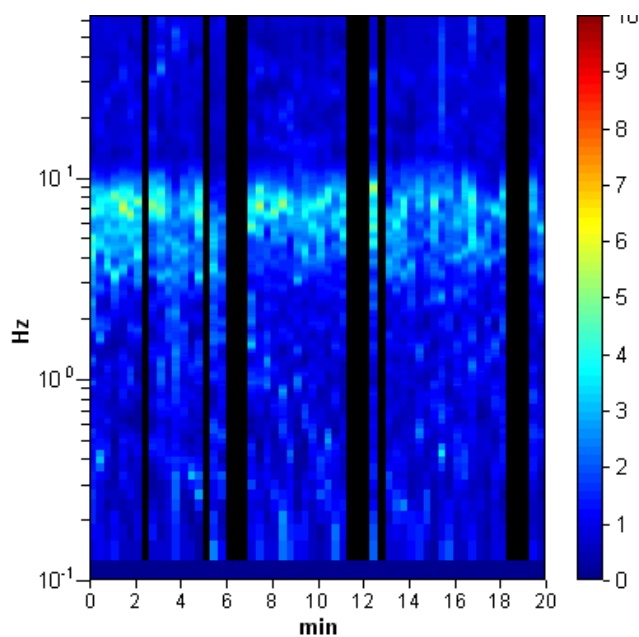
Tabella 1

### RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE

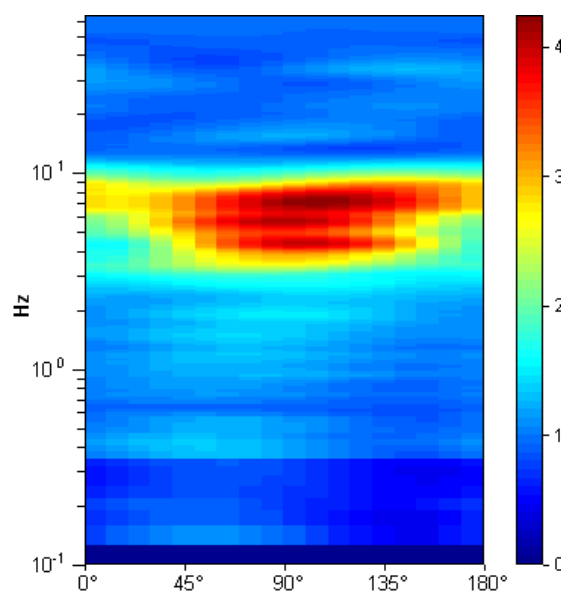
Max. H/V at  $6.84 \pm 0.04$  Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



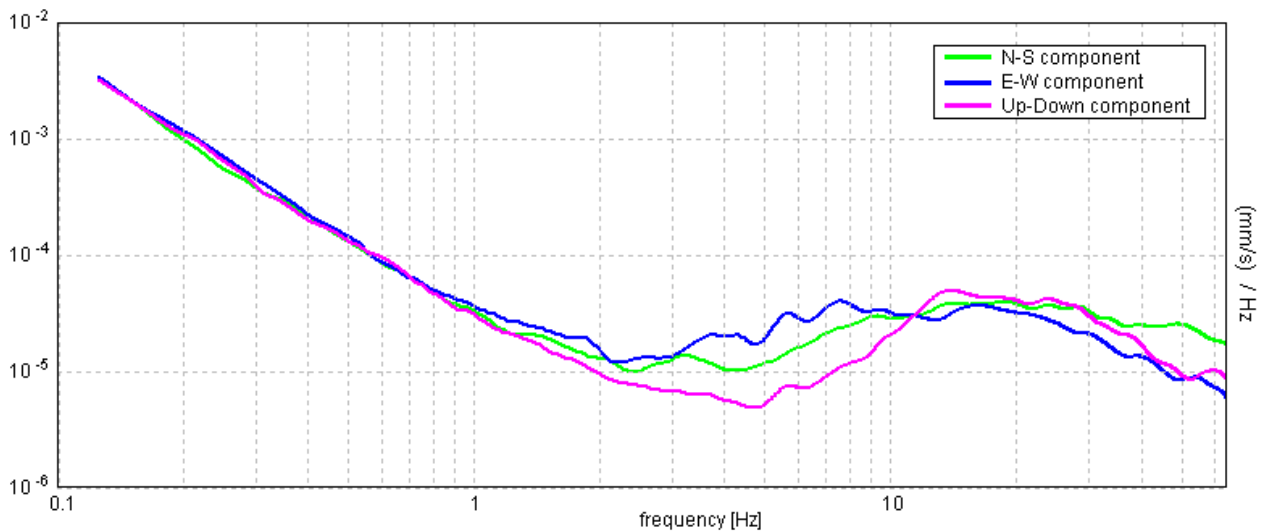
SERIE TEMPORALE H/V



DIREZIONALITA' H/V



SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



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

**Picco H/V a  $6.84 \pm 0.04$  Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).**

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

[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

$f_0 > 10 / L_w$	$6.84 > 0.50$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$6570.0 > 200$	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Superato 0 volte su 330	OK	

**Criteri per un picco H/V chiaro**

[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

Esiste $f^-$ in $[f_0/4, f_0]$   $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	2.969 Hz	OK	
Esiste $f^+$ in $[f_0, 4f_0]$   $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	10.313 Hz	OK	
$A_0 > 2$	$3.41 > 2$	OK	
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.0031  < 0.05$	OK	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.02122 < 0.34219$	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.444 < 1.58$	OK	

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

Valori di soglia per  $\sigma_f$  e  $\sigma_A(f_0)$

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

## INDAGINE SISMICA HVSR - 036032P2

Ubicazione: Polinago, frana ovest, parte media/inferiore

Strumento: TRZ-0162/01-11

Inizio registrazione: 19/06/13 09:01:27 Fine registrazione: 19/06/13 09:21:27

Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

Dato GPS non disponibile

Durata registrazione: 0h20'00".

Analizzato 93% tracciato (selezione manuale)

Freq. campionamento: 128 Hz

Lunghezza finestre: 20 s

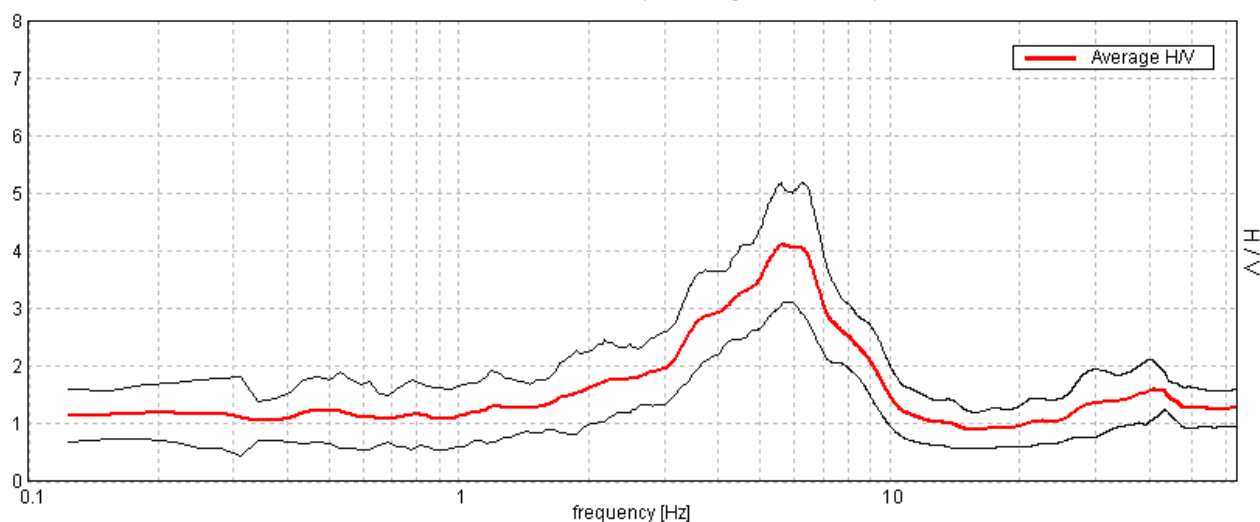
Tipo di lisciamento: Triangular window

Lisciamento: 10%

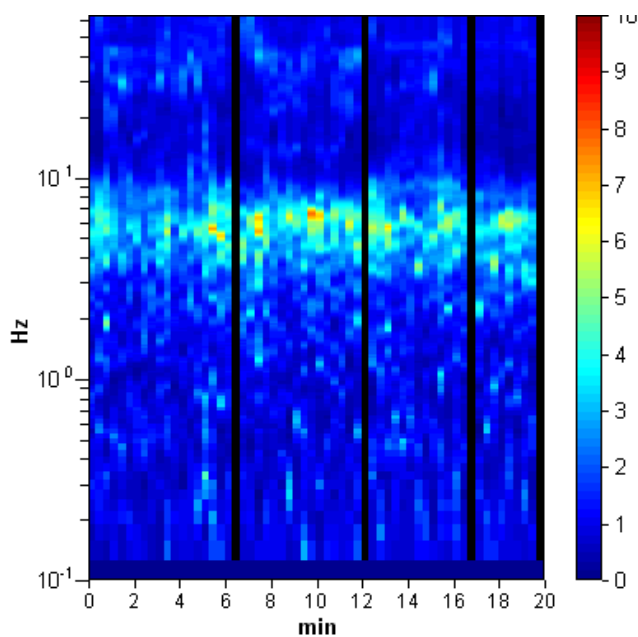
Tabella 1

### RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE

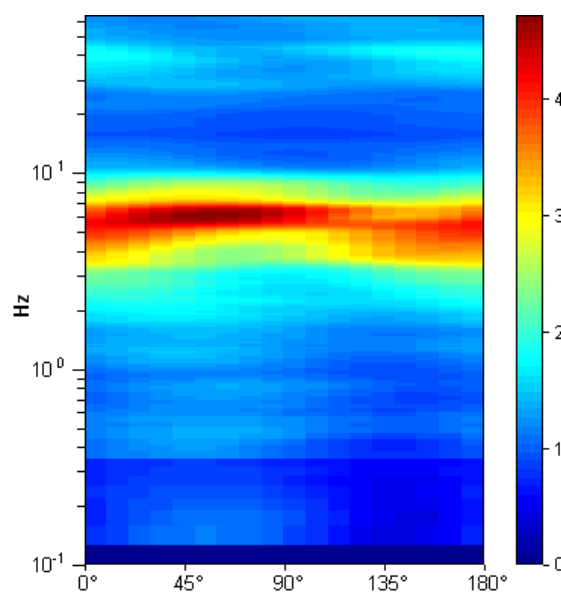
Max. H/V at 5.63 ± 0.09 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



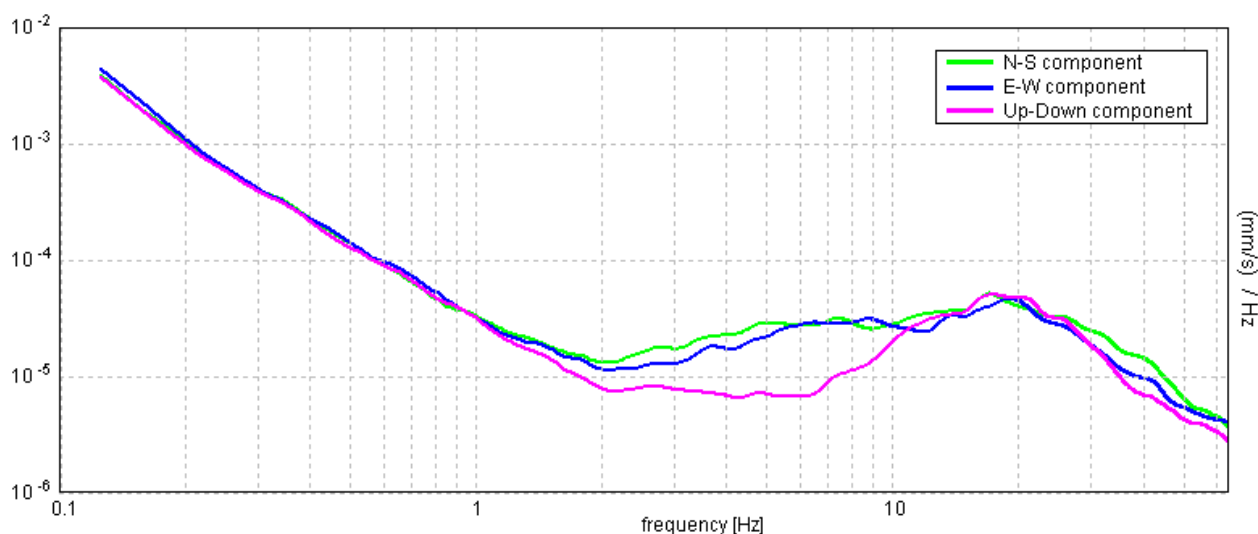
SERIE TEMPORALE H/V



DIREZIONALITA' H/V



SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



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

**Picco H/V a  $5.63 \pm 0.09$  Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).**

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

[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

$f_0 > 10 / L_w$	$5.63 > 0.50$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$6300.0 > 200$	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Superato 0 volte su 271	OK	

**Criteri per un picco H/V chiaro**

[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

Esiste $f^-$ in $[f_0/4, f_0]$   $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	3.094 Hz	OK	
Esiste $f^+$ in $[f_0, 4f_0]$   $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	9.094 Hz	OK	
$A_0 > 2$	$4.12 > 2$	OK	
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.00784  < 0.05$	OK	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.04408 < 0.28125$	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.5161 < 1.58$	OK	

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

Valori di soglia per  $\sigma_f$  e  $\sigma_A(f_0)$

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

## INDAGINE SISMICA HVSR - 036032P3

Ubicazione: Polinago, frana est, parte superiore

Strumento: TRZ-0162/01-11

Inizio registrazione: 19/06/13 11:13:16 Fine registrazione: 19/06/13 11:33:16

Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

Dato GPS non disponibile

Durata registrazione: 0h20'00". Analizzato 72% tracciato (selezione manuale)

Freq. campionamento: 128 Hz

Lunghezza finestre: 20 s

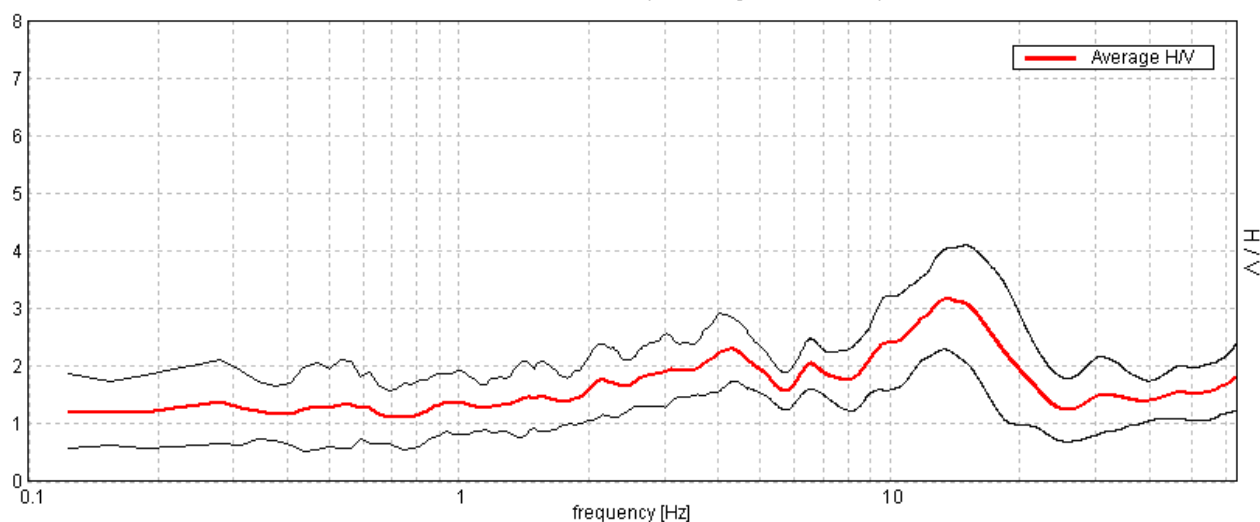
Tipo di lisciamento: Triangular window

Lisciamento: 10%

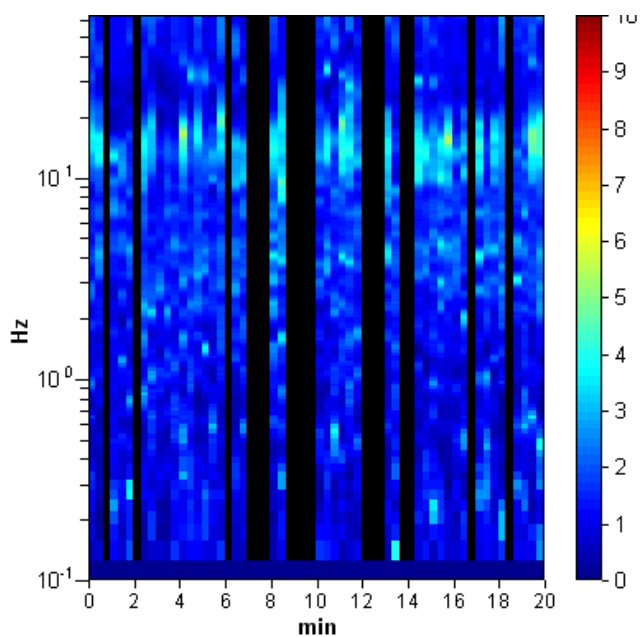
Tabella 1

### RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE

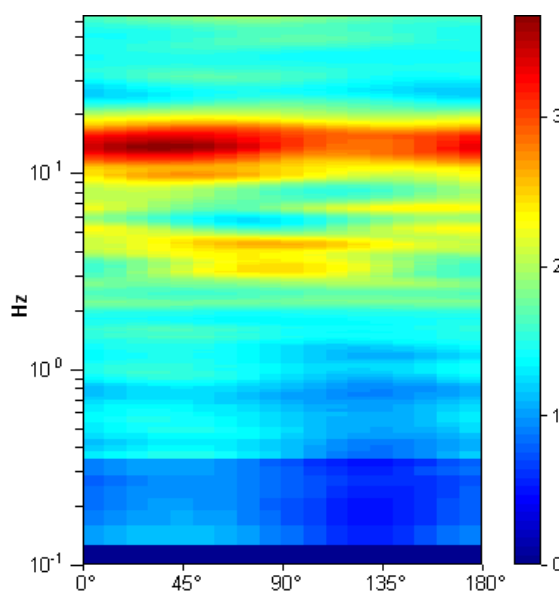
Max. H/V at  $13.63 \pm 0.19$  Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



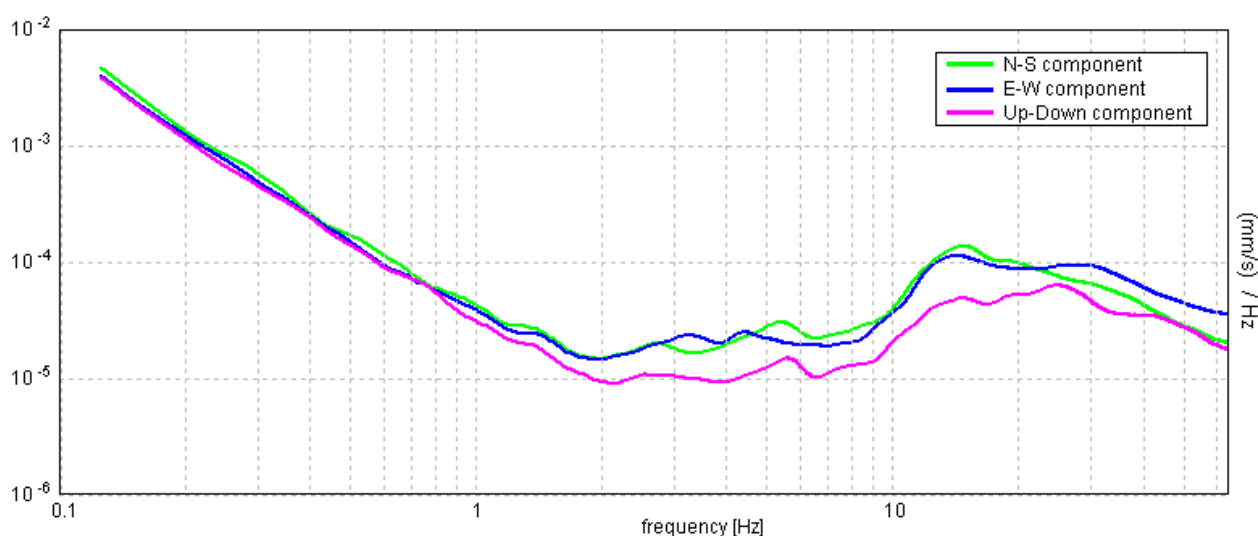
SERIE TEMPORALE H/V



DIREZIONALITA' H/V



SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



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

**Picco H/V a 13.63 ± 0.19 Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).**

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

[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

$f_0 > 10 / L_w$	13.63 > 0.50	OK	
$n_c(f_0) > 200$	11717.5 > 200	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Superato 0 volte su 655	OK	

**Criteri per un picco H/V chiaro**

[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

Esiste $f^-$ in $[f_0/4, f_0]$   $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	5.813 Hz	OK	
Esiste $f^+$ in $[f_0, 4f_0]$   $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	22.188 Hz	OK	
$A_0 > 2$	3.17 > 2	OK	
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.007  < 0.05$	OK	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.09533 < 0.68125$	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.4342 < 1.58$	OK	

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

Valori di soglia per  $\sigma_f$  e  $\sigma_A(f_0)$

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



## INDAGINE SISMICA HVSR - 036032P4

Ubicazione: Polinago, frana ovest, parte superiore

Strumento: TRZ-0162/01-11

Inizio registrazione: 19/06/13 10:34:53 Fine registrazione: 19/06/13 10:54:53

Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

Dato GPS non disponibile

Durata registrazione: 0h20'00".

Analizzato 83% tracciato (selezione manuale)

Freq. campionamento: 128 Hz

Lunghezza finestre: 20 s

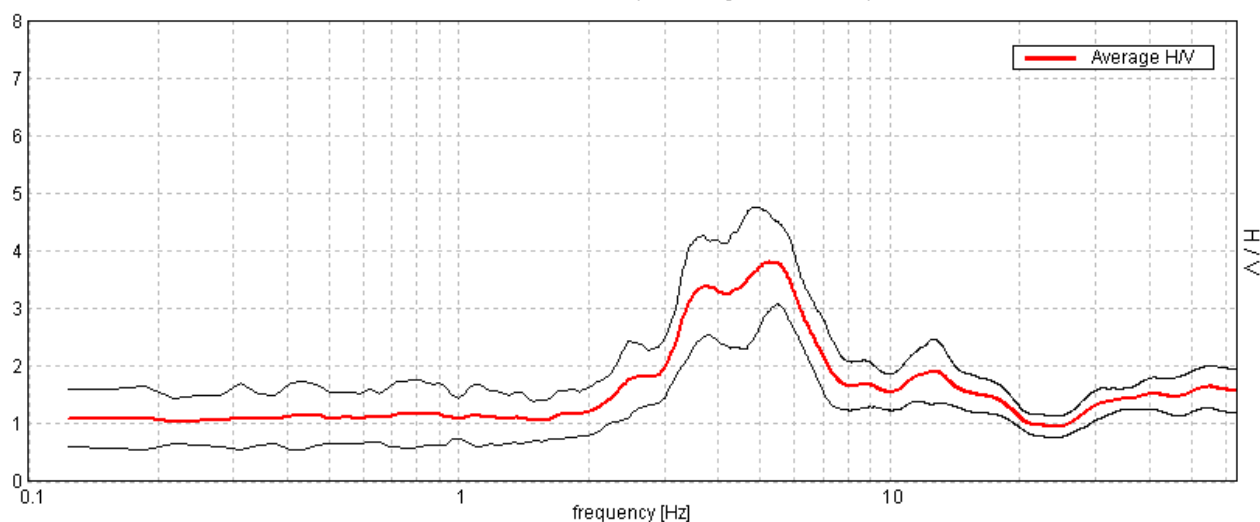
Tipo di lisciamento: Triangular window

Lisciamento: 10%

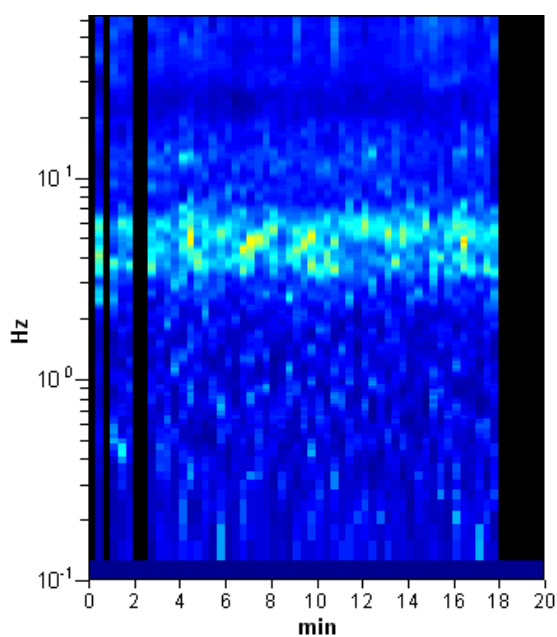
Tabella 1

### RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE

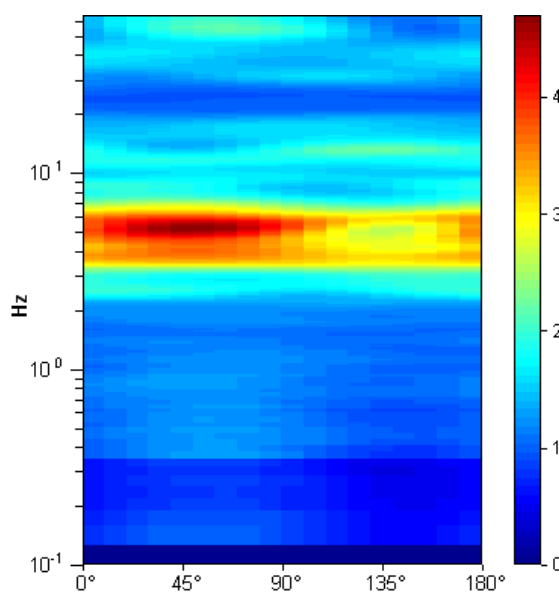
Max. H/V at  $5.22 \pm 0.2$  Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



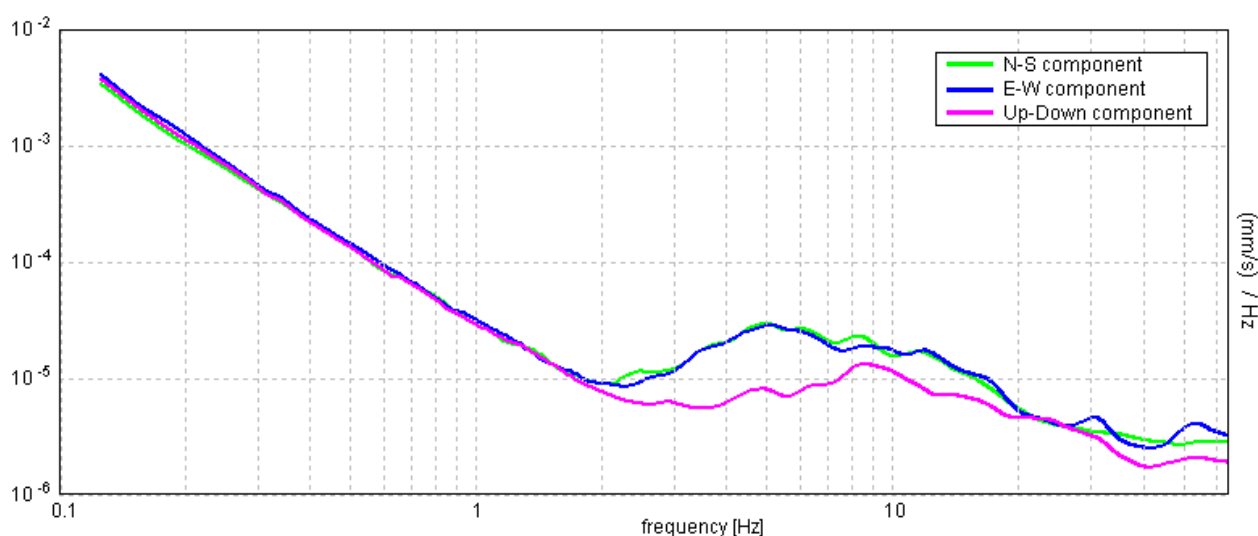
SERIE TEMPORALE H/V



DIREZIONALITA' H/V



SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



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

**Picco H/V a 5.22 ± 0.2 Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).**

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

[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

$f_0 > 10 / L_w$	5.22 > 0.50	OK	
$n_c(f_0) > 200$	5218.8 > 200	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Superato 0 volte su 252	OK	

**Criteri per un picco H/V chiaro**

[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

Esiste $f^-$ in $[f_0/4, f_0]$   $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	2.938 Hz	OK	
Esiste $f^+$ in $[f_0, 4f_0]$   $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	7.344 Hz	OK	
$A_0 > 2$	3.80 > 2	OK	
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.01908  < 0.05$	OK	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	0.09959 < 0.26094	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	0.4248 < 1.58	OK	

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

Valori di soglia per  $\sigma_f$  e  $\sigma_A(f_0)$

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

## INDAGINE SISMICA HVSR - 036032P5

Ubicazione: Polinago, frana est, parte media/superiore

Strumento: TRZ-0162/01-11

Inizio registrazione: 25/07/13 11:29:29 Fine registrazione: 25/07/13 11:49:29

Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

Dato GPS non disponibile

Durata registrazione: 0h20'00".

Analizzato 90% tracciato (selezione manuale)

Freq. campionamento: 128 Hz

Lunghezza finestre: 20 s

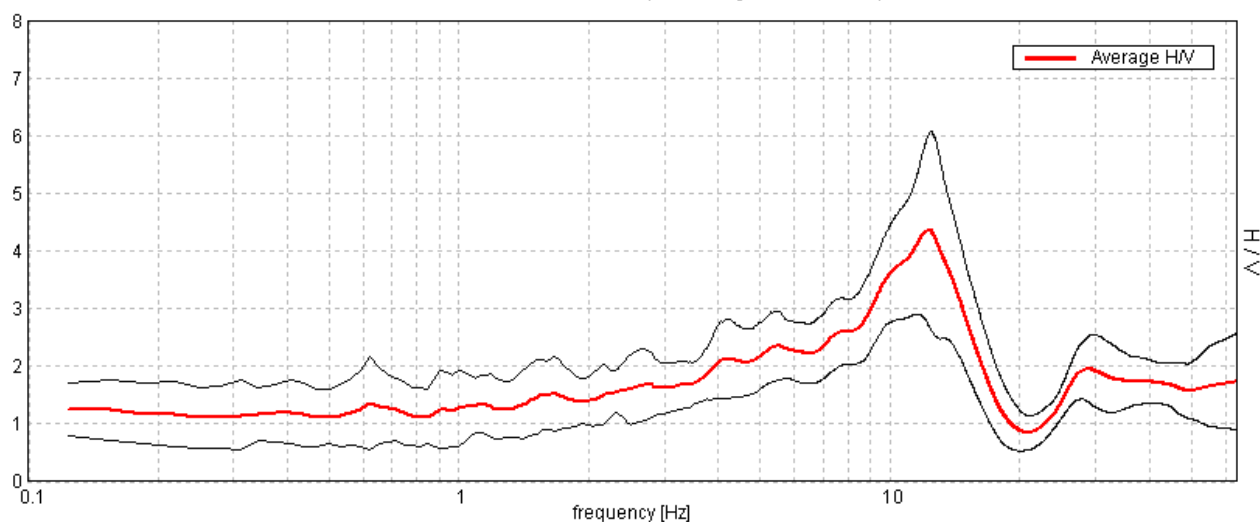
Tipo di lisciamento: Triangular window

Lisciamento: 10%

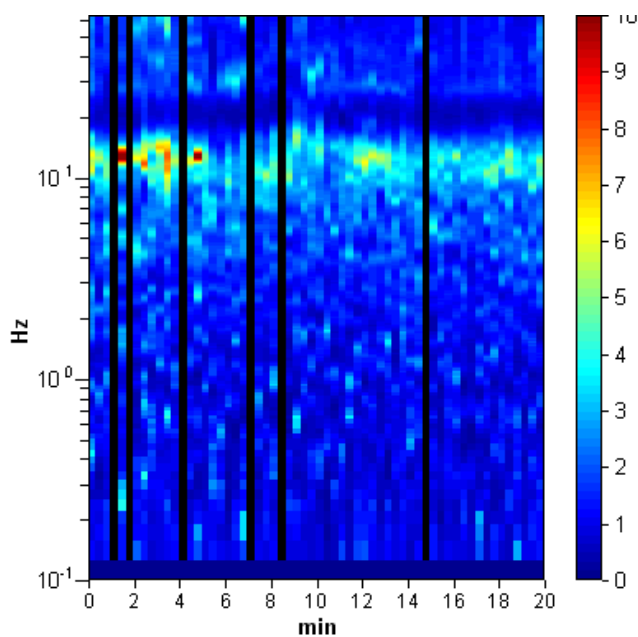
Tabella 1

### RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE

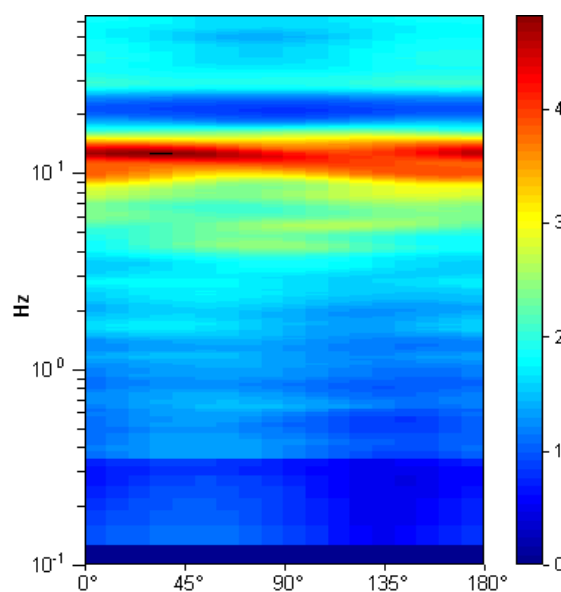
Max. H/V at  $12.34 \pm 0.02$  Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



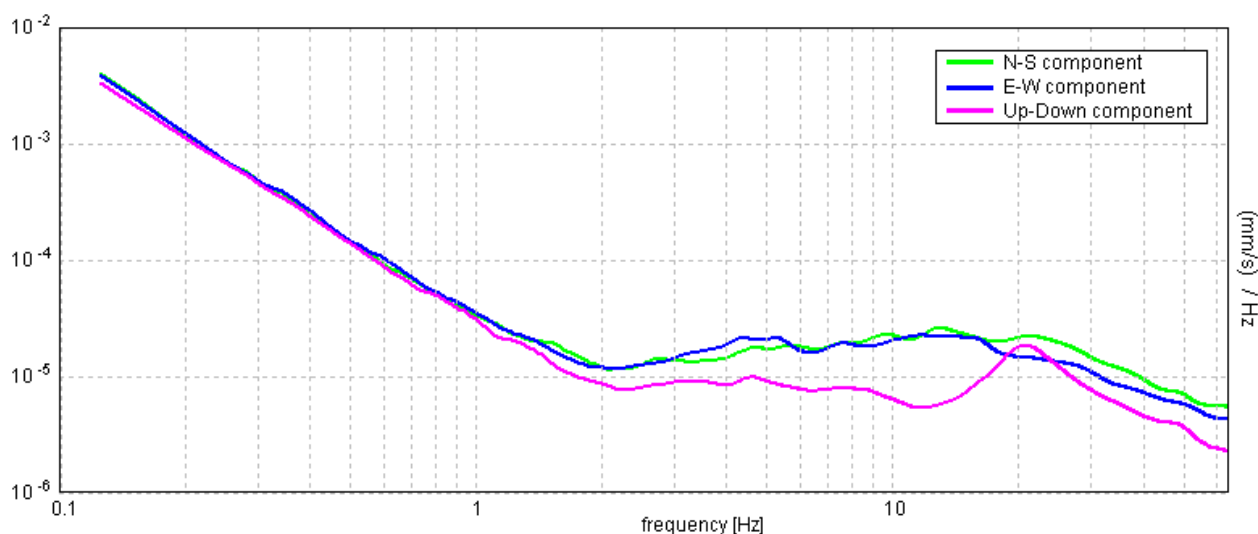
SERIE TEMPORALE H/V



DIREZIONALITA' H/V



SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



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

**Picco H/V a  $12.34 \pm 0.02$  Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).**

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

[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

$f_0 > 10 / L_w$	$12.34 > 0.50$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$13331.3 > 200$	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Superato 0 volte su 594	OK	

**Criteri per un picco H/V chiaro**

[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

Esiste $f^-$ in $[f_0/4, f_0]$   $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	4.969 Hz	OK	
Esiste $f^+$ in $[f_0, 4f_0]$   $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	16.125 Hz	OK	
$A_0 > 2$	$4.36 > 2$	OK	
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.00072  < 0.05$	OK	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.00895 < 0.61719$	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.8287 < 1.58$	OK	

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

Valori di soglia per  $\sigma_f$  e  $\sigma_A(f_0)$

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

## INDAGINE SISMICA HVSR - 036032P6

Ubicazione: Polinago, frana est, parte mediana

Strumento: TRZ-0162/01-11

Inizio registrazione: 25/07/13 12:05:19 Fine registrazione: 25/07/13 12:25:20

Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

Dato GPS non disponibile

Durata registrazione: 0h20'00".

Analizzato 82% tracciato (selezione manuale)

Freq. campionamento: 128 Hz

Lunghezza finestre: 20 s

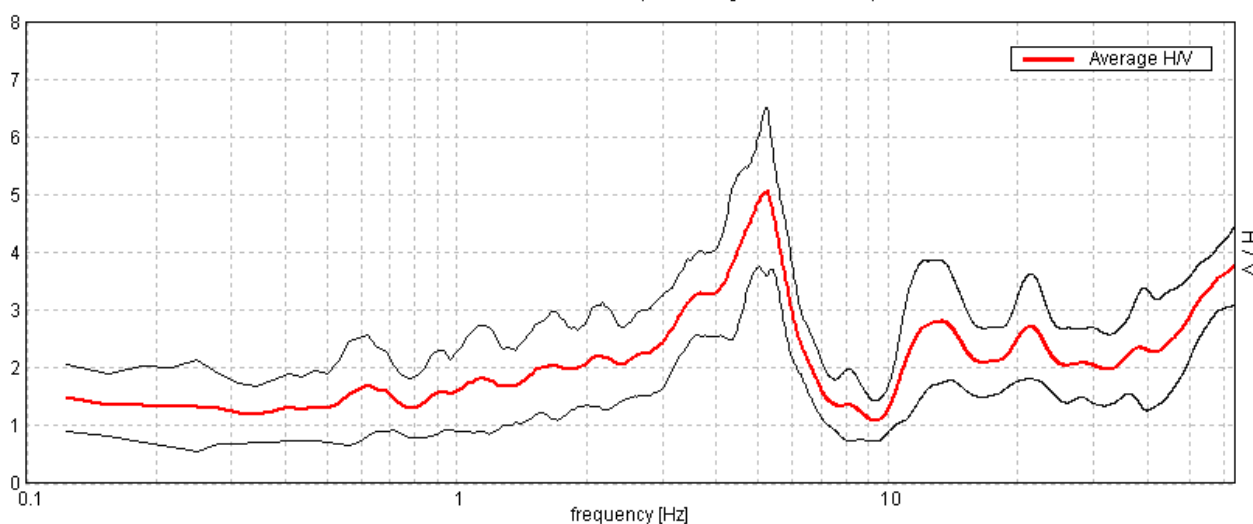
Tipo di lisciamento: Triangular window

Lisciamento: 10%

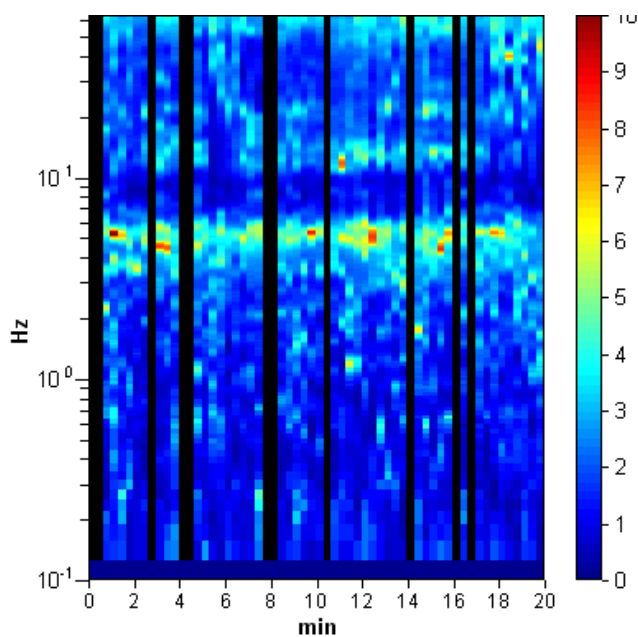
Tabella 1

### RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE

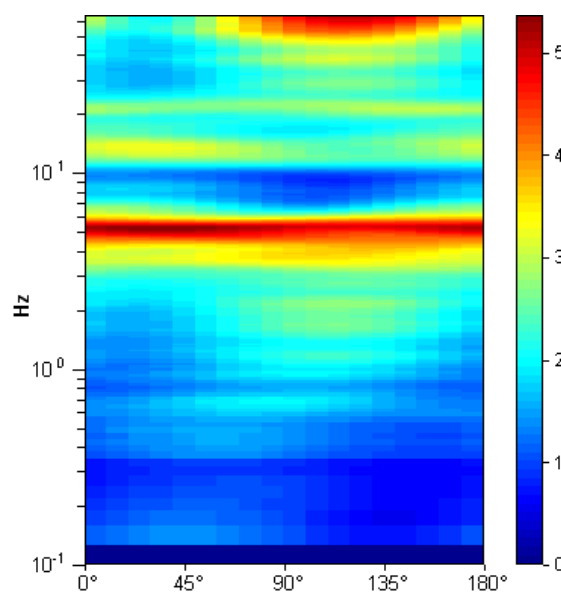
Max. H/V at  $5.22 \pm 0.13$  Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



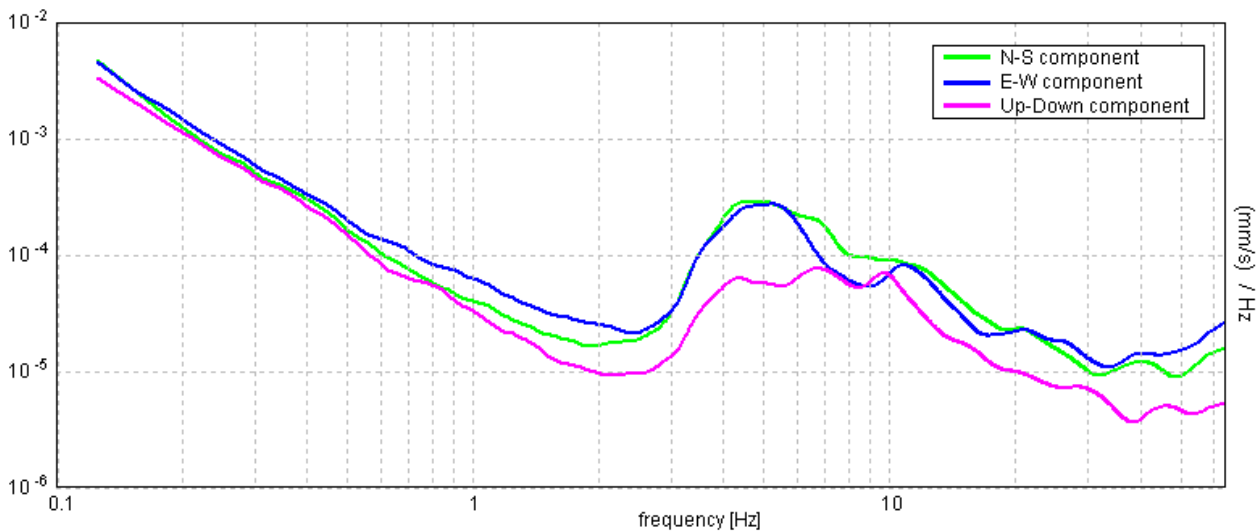
SERIE TEMPORALE H/V



DIREZIONALITA' H/V



SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



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

**Picco H/V a  $5.22 \pm 0.13$  Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).**

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

[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

$f_0 > 10 / L_w$	$5.22 > 0.50$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$5114.4 > 200$	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5$ Hz $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5$ Hz	Superato 0 volte su 252	OK	

**Criteri per un picco H/V chiaro**

[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

Esiste $f^-$ in $[f_0/4, f_0]$   $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	3.063 Hz	OK	
Esiste $f^+$ in $[f_0, 4f_0]$   $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	6.25 Hz	OK	
$A_0 > 2$	$5.06 > 2$	OK	
$f_{picco}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.01188  < 0.05$	OK	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.06198 < 0.26094$	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.7156 < 1.58$	OK	

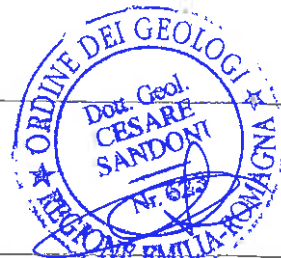
$L_w$	lunghezza della finestra
$n_w$	numero di finestre usate nell'analisi
$n_c = L_w n_w f_0$	numero di cicli significativi
$f$	frequenza attuale
$f_0$	frequenza del picco H/V
$\sigma_f$	deviazione standard della frequenza del picco H/V
$\varepsilon(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità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

Valori di soglia per  $\sigma_f$  e  $\sigma_A(f_0)$

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

## **ALLEGATO - 3 -**

### **SONDAGGI A CAROTAGGIO CONTINUO**



Committente.. : Roncaccioli Angela  
 Cantiere..... : Via Antonio Cabri - Polinago  
 Indagine ..... : Stabilità versante

Sondaggio ..... : N.1  
 Quota..... : mt.840 s.l.m.  
 Data..... : 27.04.05  
 Responsabile.. : Dr.Sandoni  
 Operatore..... :

Scala	Litologia	Descrizione	Spessore	% di Carotaggio					S.P.T.	P.T.	V.T.	Campioni	Liv. di Falda
				0	20	40	60	80					
1		Limo argilloso sabbioso di colore marrognolo, a media consistenza e umidità.	1.00							1,20	0,60		
		Molassa grigio chiara (trovante).	1.00										
2		Sabbia limosa marrognola a media umidità con venature grigio verdastre a partire da mt.2,80.	2.10							1,10		2,00	
		Inclusi piccoli dasti. Locali inclusioni sabbiose giallastre per alterazione. Oltre mt.3,20 si passa ad una sabbia più addensata e localmente a debole cementazione di colore marrognolo scuro.								1,20		2,20	
3			2.10							1,80			
										>4,0			
4		Argilla sabbiosa grigio marrognola a media umidità con locali inclusioni sabbiose.	0.50										
		Arenaria fine ben cementata di colore grigio chiaro.	1.20										
5			1.20										
6		Pelite grigia a media consolidazione con interstrato molassico grigio nell'intervallo di mt.6,30-6,40.	1.00										
7		Molassa a grana fine e a debole cementazione (quasi allo stato sciolto) di colore grigio e livelletto pelitico sabbioso con struttura fogliettata nell'intervallo di mt.7,8-8,0.	1.20										
									2,00				
8		Arenaria fine ben cementata di colore grigio chiaro con interstrato molassico nell'intervallo di mt.8,4-8,6 con locali inclusioni giallastre.	0.70										
9		Molassa grigia a debole cementazione con inclusioni giallastre per alterazione e interstrato arenaceo fine ben cementato nell'intervallo di mt.9,8-10,0.	2.00							2,00			9,00
10			0.30										
11		Pelite grigio nerastra a luoghi sovraconsolidata e localmente in stato di lieve alterazione.	0.80										
12		Arenaria fine ben cementata di colore grigio chiaro con interstrato a medio debole cementazione (tipo molassa) nell'intervallo di mt.13,1-13,2.	1.50										
13		Pelite grigio nerastra sovraconsolidata a struttura fogliettata molto sottile.	0.40										
		Arenaria fine ben cementata di colore grigio chiaro con interstrato pelitico grigio nerastro nell'intervallo di mt.14.5-14.7.	1.30										
14													
15													

Note: Foro di sondaggio attrezzato con tubo inclinometrico in alluminio diametro mm.75 tipo SIS a 4 gole.  
 Campioni: S-Pareti Sottili, O-Osterberg, M-Mazier, R-Rimaneggiato , Rs-Rimaneggiato da SPT  
 Piezometro: ATA-Tubo Aperto, CSG-Casagrande  
 Perforazione: CS-Carotiere Semplice, CD-Carotiere Doppio, EC-Elca Continua  
 Stabilizzazione: RM-Rivestimento Metallico, FB-Fanghi Bentonitici  
 Prove SPT: PA-Punta Aperta, PC-Punta Chiusa  
 Carotaggio: Continuo





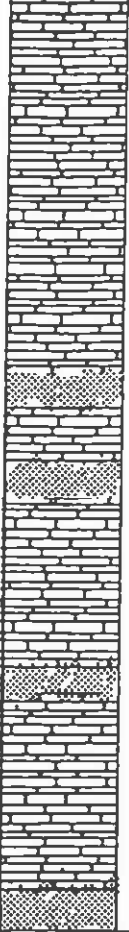

Quota inizio: p.c.

Tipo avanzamento: Carotaggio continuo

Data: 09-13/06/88

COMMITTENTE Regione Emilia Romagna

LOCALITÀ c/o Consorzio di Polinago  
(MODENA)

Cota (m)	L. Litologia L. Litologia litografica	DESCRIZIONE TERRENI	OSSERVAZIONI	P.F. Kg/cm <sup>3</sup>	T <sub>0</sub> var Kg/cm <sup>3</sup>
0,5		Massicciata stradale			
1,2		Limo sabbioso nocciola chiaro con inclusi, medio umido, con alte- razioni	razioni	0,8	0,25
13,5		Materiale eterogeneo costituito da caotiche intercalazioni di calcari arenacei molto fratturati con venature di calcite ed in livelli di 1,5-2 mt, argilliti-marne scure asciutte e consistenti con spessori di 30-50 cm, sfaticcio di arenaria giallastro e alterato con spessori anche di 1 mt in corrispondenza del quale frana il foro di perforazione e sparisce il fluido dal doppio carotiere; questi livelli di deflusso delle acque sotterranee sono alle quote di -6,7, -7,8, -10,5 e -13 mt dal p.c.. L'R.Q.D. risulta sempre inferiore al 10%.			
20,0		Dopo 30 cm di breccie arenacee passiamo a ritmiche intercalazioni di arenarie chiare con venature di calcite e fratturate, argilliti e marne scure asciutte; i calcari arenacei presentano spessori superiori al mt, mentre le marne e le argilliti non superano i 50 cm; non sono stati riscontrati livelli preferenziali di deflusso delle acque di perforazione né problemi connessi al franamento del foro; è presente comunque calcite in venature e cristalli, spalmature di ossidazioni e l'R.Q.D si mantiene sempre relativamente basso			
		OSSERVAZIONI : sono presenti numerosi livelli preferenziali di deflusso delle acque sotterranee nei primi -13,5 mt dal p.c.. NOTE : è stato posizionato un inclinometro a -15 mt dal p.c..			



SOND5

SONDAGGIO N 2

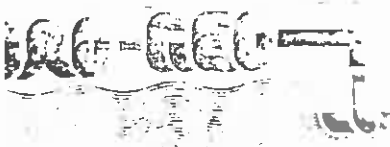
SEZIONE GEOTECNICA

Quota inizio: p.c.

Tipo avanzamento: Carotaggio continuo

Data: 15-17/06/88

COMMITTENTE: Regione Emilia Romagna		LOCALITA: a lato del distributore Polinago (MODENA)				
Profondità (mt)	Idrologia	Colonna stratigrafica	DESCRIZIONI TERREN	OSSERVAZIONI	P.P. Kg/cm <sup>2</sup>	Tor. van. Kg/cm <sup>2</sup>
0.4			Massicciata stradale			
			Limo prevalentemente sabbioso con frammenti di mattoni, inclusi organici; oltre i -2.5 mt la matrice diviene prevalentemente argillosa di colore grigio-azzurro; l'umidità è media	trovanti calc-arenacei, frammenti di mattoni, inclusi organici; oltre i -2.5 mt la matrice diviene prevalentemente argillosa di colore grigio-azzurro; l'umidità è media	1.4 3 1.8	0.35 0.75 0.4
4.5			Inizia con un livelletto di 30 cm di limo nocciola bagnato inglobante breccie arenacee, oltre cui calcari arenacei chiari e fratturati scure e consistenti in livelli di spessore al 25%.	di limo nocciola bagnato inglobante breccie arenacee, oltre cui calcari arenacei chiari e fratturati scure e consistenti in livelli di spessore anche 2 mt, e argilliti spessi anche 2 mt, e argilliti scure e consistenti in livelli di spessore 50-80 cm; l'RQD rimane inferiore al 25%.		
8.1			Limo sabbioso con frammenti arenacei alterati, molto umido, color terra; frana il foro e sparisce il fluido di perforazione.			
8.5			Intercalazioni di argilliti-marne scure e consistenti in livelli di 1-1.5 mt, e calcari arenacei di colore chiaro e poco alterati RQD a 9.5-10.5 mt=100%			
12.5			Breccie marnose scure in matrice limosa nocciola bagnata; frana il foro.			
13.3			Intercalazioni di calcari arenacei inizialmente fratturati ed alterati poi più consistenti e con poca calcite, e livelli argillitico-marnosi scuri; gli spessori sono intorno al metro e l'RQD si mantiene normalmente superiore al 90%. Va fatta una osservazione relativamente ad un livelletto di 0.8 mt ricco d'acqua e fratturato, alla quota di -17 mt dal p.c., oltre il quale riprende la classica successione sopra illustrata			
20.0			OSSERVAZIONI : Livelli allentati sono riscontrabili a -4.5, -8.5, -13 e -17 mt dal p.c.. NOTE : Sono stati posizionati un piezometro di tipo Casagrande a -17.0 mt ed un piezometro di tipo Norton a -13 mt con filtrante fino a -8 mt dal p.c.			



SOND6

SONDAGGIO N 3

SEZIONE GEOTECNICA

Quota iniziale p.c.  
Tipo avanzamento: Carotaggio continuo  
Data: 20-21/06/88

COMMITTENTE Regione Emilia Romagna LOCALITA' Sopra il parco (Polinago) MODENA

Profondità (m)	Colonna litologica	DESCRIZIONE TERRENI	OSSERVAZIONI	P.P. Kg/cm <sup>3</sup>	Tor. umid. Kg/cm <sup>3</sup>
0.2		Copertura vegetale		2.0	0.75
		Limo nocciola, inizialmente consistente, poi verso -1.8 mt ricco in sabbia ed umido; sotto -2.1 mt nuovamente consistente e prevalentemente argilloso		1.0	0.45
				0.8	0.35
				1.5	0.7
2.6		<p>Intercalazioni di arenarie chiare a grana variabile in livelli spessi circa 1 mt, marne ed argilliti prevalentemente scure e spesse 30-50 cm; sono presenti spalmature rossastre ed alcuni riempimenti di fratture con materiale argilloso scuro o breccette di arenaria giallastra sfatta. Si riportano alcuni valori dell'RQD:</p> <p>RQD da -3 a -4 mt=100%  " " -5 a -6 mt= 90%  " " -6 a -8 mt= 65%  " " -8 a -9 mt= 87%  " " -9 a -12 mt=100%  " " -12 a -13 mt=58%  " " -13 a -15 mt=50%  " " oltre -15 mt=50-65%</p>			
20.0		<p>OSSERVAZIONI : è stato rilevato un unico livello allentato di 30 cm di spessore a -1.8 mt dal p.c.  NOTE : è stato posizionato un inclinometro a -15 mt dal p.c.</p>			

Quota iniziale P.C.

Tipo avanzamento Carotaggio continuo

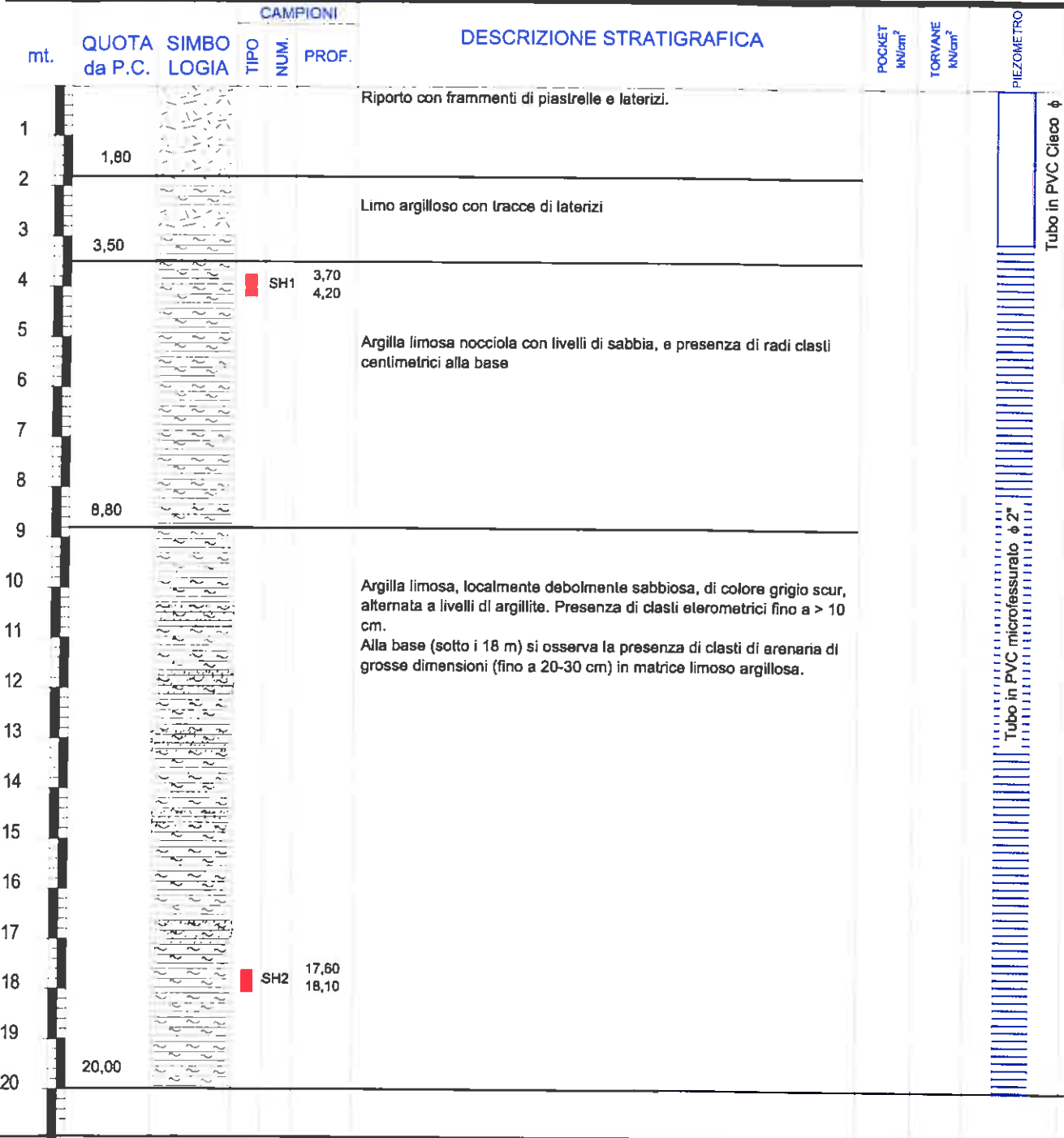
Data 22-23/06/88

COMMITTENTI Regione Emilia Romagna

LOCALITA Casetta isolata sotto magazzino  
edile (Polinago) MODENA

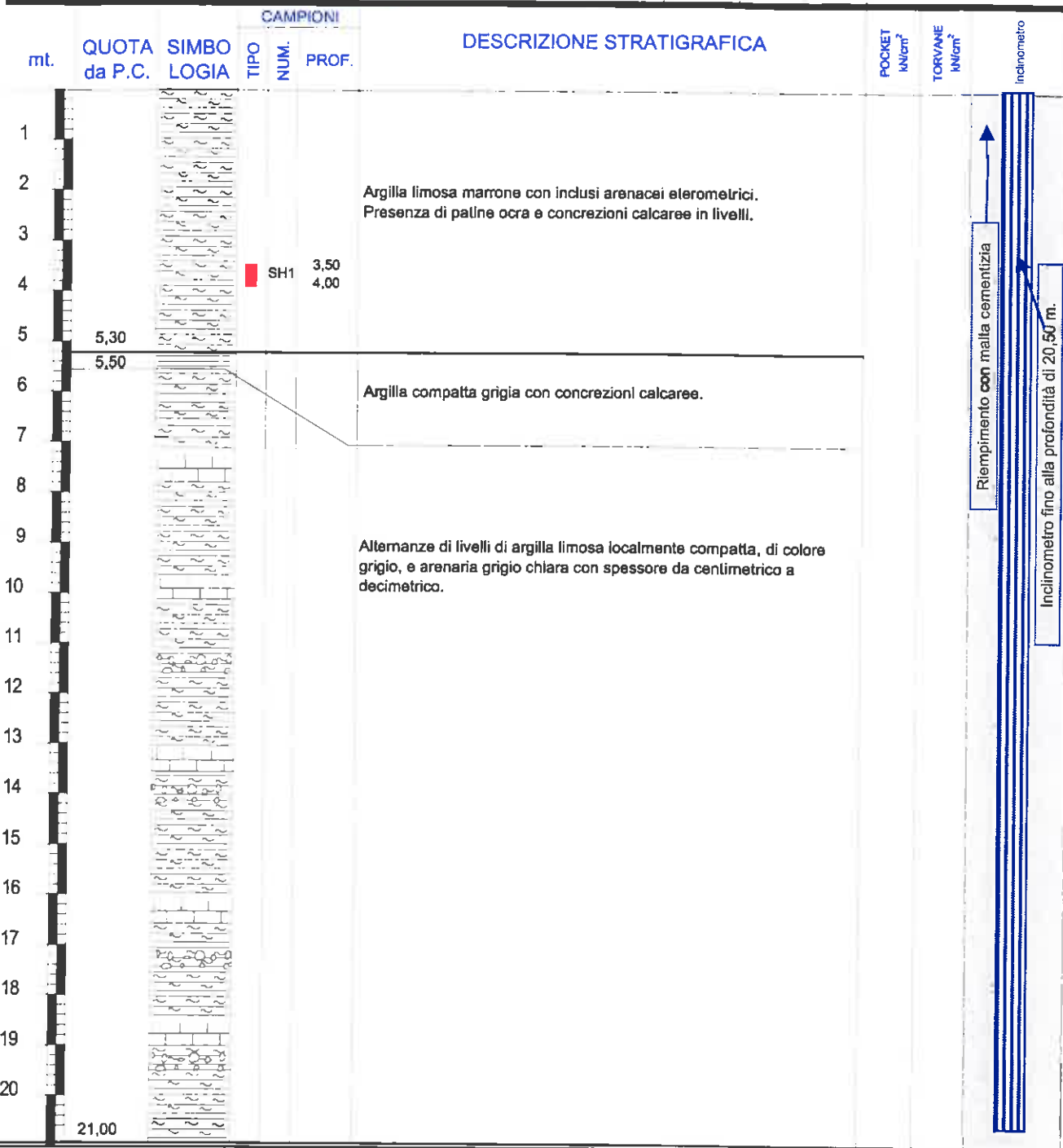
Profondità (m)	Colorazione litologica	DESCRIZIONE TERRENO	OSSERVAZIONI	PP Kg/cm <sup>3</sup>	Tor var Kg/cm <sup>3</sup>
1.5		Materiale misto costituito da copertura vegetale, riporto e massicciata dello stradello			
2.1		Trovante arenaceo a grana grossa, colore giallastro, tenero		1.3	0.6
3.5		Limo sabbioso giallo nocciola, inizialmente consistente poi umido con frammenti arenacei giallastri		0.6	0.15
3.9		Trovante arenaceo consistente e chiaro			
6.3		Argilla consistente, asciutta, colore variabile dal bruno allo scuro, con inclusi arenacei anche di 20 cm di diametro; la consistenza aumenta con la profondità		1.5	0.6
8.0		Arenaria a grana grossolana con alterazioni ed ossidazioni rossastre; l'RQD è inferiore sempre al 10% ed esiste un livello particolarmente fratturato ed in corrispondenza del quale frana il foro di perforazione alla quota di -6.70 mt			
8.5		Limo argilloso scuro con brecce arenacee alterate, bagnato e frana il foro			
9.3		Trovante arenaceo fratturato, chiaro			
9.5		Limo sabbioso giallastro con brecce arenacee e bagnato			
13.5		Alternanze di arenarie fratturate giallastre con venature di calcite e spessore sui 50 cm, marne ed argilliti scure e consistenti con spessori di 20-40 cm; l'RQD è sempre inferiore al 28%			
14.0		Livello allentato con franamento del foro e grossa venuta di acqua in superficie, costituito da brecchette arenacee e marnose alterate			
20.0		Alternanze di arenarie chiare a grana medio fine ed in spessori di circa un metro, marne ed argilliti scure ed asciutte con potenza sui 50 cm; l'RQD è basso e non superiore al 40%			
		OSSERVAZIONI : vari livelli allentati per i primi 14 mt dal p.c. NOTE : è stato posizionato un piezometro Casagrande a -13.5 mt dal p.c.			

<b>SONDAGGI GEOGNOSTICI</b> via Calvino, 30 44100 FERRARA tel. 0532 773136 E-mail: info@songeo.it www.songeo.it	<b>SRL</b>	<b>DATA ESECUZIONE</b> DAL 27/09/06 AL 28/09/06	<b>METODO PERFOR.</b> CAROTAGGIO CONTINUO	<b>SONDAGGIO</b> N. S 1
		<b>QUOTA</b> p.c.	<b>ATTREZZI:</b> Carotiere semplice diam 101 mm Rivestimento metallico diam 127 mm	<b>SONDA IDRAULICA</b> CMV MK 420/ TR 600 montata su cingoli
<b>COMMITTENTE</b> Impresa Zaccaria <b>LOCALITA'</b> Polinago (MO)			<b>Piezometro</b> Piezometro fino alla profondità di 20 m; fessurato da 3 a -20	<b>ASSISTENTI</b> S. Carraro <b>OPERATORI</b> G. Rossi
<b>NOTE</b>	<b>CAMPIONI</b> ○ CAROTIERE SEMPLICE ● SPT ■ INDISTURBATI	<b>LIVELLO ACQUA</b> DATA MT. dal P.C.	<b>PROF. FORO</b> 20,00	<b>PROF. RIVEST.</b> 15,00



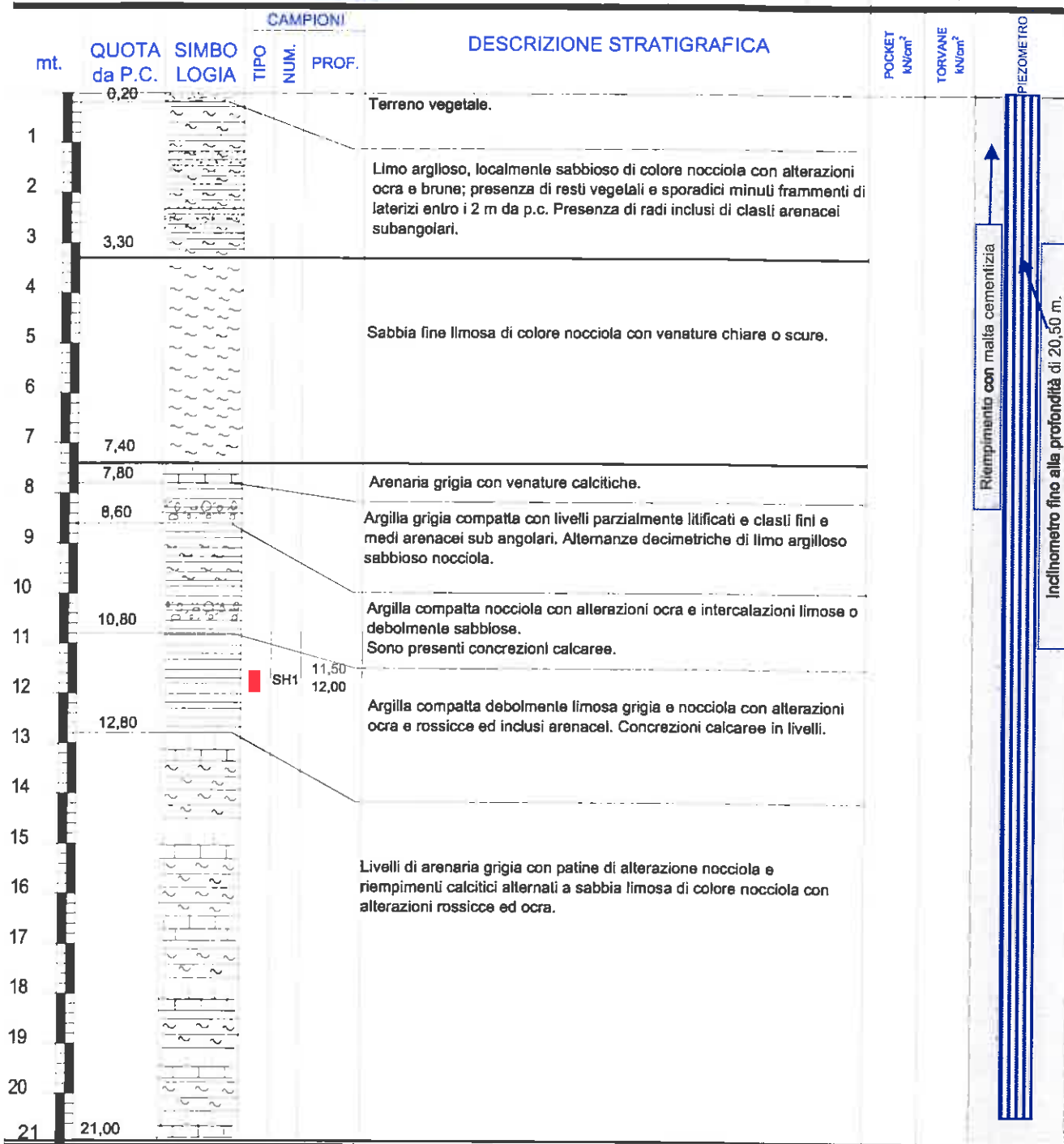
<b>scheda n°</b>	1	<b>data</b>		<b>COMMESSA</b>	Indagini geologiche in località Polinago (MO) - versante Sud	
<b>Procedure di riferimento</b>	ASTM D 2488-2000; AGI 1977		<b>RIF. CONTRATTO</b>			
<b>elaborazione</b>	<b>responsabili</b>	<b>revisione</b>	<b>inizio lavori</b>	27-set-06	<b>fine lavori</b>	28-set-06
<b>verifica</b>	Dott. Sandro Carraro	0	responsabile cantiere	Dott. Renato Sacchetti		
	Dott. Renato Sacchetti		dirazione lavori			
<b>SPERIMENTATORE</b>			<b>DIRETTORE</b>			

<b>SONDAGGI GEOGNOSTICI</b> via Calvino, 30 41100 FERRARA tel. 0532 773136 E-mail: info@songeo.it www.songeo.it	<b>SRL</b>	<b>DATA ESECUZIONE</b> DAL 29/09/06 AL 02/10/06	<b>METODO PERFOR.</b> CAROTTAGGIO CONTINUO	<b>SONDAGGIO</b> N. S2		
	<b>QUOTA</b> p.c.	<b>ATTREZZI:</b> Carotiere semplice diam 101 mm Rivestimento metallico diam 127 mm	<b>SONDA IDRAULICA</b> CMV MK 420/ TR 600 montata su cingoli	<b>Inclinometro</b> Inclinometro fino alla profondità di 20,50 m.		
<b>COMMITENTE</b> Impresa Zaccaria	<b>LOCALITA'</b> Polinago (MO)	<b>CAMPIONI</b> ○ CAROTIERE SEMPLICE ● SPT ■ INDISTURBATI	<b>LIVELLO ACQUA</b> DATA MT dal P.C.	<b>PROF. FORO</b> 21	<b>PROF. RIVEST.</b> 9	<b>ASSISTENTI</b> M. Rinaldo <b>OPERATORI</b> G. Rossi



<b>scheda n°</b>	<b>2</b>	<b>data</b>	<b>COMMESSA</b>	Indagini geologiche in località Polinago (MO) - versante Sud	
Procedure di riferimento	ASTM D 2488-2000; AGI 1977		<b>RIF. CONTRATTO</b>		
<b>elaborazione</b>	<b>responsabili</b>	<b>revisione</b>	inizio lavori	29-set-06	fine lavori
<b>verifica</b>	Dot. Sandro Carraro	0	responsabile cantiera	Dot. Renato Sacchetti	
	Dot. Renato Sacchetti		direzione lavori		
<b>SPERIMENTATORE</b>			<b>DIRETTORE</b>		

<b>SONDAGGI GEONOSTICI</b> via Calvino, 30 44100 FERRARA tel 0532 773136 E mail info@songeo.it www.songeo.it	<b>SRL</b>	DATA ESECUZIONE DAL 03/10/06 AL 04/10/06	METODO PERFOR. CAROTTAGGIO CONTINUO	<b>SONDAGGIO</b> N. S 3
		QUOTA p.c.	ATTREZZI: Carotiere semplice diam 101 mm Rivestimento metallico diam 127 mm	SONDA IDRAULICA CMV MK 420/ TR 600 montata su cingoli
COMMITTENTE Impresa Zaccaria	LOCALITA' Polinago (MO)	Inclinometro Inclinometro fino alla profondità di 20,50 m.		
NOTE	CAMPIONI ○ CAROTIERE SEMPLICE ● SPT ■ INDISTURBATI	LIVELLO ACQUA DATA MT dal P.C.	PROF. FORO 21,00	PROF. RIVEST. 15,00
			ASSISTENTI M. Rinaldo	OPERATORI G. Rosati



<b>scheda n°</b> 3	<b>data</b>	<b>COMMESSA</b> Indagini geologiche in località Polinago (MO) - versante Sud
Procedure di riferimento ASTM D 2488-2000; AGI 1977	RIF. CONTRATTO	
elaborazione Dott. Sandro Carraro	revisione 0	inizio lavori 03-ott-06
verifica Dott. Renato Sacchetti	responsabile cantiere Dott. Renato Sacchetti	fine lavori 04-ott-06
DIREZIONE LAVORI	DIREZIONE LAVORI	
SPERIMENTATORE	DIRETTORE	

AZIENDA CON SISTEMA DI GESTIONE QUALITA'  
UNI EN ISO 9001:2008 CERTIFICATO DA DNV

Autorizzazione del Ministero delle Infrastrutture n. 54953 del 29/05/2006  
esecuzione e certificazione di indagini geognostiche, prelievo di campioni  
e prove in sito art. 59 D.P.R. 380/2001 - Circolare 7619/STC del 08/09/10



Certificato n° 02376 del 11/04/2012	Verbale di accettazione n° 0701 del 26/09/2012	Commessa: 367/11/R
Committente: Regione Emilia Romagna - Serv. Tec. dei Bacini degli Affluenti del Po	Sondaggio: 1	
Riferimento: Polinago (MO)	Data: dal 27/03/12 al 29/03/12	
Coordinate:	Quota:	
Perforazione:		

SCALA 1:82

**STRATIGRAFIA - 1**

Pagina 3/7

Ø (mm)	R (v)	Incl.	metri batt.	LITOLOGIA	prof. m	Spess. m	DESCRIZIONE	RP	VT	DATI TECNICI
					0,5	0,5	Terreno vegetale, nocciola chiaro.			Sondaggio a carotaggio continuo eseguito con Sonda Idrraulica Ellettari EK200S attrezzata con carotiere semplice T1 da 101 mm.  Diametro rivestimento: 127 mm per 25.00 m totali.  Inserito tubo inclinometrico alla profondità di -25.00 m, tipo SIS in alluminio, a 4 gole, diametro 76 mm.  Il Responsabile di sito: Dott. Geol. Emilio Guerzoni  Aiuti Responsabile di sito: Sig. Francesco Tuosto Sig. Abdellah Essahri  Elaborazione grafica della stratigrafia: Dott.ssa Silvia Baraldi
					1,3	0,8	Terreno di riporto costituito da argille limose, nocciola-ocraceo, umido, con frammenti di laterizi.			
					2,0		Argilla limosa, bruna, molto consistente.			
					4,0	2,7	Detrito costituito da frammenti arenacei decementati, nocciola, asciutto.			
					7,5	3,5	Alternanze di livelli argillitici e livelli costituiti da frammenti arenacei, grigi, con alterazioni nocciola.			
					11,0	3,5	Argilliti e peliti, nerastre, sature.			
					12,5	1,5	Argilliti e peliti, grigio-nerastre, con rari blocchi arenacei.			
					15,2	2,7	Arenarie e calcareniti, grigie.			
					16,7	1,5	Argilliti marnose, grigio-nocciola, con frammenti di arenaria fratturata.			
					23,6	6,9	Arenarie e calcareniti, grigie.			
101					25,0	1,4				

Rilievo del livello dell'acqua nel corso della perforazione

Giorno	28/03/12	28/03/12	28/03/12	28/03/12	29/03/12	29/03/12							
Ora	08.30	12.30	13.30	17.30	08.30	12.00							
Livello dell'acqua (m)	5,80	0,30	0,75	assente	1,30	3,30							
Prof. perforazione(m)	10,00	18,00	18,00	24,00	24,00	25,00							
Prof. rivestimento(m)	7,50	13,00	13,00	13,00	13,00	24,00							

Il Responsabile di sito  
Dott. Geol. Emilio Guerzoni

Il Direttore  
Dott. Geol. Pier Luigi Dallari

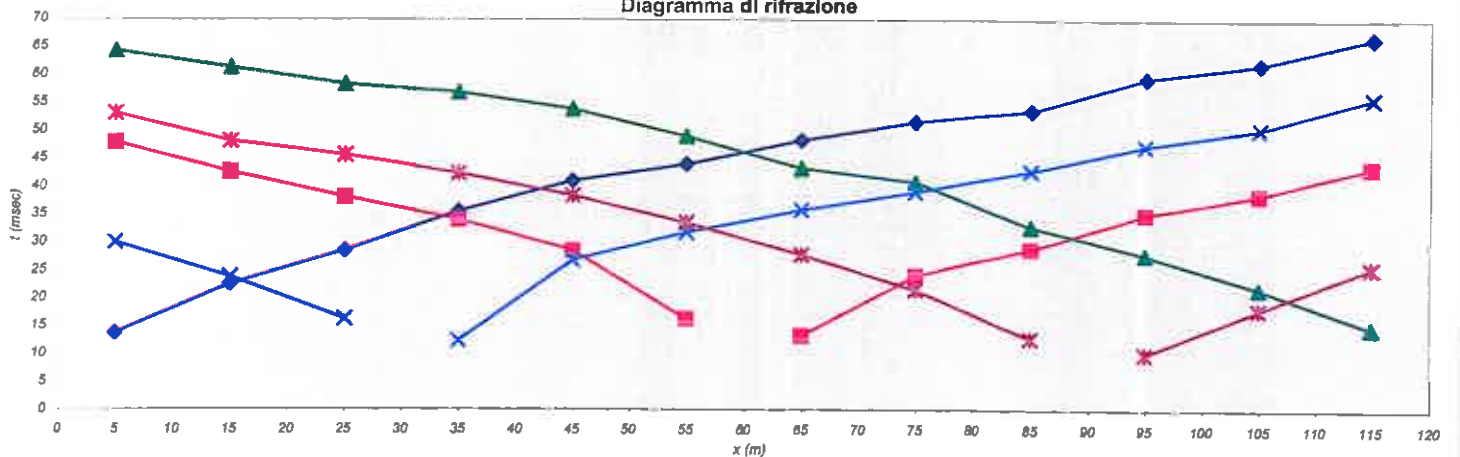


**ALLEGATO - 4 -**

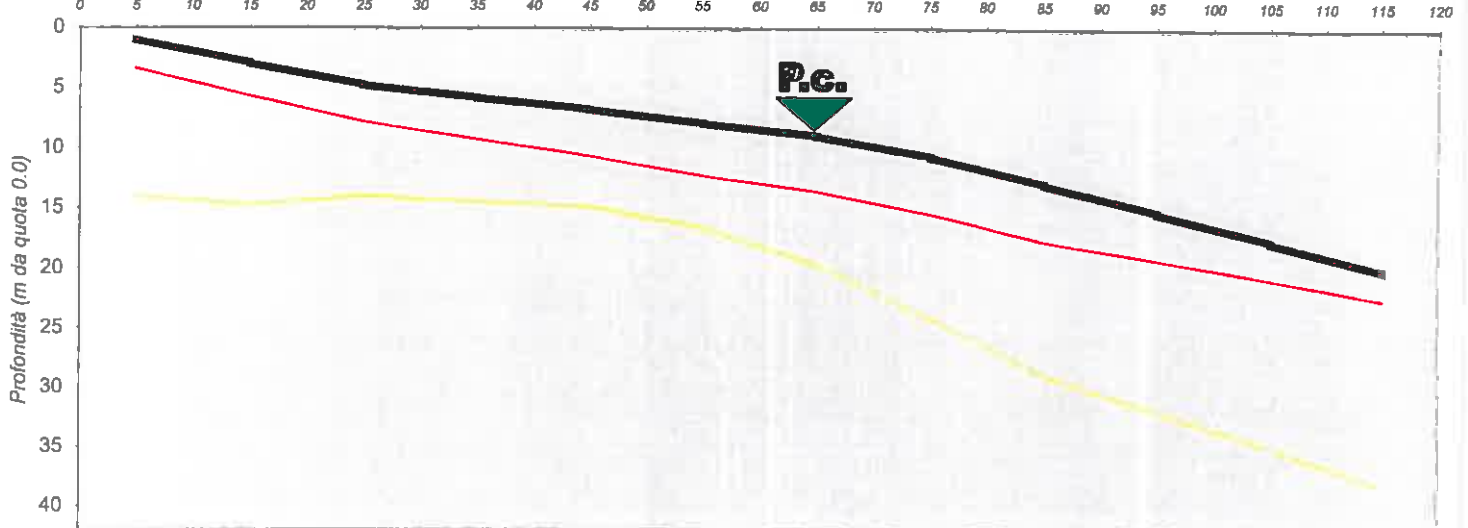
**SISMICA A RIFRAZIONE**

<b>SRL</b> Via Calvino, 30 - 44100 FERRARA Tel. 0532 773136 e-mail: info@songeo.it			<b>Prospezione Sismica di superficie</b> <b>Metodo Rifrazione Multicanale</b>  <b>Base Sismica n° 3 POL</b>				<b>COMMITTENTE:</b> Zaccaria Costruzioni S.r.l. Via Ponticello 154 41055 Montese (MO)									
<b>LAVORO</b> Indagine sismica Polinago			<b>LOCALITA':</b> Polinago (MO)				<b>DATA:</b> Ottobre 2006									
<b>STRUMENTO</b> PASI SG 24			<b>Punti energizzazione</b> Progressiva (m)		x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7					
<b>RICEVITORI:</b> OYO 14Hz			Quota (m slm)		0	30	60	90	120							
					721.50	716.05	713.03	707.50	700.11							
<b>GEOFONI</b> Quota Prog. ass. rel. ml m s.l.m. m			<b>t arrivi</b> (x1) (x2) (x3) (x4) (x5) (x6) (x7)							<b>PROFONDITA' (m da p.c.)</b> 1° rifrattore 2° rifrattore 3° rifrattore			<b>VELOCITA' (m/sec)</b> 1° strato 2° strato 3° strato 4° strato			
5.0	720.5	1.00	13.8	30.0	47.8	53.0	64.3			2.43	13.06		359	1820	2733	
15.0	718.5	2.97	22.5	23.8	42.5	48.0	61.3			2.75	11.81		356	1887	2708	
25.0	716.7	4.82	28.5	16.3	38.0	45.5	58.3			3.06	9.26		383	1911	2716	
35.0	715.6	5.86	35.5	12.3	34.0	42.3	56.8			3.47	8.67		410	1936	2724	
45.0	714.7	6.81	41.0	26.8	28.5	38.3	53.8			3.91	8.13		436	1927	2731	
55.0	713.6	7.93	44.0	31.8	16.3	33.5	49.0			4.38	8.67		478	1900	2739	
65.0	712.5	8.97	48.3	35.8	13.3	27.8	43.3			4.64	10.70		486	1873	2746	
75.0	710.8	10.68	51.5	39.0	24.0	21.5	40.8			4.77	13.48		527	1847	2754	
85.0	708.6	12.93	53.5	42.8	28.8	12.8	32.8			4.74	15.95		486	1853	2762	
95.0	706.3	15.25	59.3	47.3	35.0	10.0	27.8			3.91	16.64		445	1859	2770	
105.0	703.9	17.63	61.8	50.3	38.5	18.0	21.8			3.12	17.32		436	1866	2778	
115.0	701.5	20.03	66.5	55.8	43.5	25.5	14.8			2.35	18.00		436	1866	2778	

Diagramma di rifrazione



Andamento morfologico Rifrattore/profondità

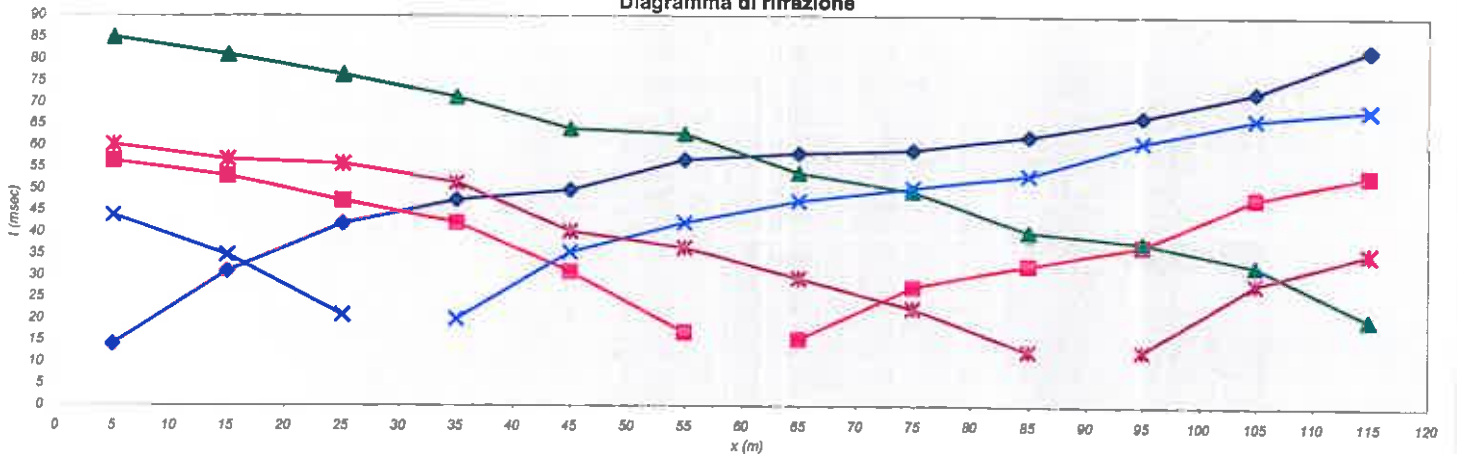


Tiro diretto

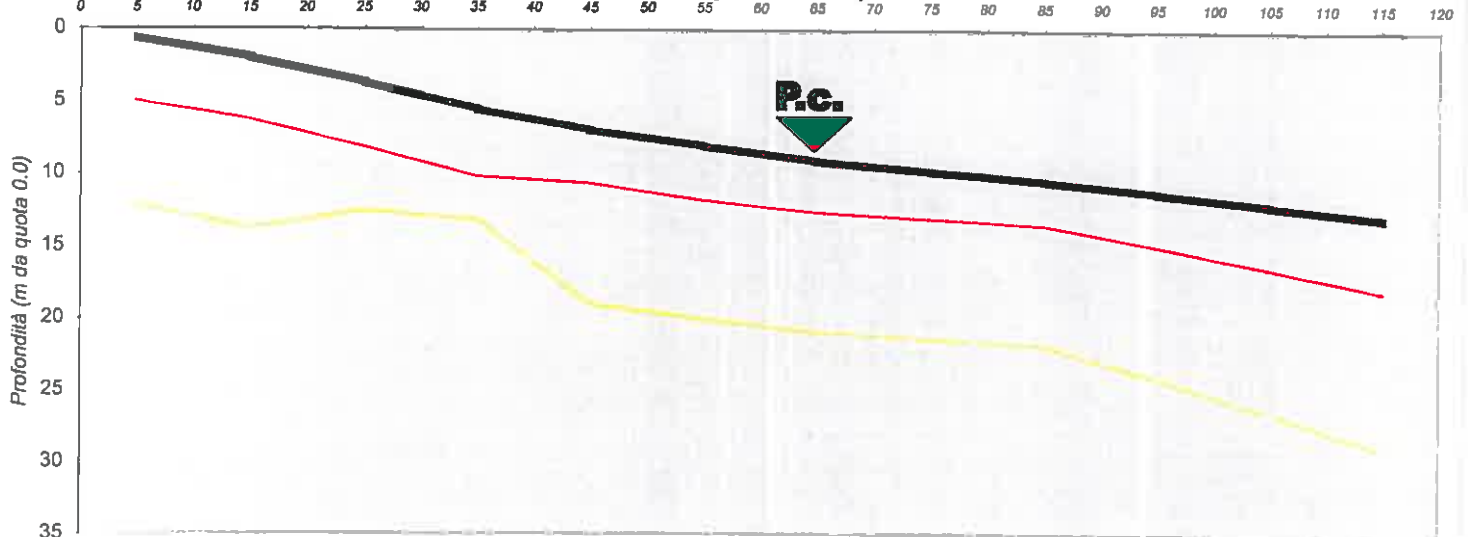
Tiro inverso

<b>SRL</b> Via Calvino, 30 - 44100 FERRARA Tel. 0532 773136 e-mail: info@songeo.it			<b>Prospezione Sismica di superficie</b> <b>Metodo Rifrazione Multicanale</b>  <b>Base Sismica n° 5 POL</b>				<b>COMMITTENTE:</b> Zaccaria Costruzioni S.r.l. Via Ponticello 154 41055 Montese (MO)									
<b>LAVORO</b> Indagine sismica Polinago			LOCALITA': Polinago (MO)				DATA: Ottobre 2006									
STRUMENTO: PASI SG 24			Punti energizzazione		x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7					
RICEVITORI: OYO 14Hz			Progressiva (m)		0	30	60	90	120							
Quota (m.slm)					781.30	776.57	772.77	770.50	767.95							
GEOFONI			t arrivi							PROFONDITA' (m da p.c.)			VELOCITA' (m/sec)			
Prog. ml	Quota ass. m s.l.m.	Quota rel. m	(x1)	(x2)	(x3)	(x4)	(x5)	(x6)	(x7)	1° rifratore	2° rifratore	3° rifratore	1° strato	2° strato	3° strato	4° strato
5.0	780.7	0.65	14.3	44.0	56.5	60.3	85.0			4.29	11.39		338	1520	2257	
15.0	779.3	2.01	31.0	34.8	53.0	56.8	81.0			4.19	11.68		327	1491	2209	
25.0	777.6	3.73	42.0	21.0	47.3	55.8	76.5			4.39	8.77		353	1504	2195	
35.0	775.7	5.56	47.5	20.0	42.3	51.5	71.3			4.61	7.57		379	1504	2208	
45.0	774.3	6.97	49.8	35.5	31.0	40.3	64.0			3.65	11.97		405	1446	2222	
55.0	773.3	8.04	56.8	42.3	17.0	36.5	62.8			3.74	11.95		400	1464	2235	
65.0	772.2	9.09	58.3	47.3	15.5	29.5	53.8			3.49	11.75		395	1482	2248	
75.0	771.5	9.79	59.0	50.3	27.5	22.5	49.5			3.25	11.54		390	1500	2261	
85.0	770.9	10.41	62.3	53.3	32.5	12.8	40.3			3.01	11.33		404	1523	2259	
95.0	770.1	11.22	66.8	61.0	37.0	12.8	37.8			3.64	12.78		417	1546	2256	
105.0	769.2	12.07	72.5	66.3	48.0	28.3	32.5			4.31	14.32		431	1569	2254	
115.0	768.4	12.91	82.3	68.5	53.3	35.3	20.3			5.02	15.94		431	1569	2254	

Diagramma di rifrazione



Andamento morfologico Rifratore/profondità

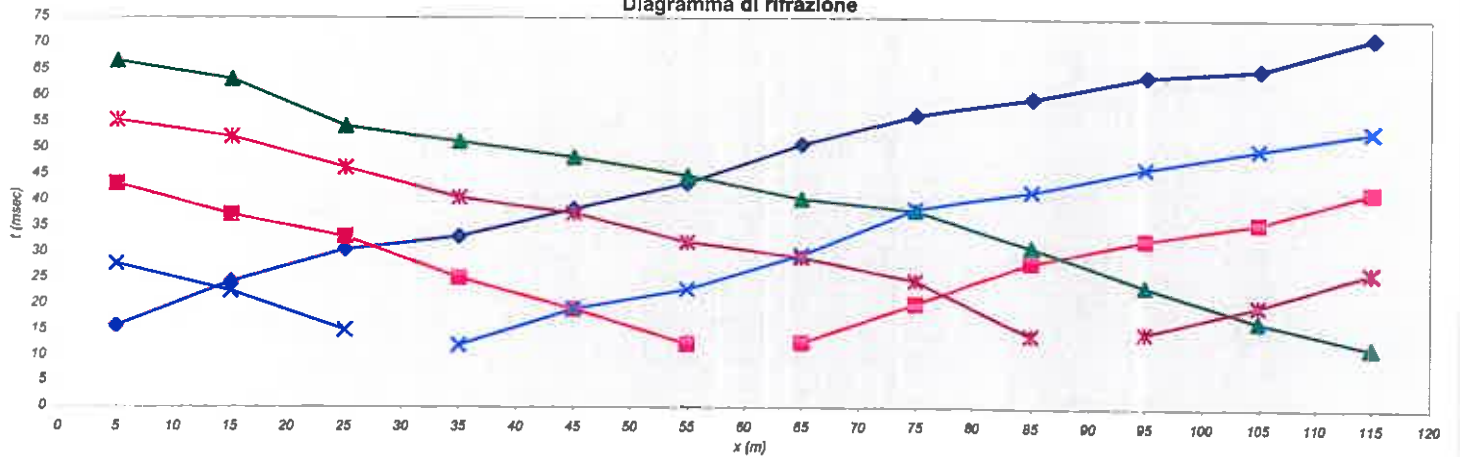


Tiro diretto

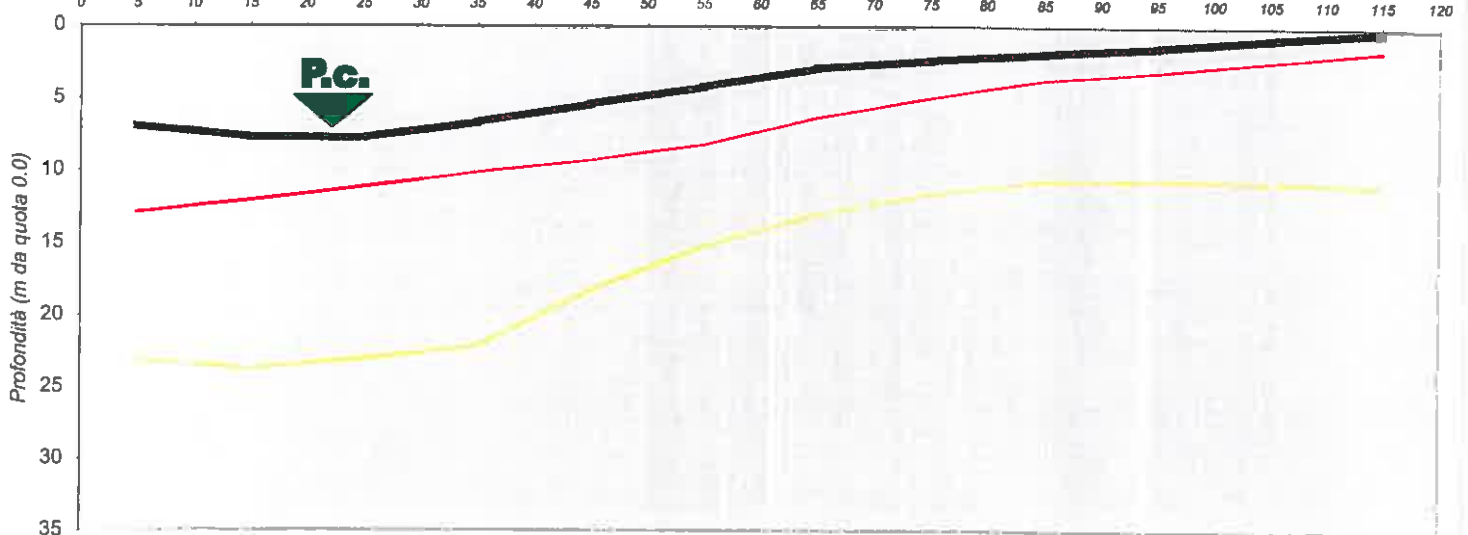
Tiro inverso

<b>SRL</b> Via Calvino, 30 - 44100 FERRARA Tel. 0532 773136 e-mail: info@songeo.it			<b>Prospezione Sismica di superficie</b> <b>Metodo Rifrazione Multicanale</b>  <b>Base Sismica n° 4 POL</b>				<b>COMMITTENTE:</b> Zaccaria Costruzioni S.r.l. Via Ponticello 154 41055 Montese (MO)									
<b>LAVORO</b> Indagine sismica Polinago			<b>LOCALITA':</b> Polinago (MO)				<b>DATA:</b> Ottobre 2006									
<b>STRUMENTO</b> PASI SG 24			<b>Punti energizzazione</b>		x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7					
<b>RICEVITORI</b> OYO 14Hz			<b>Progressiva (m)</b>		0	30	60	90	120							
			<b>Quota (m slm)</b>		723.80	722.93	726.79	728.60	730.19							
<b>GEOFONI</b> Quota Prog. ass. rel. m s.l.m. m			<b>t arivi</b> (x1) (x2) (x3) (x4) (x5) (x6) (x7)							<b>PROFONDITA' (m da p.c.)</b> 1° rifratore 2° rifratore 3° rifratore			<b>VELOCITA' (m/sec)</b> 1° strato 2° strato 3° strato 4° strato			
5.0	723.3	6.92	15.8	27.8	43.3	55.5	66.8			5.91	16.17		639	1685	2385	
15.0	722.5	7.69	24.3	22.5	37.3	52.3	63.3			4.32	16.02		592	1665	2399	
25.0	722.5	7.74	30.5	15.0	33.0	46.3	54.3			3.36	15.27		594	1655	2376	
35.0	723.5	6.67	33.0	12.0	25.0	40.5	51.3			3.43	15.45		598	1644	2324	
45.0	724.8	5.38	38.3	19.0	19.0	37.5	48.3			3.87	12.80		601	1633	2301	
55.0	726.0	4.17	43.3	22.8	12.3	32.0	44.8			3.99	10.99		566	1588	2260	
65.0	727.3	2.89	50.8	29.5	12.5	29.0	40.3			3.41	10.05		473	1543	2278	
75.0	727.8	2.35	56.5	38.3	20.0	24.5	38.0			2.57	9.20		437	1556	2295	
85.0	728.4	1.82	59.8	41.8	28.0	14.0	31.0			1.81	8.75		433	1509	2308	
95.0	728.8	1.39	64.0	46.3	32.5	14.5	23.5			1.68	9.13		457	1520	2321	
105.0	729.4	0.79	65.3	50.0	35.8	19.8	16.8			1.52	9.85		481	1502	2333	
115.0	729.9	0.29	71.3	53.5	41.8	26.3	11.8			1.32	10.55		481	1502	2333	

Diagramma di rifrazione



Andamento morfologico Rifratore/profondità

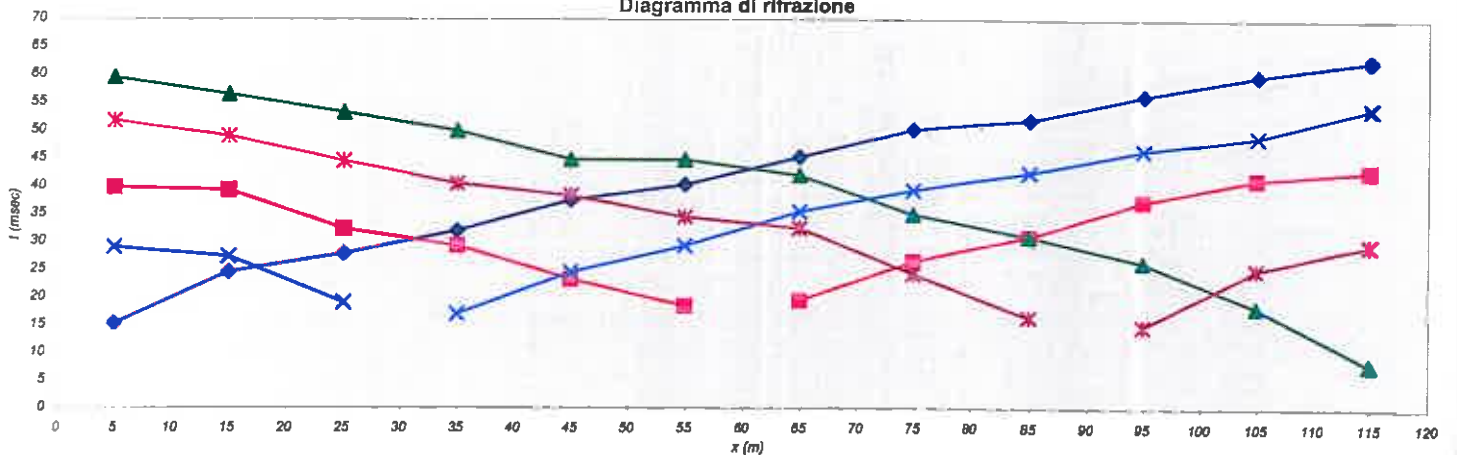


Tiro diretto

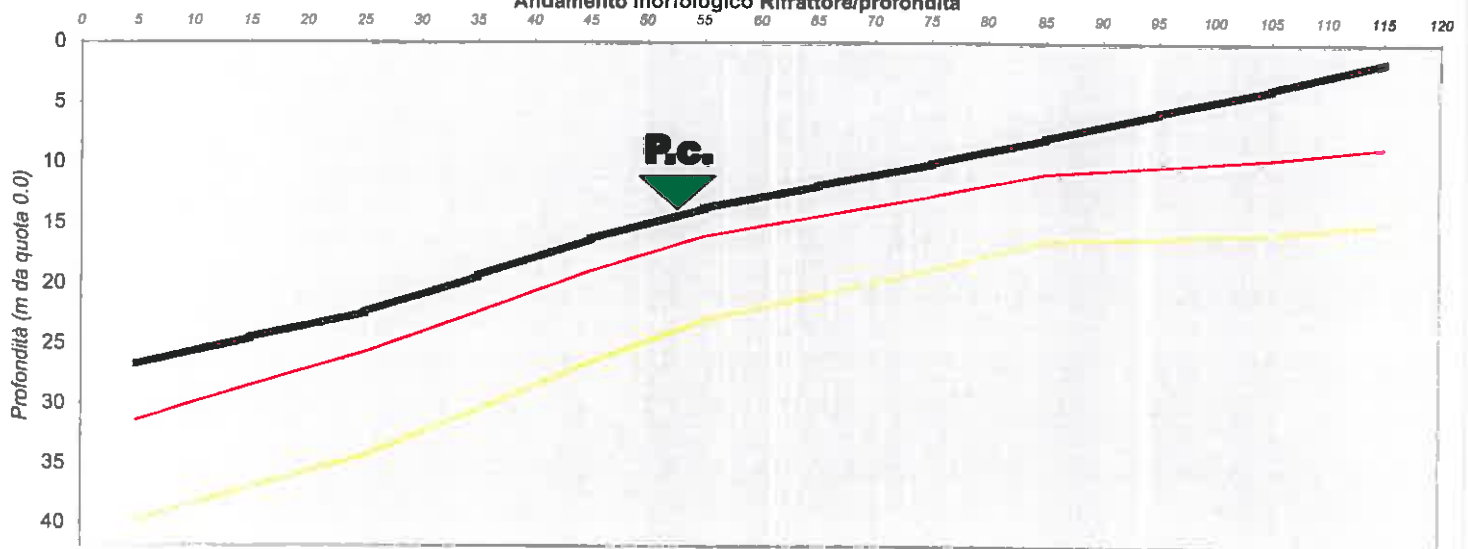
Tiro inverso

<b>SRL</b> Via Calvino, 30 - 44100 FERRARA Tel. 0532 773136 e-mail: info@songeo.it		<b>Prospezione Sismica di superficie</b> <b>Metodo Rifrazione Multicanale</b>  <b>Base Sismica n° 2_POL</b>				<b>COMMITTENTE:</b> Zaccaria Costruzioni S.r.l. Via Ponticello 154 41055 Montese (MO)										
<b>LAVORO</b> Indagine sismica Polinago		LOCALITA': <b>Polinago (MO)</b>				DATA: <b>Ottobre 2006</b>										
STRUMENTO <b>PASI SG 24</b>		Punti energizzazione		<b>x1</b>	<b>x2</b>	<b>x3</b>	<b>x4</b>	<b>x5</b>	<b>x6</b>	<b>x7</b>						
RICEVITORI <b>OYO 14Hz</b>		Progressiva (m)		0	30	60	90	120								
		Quota (m sim)		679.50	686.40	694.64	700.60	707.45								
GEOFONI			t arrivi							PROFONDITA' (m da p.c.)			VELOCITA' (m/sec)			
Prog. mi	Quota ass. m s.l.m.	Quota rel. m	(x1)	(x2)	(x3)	(x4)	(x5)	(x6)	(x7)	1° rifrattore	2° rifrattore	3° rifrattore	1° strato	2° strato	3° strato	4° strato
5.0	680.7	26.72	15.3	29.0	39.8	51.8	59.5			4.60	13.08		453	1961	2785	
15.0	682.9	24.52	24.5	27.3	39.3	49.0	56.5			3.94	12.53		399	1931	2793	
25.0	685.0	22.45	27.8	19.0	32.3	44.5	53.3			3.27	11.95		354	1924	2793	
35.0	688.0	19.42	32.0	17.0	29.3	40.5	50.0			2.96	11.10		308	1949	2793	
45.0	691.1	16.33	37.5	24.5	23.3	38.3	44.8			2.63	10.20		295	1974	2793	
55.0	693.7	13.79	40.3	29.3	18.5	34.5	44.8			2.29	9.24		282	1999	2793	
65.0	695.5	11.92	45.3	35.5	19.5	32.5	42.0			2.49	8.99		301	2024	2793	
75.0	697.4	10.07	50.3	39.3	26.5	24.3	35.0			2.70	8.73		385	2049	2793	
85.0	699.5	7.97	52.0	42.5	31.0	16.5	31.0			2.91	8.45		516	2057	2788	
95.0	701.6	5.82	56.3	46.5	37.3	14.8	26.3			4.44	10.29		614	2066	2783	
105.0	703.6	3.82	59.8	49.0	41.3	25.0	18.3			5.81	11.90		648	2074	2778	
115.0	705.9	1.55	62.5	54.0	42.8	29.5	8.0			7.07	13.31		648	2074	2778	

Diagramma di rifrazione



Andamento morfologico Rifrattore/profondità

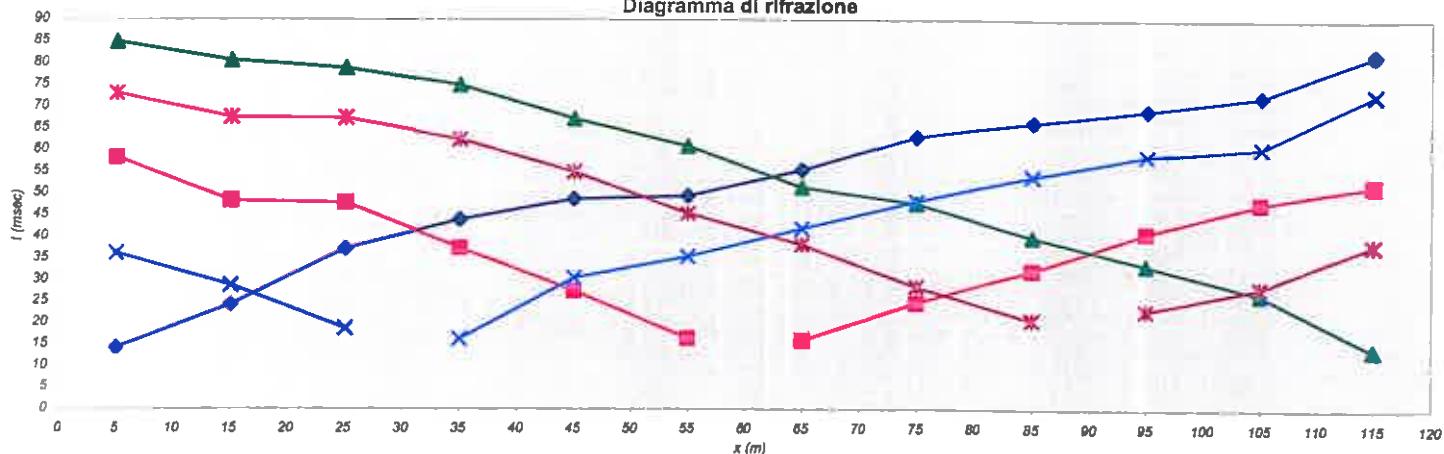


Tiro diretto

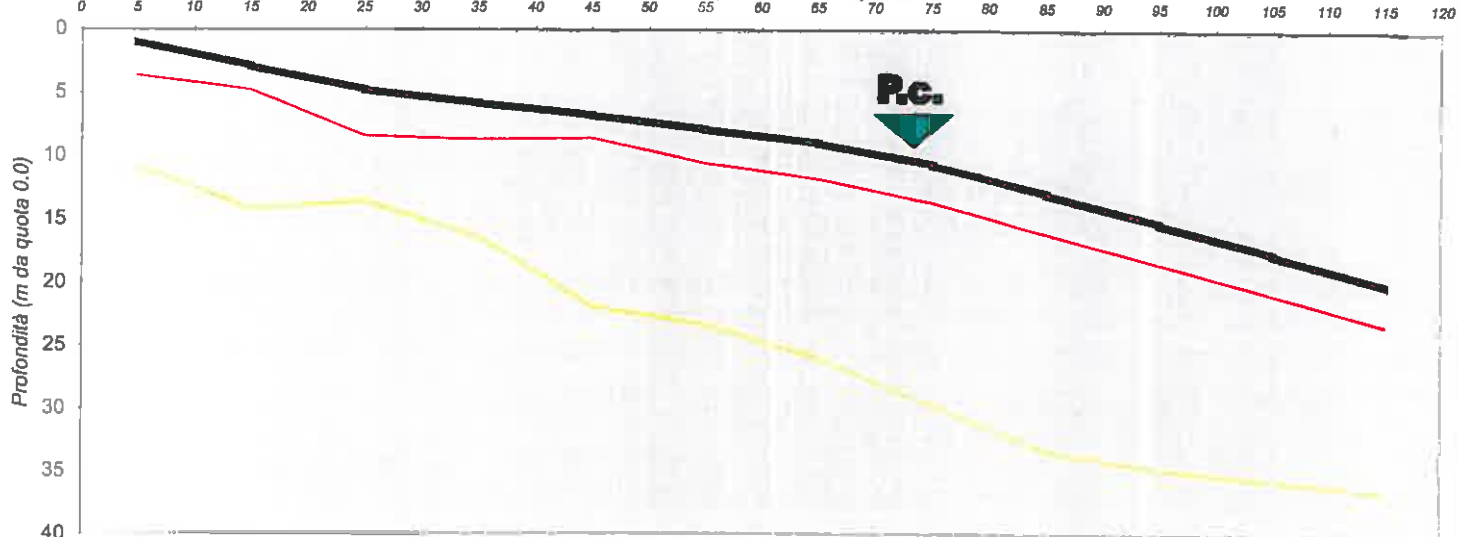
Tiro inverso

<b>SRL</b> Via Calvino, 30 - 44100 FERRARA Tel. 0532 773136 e-mail: info@songeo.it			<b>Prospezione Sismica di superficie</b> <b>Metodo Rifrazione Multicanale</b>  <b>Base Sismica n° 6_POL</b>				<b>COMMITTENTE:</b> Zaccaria Costruzioni S.r.l. Via Ponticello 154 41055 Montese (MO)									
<b>LAVORO</b> Indagine sismica Polinago			<b>LOCALITA':</b> Polinago (MO)				<b>DATA:</b> Ottobre 2006									
<b>STRUMENTO:</b> PASI SG 24			Punti energizzazione		x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7					
<b>RICEVITORI:</b> OYO 14Hz			Progressiva (m)		0	30	60	90	120							
			Quota (m slm)		721.50	716.05	713.03	707.50	700.11							
GEOFONI			t arrivi							PROFONDITA' (m da p.c.)			VELOCITA' (m/sec)			
Prog. mi	Quota ass. m s.l.m.	Quota rel. m	(x1)	(x2)	(x3)	(x4)	(x5)	(x6)	(x7)	1° rifrattore	2° rifrattore	3° rifrattore	1° strato	2° strato	3° strato	4° strato
5.0	720.5	1.00	14.3	36.3	58.3	73.0	85.0			2.63	9.85		358	1329	2074	
15.0	718.5	2.97	24.3	28.8	48.3	67.5	80.8			1.85	11.20		367	1337	2047	
25.0	716.7	4.82	37.3	18.8	47.8	67.3	79.0			3.61	8.79		347	1308	2021	
35.0	715.6	5.86	44.0	16.3	37.5	62.5	75.0			2.85	10.51		327	1308	2044	
45.0	714.7	6.81	48.8	30.5	27.5	55.0	67.3			1.80	15.06		307	1365	2068	
55.0	713.6	7.93	49.5	35.5	16.5	45.5	61.0			2.65	15.36		324	1350	2091	
65.0	712.5	8.97	55.5	42.0	16.0	38.3	51.5			2.81	16.93		341	1335	2115	
75.0	710.8	10.68	63.3	48.3	24.8	28.5	47.8			2.96	18.96		357	1320	2113	
85.0	708.6	12.93	66.5	54.0	32.3	20.8	40.0			3.12	20.33		357	1320	2095	
95.0	706.3	15.25	69.3	58.8	41.0	23.0	33.5			3.12	19.43		357	1320	2052	
105.0	703.9	17.63	72.5	60.8	47.8	28.3	26.8			3.12	17.94		357	1320	2009	
115.0	701.5	20.03	82.0	73.0	52.0	38.3	14.0			3.11	16.42		357	1320	2009	

Diagramma di rifrazione



Andamento morfologico Rifrattore/profondità

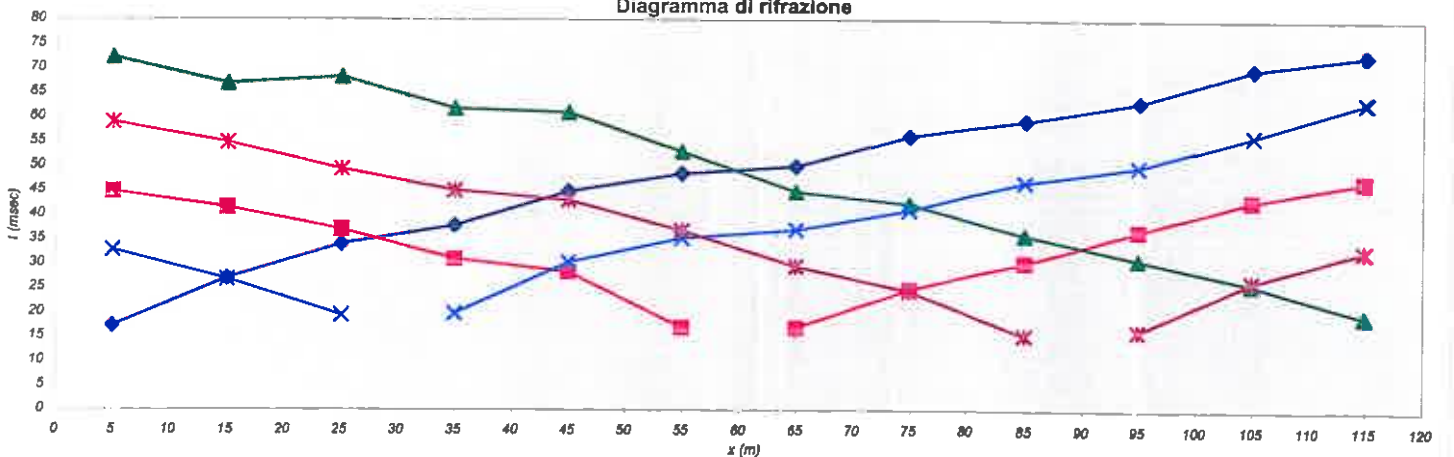


Tiro diretto

Tiro inverso

<b>SRL</b> Via Calvino, 30 - 44100 FERRARA Tel. 0532 773136 e-mail: info@songeo.it			<b>Prospezione Sismica di superficie</b> <b>Metodo Rifrazione Multicanale</b>  <b>Base Sismica n° 1 POL</b>						<b>COMMITTENTE:</b> Zaccaria Costruzioni S.r.l. Via Ponticello 154 41055 Montese (MO)							
<b>LAVORO</b> Indagine sismica Polinago			<b>LOCALITA'</b> Polinago (MO)						<b>DATA:</b> Ottobre 2006							
<b>STRUMENTO</b> PASI SG 24			<b>Punti energizzazione</b>		x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7					
<b>RICEVITORI</b> OYO 14Hz			<b>Progressiva (m)</b>		0	30	60	90	120							
			<b>Quota (m slm)</b>		754.00	748.41	742.16	735.95	731.59							
<b>GEOFONI</b> Quota Prog. ass. rel. m s.l.m. m			<b>t arrivi</b>							<b>PROFONDITA' (m da p.c.)</b>			<b>VELOCITA' (m/sec)</b>			
			(x1)	(x2)	(x3)	(x4)	(x5)	(x6)	(x7)	1° rifrattore	2° rifrattore	3° rifrattore	1° strato	2° strato	3° strato	4° strato
5.0	752.9	1.10	17.3	32.8	44.8	59.0	72.3			2.42	10.14		271	1539	2221	
15.0	751.1	2.90	27.0	26.8	41.5	54.8	67.0			2.36	8.06		254	1538	2219	
25.0	749.4	4.60	34.0	19.5	37.0	49.3	68.3			2.29	7.35		267	1583	2290	
35.0	747.4	6.60	37.8	19.8	31.0	45.0	61.8			2.31	8.59		280	1599	2361	
45.0	745.3	8.70	44.8	30.3	28.3	43.0	61.0			2.33	7.82		294	1616	2389	
55.0	743.3	10.70	48.5	35.3	17.0	36.8	53.0			2.40	8.95		300	1627	2390	
65.0	741.1	12.90	50.0	37.0	17.0	29.5	44.8			2.47	7.66		307	1637	2322	
75.0	738.8	15.20	56.3	41.0	24.8	24.5	42.3			2.50	6.51		342	1620	2283	
85.0	736.8	17.20	59.5	46.8	30.3	15.5	36.0			3.18	6.33		356	1634	2274	
95.0	735.4	18.60	63.3	50.0	36.8	16.3	31.0			3.87	8.65		397	1647	2322	
105.0	734.1	19.90	70.0	56.5	43.0	26.5	26.0			4.10	11.45		411	1661	2370	
115.0	732.5	21.50	72.8	63.3	47.0	32.8	19.5			4.60	13.26		410	1660	2370	

Diagramma di rifrazione



Andamento morfologico Rifrattore/profondità

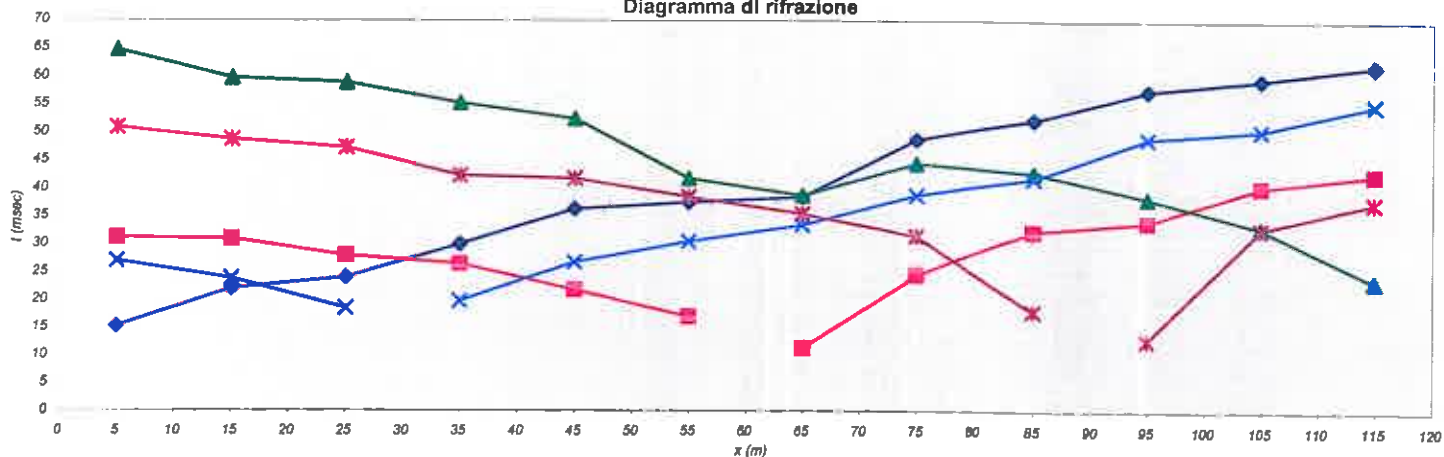


Tiro diretto

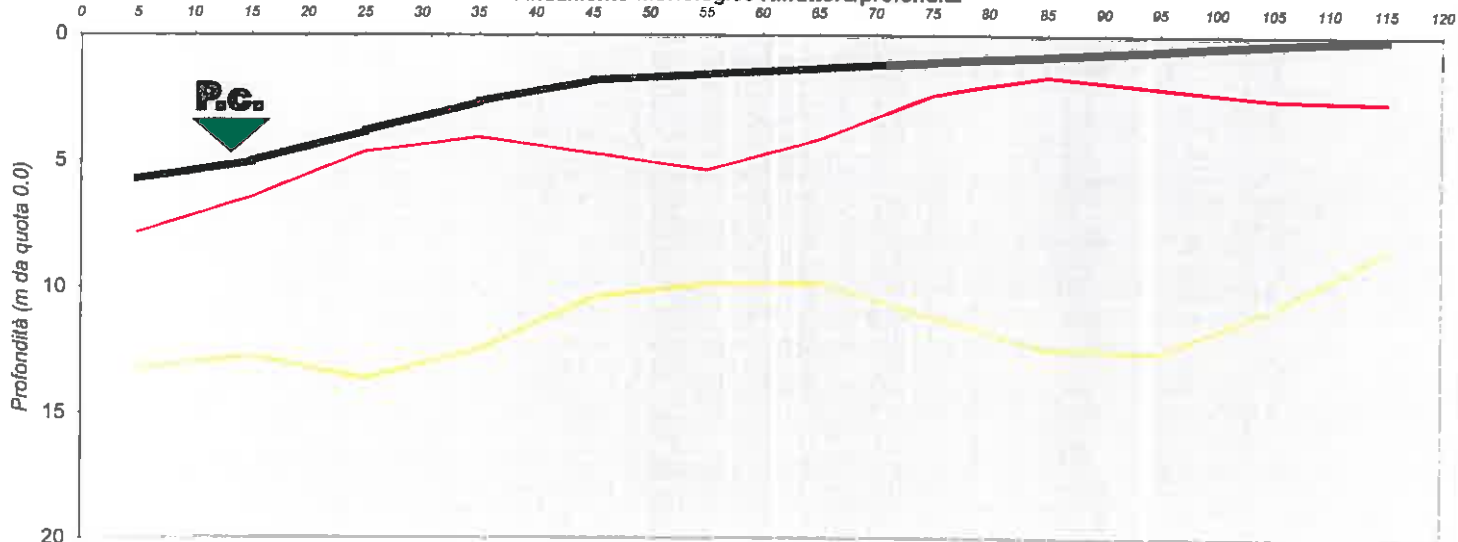
Tiro inverso

<b>SRL</b> Via Calvino, 30 - 44100 FERRARA Tel. 0532 773136 e-mail: info@songeo.it			<b>Prospezione Sismica di superficie</b> <b>Metodo Rifrazione Multicanale</b>  <b>Base Sismica n° 7 POL</b>				<b>COMMITTENTE:</b> Zaccaria Costruzioni S.r.l. Via Ponticello 154 41055 Montese (MO)									
<b>LAVORO</b> Indagine sismica Polinago			<b>LOCALITA':</b> Polinago (MO)				<b>DATA:</b> Ottobre 2006									
<b>STRUMENTO</b> PASI SG 24			Punti energizzazione		x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7					
<b>RICEVITORI</b> OYO 14Hz			Progressiva (m)		0	30	60	90	120							
			Quota (m slm)		703.30	706.11	707.85	708.58	709.30							
GEOFONI			t arrivi							PROFONDITA' (m da p.c.)			VELOCITA' (m/sec)			
Prog. mi	Quota ass. m s.l.m.	Quota rel. m	(x1)	(x2)	(x3)	(x4)	(x5)	(x6)	(x7)	1° rifrattore	2° rifrattore	3° rifrattore	1° strato	2° strato	3° strato	4° strato
5.0	703.6	5.73	15.3	27.0	31.3	51.0	64.8			2.10	7.50		518	1212	2696	
15.0	704.3	5.04	22.0	23.8	31.0	48.8	59.8			1.40	7.70		474	1127	2693	
25.0	705.5	3.84	24.0	18.5	28.0	47.3	59.0			0.80	9.80		486	1103	2715	
35.0	706.6	2.66	30.0	19.8	26.5	42.3	55.3			1.40	9.80		562	1175	2638	
45.0	707.5	1.80	36.3	26.8	21.8	41.8	52.5			2.90	8.60		543	1157	2594	
55.0	707.7	1.56	37.5	30.5	17.0	38.5	41.8			3.80	8.30		515	1184	2450	
65.0	708.0	1.33	38.5	33.5	11.5	35.5	38.8			2.80	8.50		455	1122	2450	
75.0	708.2	1.08	48.8	38.8	24.5	31.5	44.5			1.30	10.10		396	1124	2501	
85.0	708.5	0.83	52.3	41.8	32.3	18.0	42.8			0.80	11.60		345	1173	2580	
95.0	708.7	0.59	57.5	49.0	34.0	12.8	38.3			1.50	12.00		326	1286	2594	
105.0	709.0	0.32	59.5	50.5	40.3	32.8	33.0			2.20	10.50		339	1335	2673	
115.0	709.2	0.14	62.0	55.0	42.5	37.5	23.5			2.50	8.40		339	1335	2673	

Diagramma di rifrazione



Andamento morfologico Rifrattore/profondità



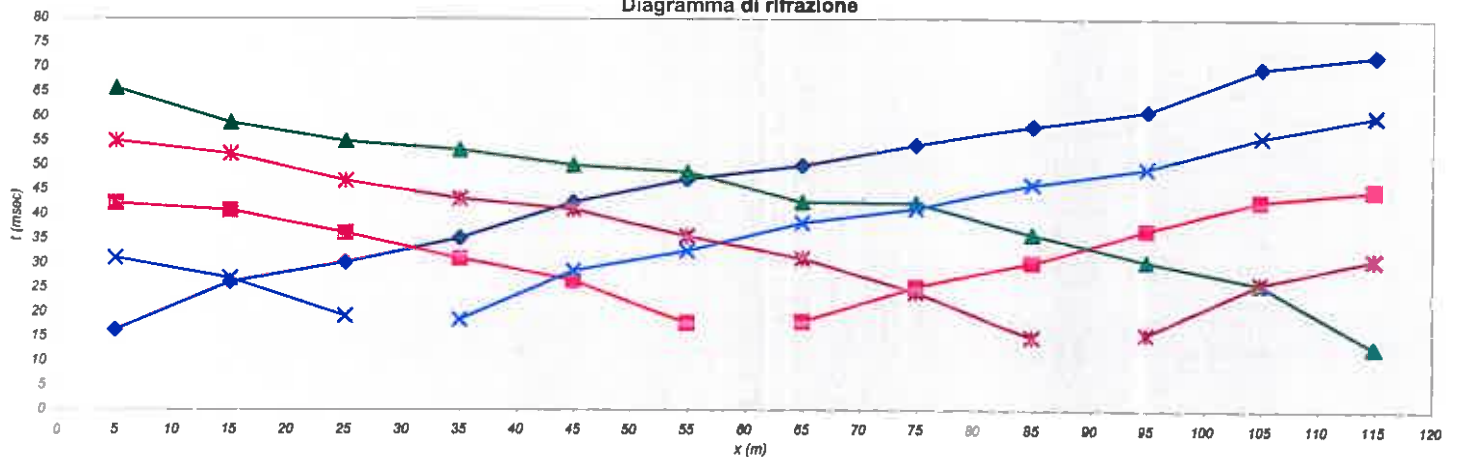
Tiro diretto

Tiro inverso

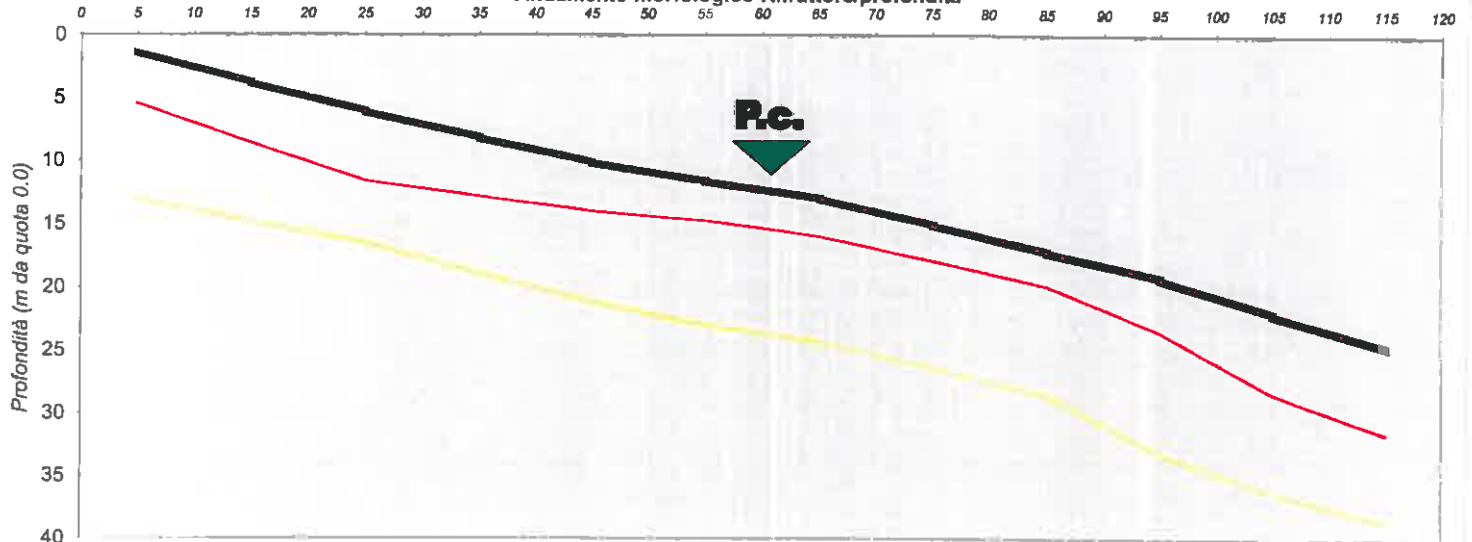


<b>SRL</b> Via Calvino, 30 - 44100 FERRARA Tel. 0532 773136 e-mail: info@songeo.it			<b>Prospezione Sismica di superficie</b> <b>Metodo Rifrazione Multicanale</b>  <b>Base Sismica n° 10_POL</b>				<b>COMMITTENTE:</b> <b>Zaccaria Costruzioni S.r.l.</b> Via Ponticello 154 41055 Montese (MO)									
<b>LAVORO</b> <b>Indagine sismica Polinago</b>			<b>LOCALITA': Polinago (MO)</b>				<b>DATA: Ottobre 2006</b>									
<b>STRUMENTO: PASI SG 24</b>			<b>Punti energizzazione</b>		<b>x1</b>	<b>x2</b>	<b>x3</b>	<b>x4</b>	<b>x5</b>	<b>x6</b>	<b>x7</b>					
<b>RICEVITORI: OYO 14Hz</b>			<b>Progressiva (m)</b>		0	30	60	90	120							
			<b>Quota (m slm)</b>		733.08	725.92	720.96	714.92	707.45							
<b>GEOFONI</b> <b>Quota</b>			<b>t arrivi</b>							<b>PROFONDITA' (m da p.c.)</b>			<b>VELOCITA' (m/sec)</b>			
<b>Prog. ml</b>	<b>ass. m s.l.m.</b>	<b>rel. m</b>	<b>(x1)</b>	<b>(x2)</b>	<b>(x3)</b>	<b>(x4)</b>	<b>(x5)</b>	<b>(x6)</b>	<b>(x7)</b>	<b>1° rifratore</b>	<b>2° rifratore</b>	<b>3° rifratore</b>	<b>1° strato</b>	<b>2° strato</b>	<b>3° strato</b>	<b>4° strato</b>
5.0	731.7	1.36	16.5	31.2	42.3	55.0	65.9			4.06	11.59		612	1638	2415	
15.0	729.3	3.78	26.2	27.0	40.8	52.3	58.8			4.75	10.99		690	1632	2358	
25.0	727.0	6.07	30.2	19.3	36.2	46.8	55.0			5.49	10.39		597	1627	2363	
35.0	724.9	8.18	35.1	18.5	31.0	43.2	53.2			4.63	10.71		505	1622	2367	
45.0	723.0	10.12	42.5	28.5	26.5	41.0	50.1			3.83	11.02		412	1616	2372	
55.0	721.5	11.59	47.2	32.6	17.8	35.6	48.7			3.08	11.33		384	1633	2385	
65.0	720.1	12.97	50.0	38.3	18.1	31.0	42.5			2.94	11.33		355	1650	2399	
75.0	718.1	15.02	54.2	41.2	25.2	24.1	42.3			2.80	11.33		326	1666	2412	
85.0	716.0	17.13	58.1	46.2	30.2	15.0	36.0			2.64	11.31		462	1642	2443	
95.0	713.9	19.18	61.2	49.5	36.9	15.6	30.5			4.21	13.95		598	1618	2473	
105.0	711.1	21.98	70.0	56.0	42.9	26.0	25.9			6.33	14.27		734	1593	2504	
115.0	708.5	24.63	72.5	60.2	45.0	30.9	13.0			6.86	13.92		734	1593	2504	

Diagramma di rifrazione



Andamento morfologico Rifratore/profondità



Tiro diretto

Tiro inverso

## **ALLEGATO - 5 -**

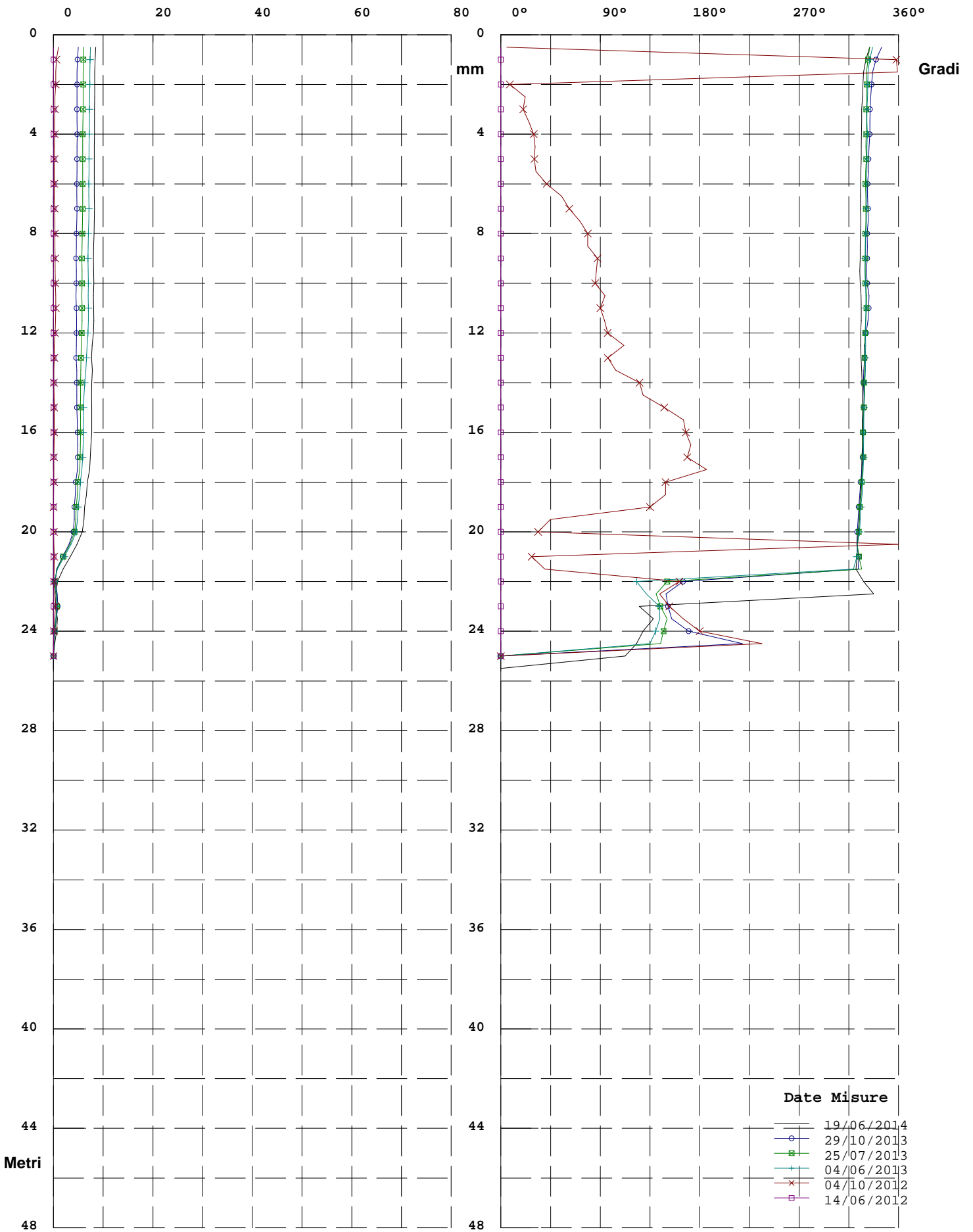
### **MISURE INCLINOMETRICHE**

# Risultante ed Azimut (Movimento per Sommatoria)

Zona : Polinago

Tubo:

Id: Scuola



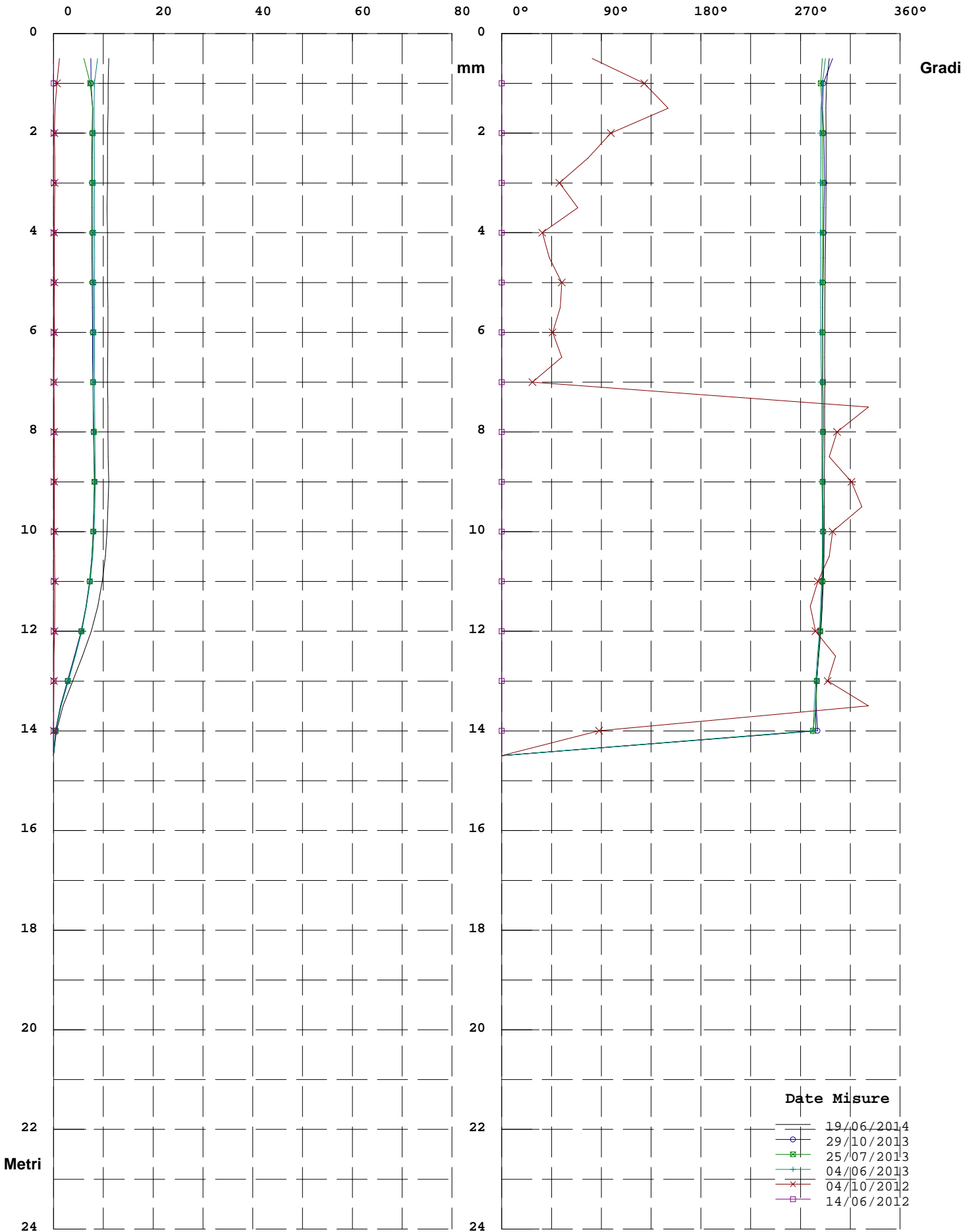
Elaborazione rispetto all'origine del 14/06/2012

# Risultante ed Azimut (Movimento per Sommatoria)

Zona : Polinago

Tubo:

Id: Capoluogo 2



Elaborazione rispetto all'origine del 14/06/2012

## **ALLEGATO - 6 -**

### **VERIFICHE DI STABILITA'**

## Relazione di calcolo

### 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:

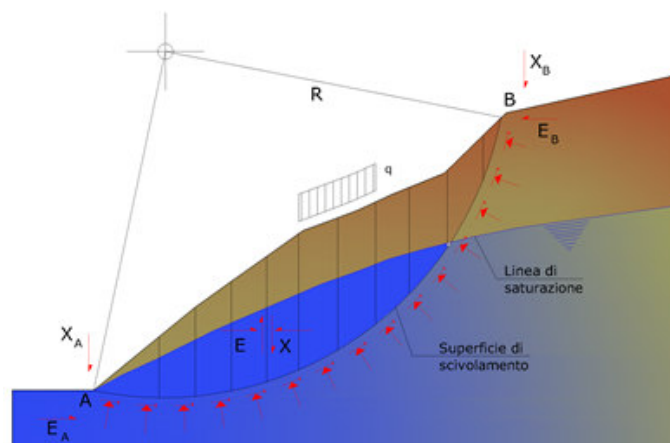
1. Si usano leggi costitutive semplificate: modello rigido perfettamente plastico. Si assume che la resistenza del materiale sia espressa unicamente dai parametri coesione ( $c$ ) e angolo di resistenza al taglio ( $\varphi$ ), costanti per il terreno e caratteristici dello stato plastico; quindi si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

### Metodo equilibrio limite (LEM)

Il metodo dell'equilibrio limite consiste nello studiare l'equilibrio di un corpo rigido, costituito dal pendio e da una superficie di scorrimento di forma qualsiasi (linea retta, arco di cerchio, spirale logaritmica); da tale equilibrio vengono calcolate le tensioni da taglio ( $\tau$ ) e confrontate con la resistenza disponibile ( $\tau_f$ ), valutata secondo il criterio di rottura di Coulomb, da tale confronto ne scaturisce la prima indicazione sulla stabilità attraverso il coefficiente di sicurezza:

$$F = \tau_f / \tau$$

Tra i metodi dell'equilibrio limite alcuni considerano l'equilibrio globale del corpo rigido (Culman), altri a causa della non omogeneità dividono il corpo in conci considerando l'equilibrio di ciascuno (Fellenius, Bishop, Janbu ecc.). Di seguito vengono discussi i metodi dell'equilibrio limite dei conci.



### Metodo dei conci

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

- $n$  valori delle forze normali  $N_i$  agenti sulla base di ciascun conco;

- n valori delle forze di taglio alla base del concio  $T_i$ ;
- (n-1) forze normali  $E_i$  agenti sull'interfaccia dei conci;
- (n-1) forze tangenziali  $X_i$  agenti sull'interfaccia dei conci;
- 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 quanto 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.

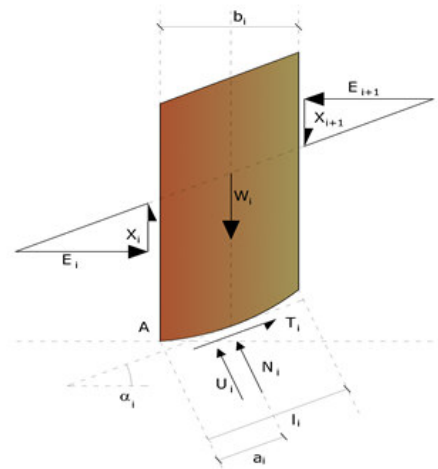
### Metodo di Bishop (1955)

Con tale metodo non viene trascurato nessun contributo di forze agenti sui blocchi e fu il primo a descrivere i problemi legati ai metodi convenzionali. Le equazioni usate per risolvere il problema sono:

$$\sum F_y = 0, \quad \sum M_0 = 0 \quad \text{Criterio di rottura}$$

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

I valori di  $F$  e di  $\Delta X$  per ogni elemento che soddisfano questa equazione danno una soluzione rigorosa al problema. Come prima approssimazione conviene porre  $\Delta X = 0$  ed iterare per il calcolo del fattore di sicurezza, tale procedimento è noto come metodo di **Bishop ordinario**, gli errori commessi rispetto al metodo completo sono di circa 1 %.

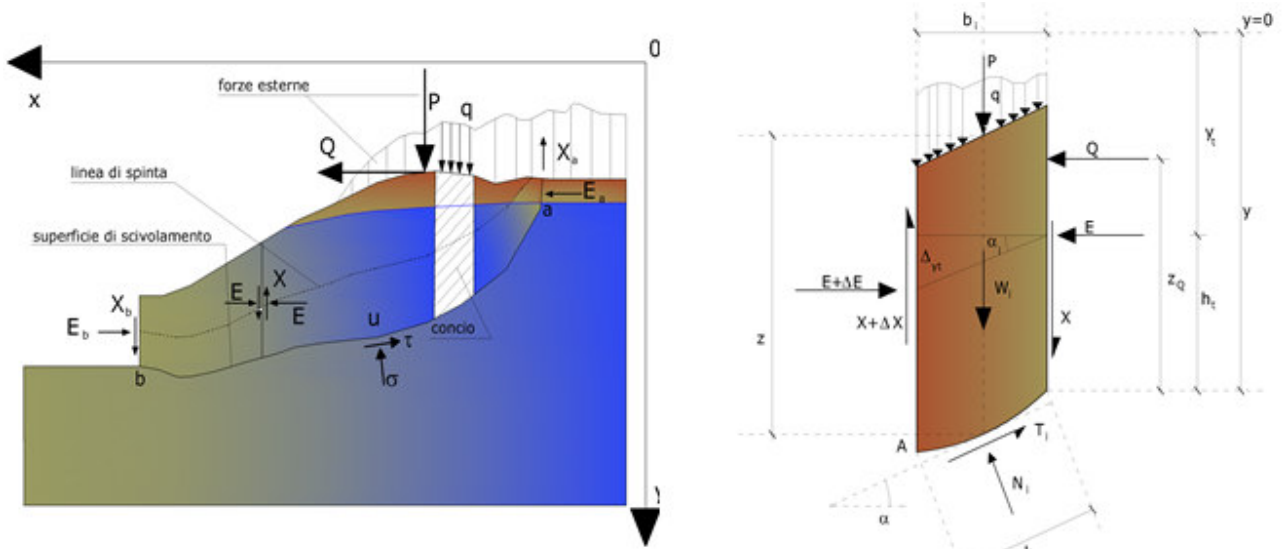


**Metodo di Janbu (1967)**

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.

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

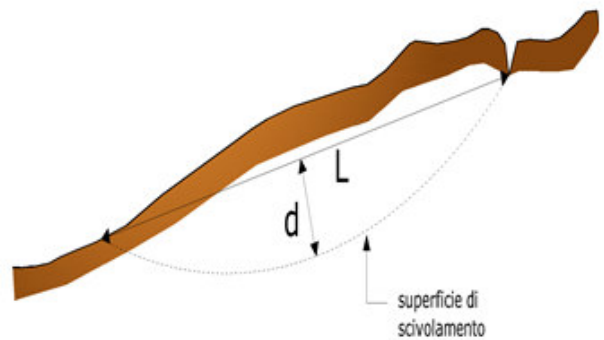
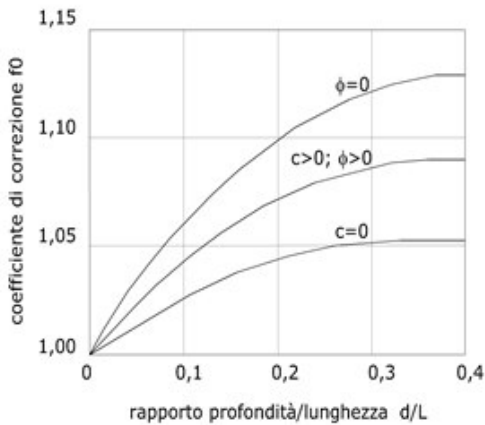


Azioni sul concio i-esimo secondo le ipotesi di Janbu e rappresentazione d'insieme dell'ammasso

Assumendo  $\Delta X_i = 0$  si ottiene il metodo ordinario. Janbu propose inoltre un metodo per la correzione del fattore di sicurezza ottenuto con il metodo ordinario secondo la seguente:

$$F_{\text{corretto}} = f_0 \cdot F$$

dove  $f_0$  è riportato in grafici funzione di geometria e parametri geotecnici. Tale correzione è molto attendibile per pendii poco inclinati.



$$F_{sm} = F_{sf}$$

**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 esaminarne 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.



**FRANA OVEST – CORPO QUIESCENTE – CONDIZIONI STATICHE****Analisi di stabilità dei pendii con: BISHOP (1955)**

Normativa	Utente
Numero di strati	2.0
Numero dei conci	20.0
Grado di sicurezza ritenuto accettabile	1.1
Coefficiente parziale resistenza	1.0
Parametri geotecnici da usare. Angolo di attrito:	Picco
Analisi	Condizione drenata
Superficie di forma circolare	

**Maglia dei Centri**

Ascissa vertice sinistro inferiore xi	0.0 m
Ordinata vertice sinistro inferiore yi	890.0 m
Ascissa vertice destro superiore xs	1046.0 m
Ordinata vertice destro superiore ys	1080.0 m
Passo di ricerca	10.0
Numero di celle lungo x	20.0
Numero di celle lungo y	10.0

**Vertici profilo**

Nr	X (m)	y (m)
1	0.0	648.0
2	30.0	653.0
3	60.0	657.0
4	90.0	664.0
5	120.0	670.0
6	150.0	676.0
7	180.0	683.0
8	210.0	689.0
9	240.0	694.0
10	270.0	697.0
11	293.0	700.0
12	320.0	704.0
13	348.0	708.0
14	375.0	712.0
15	403.0	716.0
16	431.0	720.0
17	458.0	728.0
18	486.0	736.0
19	513.0	741.0
20	543.0	744.0
21	572.0	752.0
22	602.0	761.0
23	632.0	766.0
24	661.0	775.0
25	691.0	785.0
26	720.0	790.0
27	750.0	798.0
28	779.0	804.0
29	809.0	809.0
30	839.0	814.0
31	868.0	823.0
32	898.0	832.0
33	927.0	839.0
34	957.0	846.0
35	986.0	852.0
36	1016.0	857.0

37	1046.0	864.0
----	--------	-------

**Vertici strato .....1**

N	X (m)	y (m)
1	0.0	634.0
2	293.0	686.0
3	375.0	695.0
4	513.0	726.0
5	661.0	761.0
6	839.0	800.0
7	1046.0	850.0

**Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno**

Tangente angolo di resistenza al taglio	1.25
Coesione efficace	1.25
Coesione non drenata	1.4
Riduzione parametri geotecnici terreno	No

**Stratigrafia**

Strato	Coesione (kg/cm <sup>2</sup> )	Coesione non drenata (kg/cm <sup>2</sup> )	Angolo resistenza al taglio (°)	Peso unità di volume (Kg/m <sup>3</sup> )	Peso saturo (Kg/m <sup>3</sup> )	Litologia	
1	0.05		22	2000	2300.00	Frana attiva	
2	0.2		31	2200	2400	Substrato arenaceo- pelitico	

**Risultati analisi pendio [Utente]**

Fs minimo individuato	1.64
Ascissa centro superficie	627.6 m
Ordinata centro superficie	890.0 m
Raggio superficie	129.52 m

$$xc = 627.60 \quad yc = 890.00 \quad Rc = 129.523 \quad Fs = 1.638$$

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (Kg)	Kh•Wi (Kg)	Kv•Wi (Kg)	c (kg/cm <sup>2</sup> )	Fi (°)	Ui (Kg)	N'i (Kg)	Ti (Kg)
1	4.96	-7.6	5.01	7648.96	0.0	0.0	0.05	22.0	0.0	8193.4	3549.4
2	4.96	-5.4	4.98	21499.1	0.0	0.0	0.05	22.0	0.0	22262.7	7013.1
3	4.96	-3.2	4.97	33435.04	0.0	0.0	0.05	22.0	0.0	34047.3	9915.5
4	4.96	-1.0	4.96	43474.32	0.0	0.0	0.05	22.0	0.0	43702.8	12295.1
5	4.25	1.0	4.25	43747.86	0.0	0.0	0.05	22.0	0.0	43543.3	12037.7
6	5.68	3.2	5.69	70401.31	0.0	0.0	0.05	22.0	0.0	69455.1	18867.7
7	4.96	5.6	4.99	73882.37	0.0	0.0	0.05	22.0	0.0	72345.3	19367.1
8	4.96	7.8	5.01	83408.58	0.0	0.0	0.05	22.0	0.0	81237.7	21567.5
9	4.96	10.0	5.04	90994.53	0.0	0.0	0.05	22.0	0.0	88287.5	23315.7
10	4.96	12.2	5.08	96603.28	0.0	0.0	0.05	22.0	0.0	93510.6	24615.9
11	3.47	14.2	3.58	69853.63	0.0	0.0	0.05	22.0	0.0	67562.1	17758.9
12	6.45	16.4	6.73	133040.9	0.0	0.0	0.05	22.0	0.0	128735.4	33807.7
13	4.96	19.1	5.25	103089.8	0.0	0.0	0.05	22.0	0.0	99996.5	26268.6
14	4.96	21.4	5.33	101341.0	0.0	0.0	0.05	22.0	0.0	98674.0	25966.8
15	4.96	23.8	5.42	97251.45	0.0	0.0	0.05	22.0	0.0	95202.8	25138.9
16	4.96	26.2	5.53	90696.5	0.0	0.0	0.05	22.0	0.0	89407.1	23742.3
17	3.7	28.4	4.26	1759.62	0.0	0.0	0.05	22.0	0.0	61329.6	16411.5
18	6.23	30.9	7.26	83136.27	0.0	0.0	0.05	22.0	0.0	83274.5	22756.0
19	4.96	33.8	5.97	40659.35	0.0	0.0	0.05	22.0	0.0	40955.7	11926.1
20	4.96	36.5	6.18	14442.58	0.0	0.0	0.05	22.0	0.0	14015.6	5342.2

**FRANA OVEST – CORPO ATTIVO – CONDIZIONI STATICHE****Analisi di stabilità dei pendii con: BISHOP (1955)**

Normativa	Utente
Numero di strati	4.0
Numero dei conci	20.0
Grado di sicurezza ritenuto accettabile	1.1
Coefficiente parziale resistenza	1.0
Parametri geotecnici da usare. Angolo di attrito:	Residue
Analisi	Condizione drenata
Superficie di forma circolare	

**Maglia dei Centri**

Ascissa vertice sinistro inferiore xi	0.0 m
Ordinata vertice sinistro inferiore yi	890.0 m
Ascissa vertice destro superiore xs	1046.0 m
Ordinata vertice destro superiore ys	1080.0 m
Passo di ricerca	10.0
Numero di celle lungo x	20.0
Numero di celle lungo y	10.0

**Vertici profilo**

Nr	X (m)	y (m)
1	0.0	648.0
2	30.0	653.0
3	60.0	657.0
4	90.0	664.0
5	120.0	670.0
6	150.0	676.0
7	180.0	683.0
8	210.0	689.0
9	240.0	694.0
10	270.0	697.0
11	293.0	700.0
12	320.0	704.0
13	348.0	708.0
14	375.0	712.0
15	403.0	716.0
16	431.0	720.0
17	458.0	728.0
18	486.0	736.0
19	513.0	741.0
20	543.0	744.0
21	572.0	752.0
22	602.0	761.0
23	632.0	766.0
24	661.0	775.0
25	691.0	785.0
26	720.0	790.0
27	750.0	798.0
28	779.0	804.0
29	809.0	809.0
30	839.0	814.0
31	868.0	823.0
32	898.0	832.0
33	927.0	839.0
34	957.0	846.0

35	986.0	852.0
36	1016.0	857.0
37	1046.0	864.0

**Vertici strato .....1**

N	X (m)	y (m)
1	0.0	648.0
2	30.0	653.0
3	30.0	653.0
4	60.0	657.0
5	90.0	664.0
6	120.0	670.0
7	150.0	676.0
8	180.0	683.0
9	210.0	689.0
10	240.0	694.0
11	270.0	697.0
12	293.0	700.0
13	320.0	704.0
14	348.0	708.0
15	375.0	712.0
16	403.0	716.0
17	431.0	720.0
18	458.0	728.0
19	486.0	736.0
20	513.0	741.0
21	543.0	744.0
22	572.0	752.0
23	602.0	761.0
24	632.0	766.0
25	691.0	770.0
26	750.0	783.0
27	809.0	795.0
28	868.0	815.0
29	898.0	832.0
30	927.0	839.0
31	957.0	846.0
32	986.0	852.0
33	1016.0	857.0
34	1046.0	864.0

**Vertici strato .....2**

N	X (m)	y (m)
1	0.0	648.0
2	30.0	653.0
3	30.0	653.0
4	60.0	657.0
5	90.0	664.0
6	120.0	670.0
7	150.0	676.0
8	180.0	683.0
9	210.0	689.0
10	240.0	694.0
11	270.0	697.0
12	293.0	700.0
13	293.0	700.0
14	320.0	701.0
15	375.0	707.0
16	431.0	715.0
17	458.0	723.0
18	513.0	736.0

19	543.0	740.0
20	572.0	752.0
21	572.0	752.0
22	602.0	761.0
23	632.0	766.0
24	691.0	770.0
25	750.0	783.0
26	809.0	795.0
27	868.0	815.0
28	898.0	832.0
29	927.0	839.0
30	957.0	846.0
31	986.0	852.0
32	1016.0	857.0
33	1046.0	864.0

**Vertici strato .....3**

N	X (m)	y (m)
1	0.0	634.0
2	293.0	686.0
3	375.0	695.0
4	513.0	726.0
5	661.0	761.0
6	839.0	800.0
7	1046.0	850.0

**Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno**

Tangente angolo di resistenza al taglio	1.25
Coesione efficace	1.25
Coesione non drenata	1.4
Riduzione parametri geotecnici terreno	No

**Stratigrafia**

Strato	Coesione (kg/cm <sup>2</sup> )	Coesione non drenata (kg/cm <sup>2</sup> )	Angolo resistenza al taglio (°)	Peso unità di volume (Kg/m <sup>3</sup> )	Peso saturo (Kg/m <sup>3</sup> )	Litologia	
1	0.02		13	2000	2000	Frana attiva 1	
2	0.02		13	2000	2000	Frana attiva 2	
3	0.05		22	2000	2000	Frana quiescente	
4	0.2		31	2100	2300	Detrito/Prim o substrato arenaceo- pelitico	

**Risultati analisi pendio [Utente]**

Fs minimo individuato	0.92
Ascissa centro superficie	836.8 m
Ordinata centro superficie	909.0 m
Raggio superficie	95.54 m

$$x_c = 836.80 \quad y_c = 909.00 \quad R_c = 95.541 \quad F_s = 0.916$$

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (Kg)	Kh•Wi (Kg)	Kv•Wi (Kg)	c (kg/cm <sup>2</sup> )	Fi (°)	Ui (Kg)	N'i (Kg)	Ti (Kg)
-----	--------	-------------	---------	------------	---------------	---------------	----------------------------	-----------	------------	-------------	------------

SLOPE

---

1	3.21	0.4	3.21	1744.78	0.0	0.0	0.02	13.0	0.0	1737.7	1139.7
2	2.2	2.0	2.2	3622.42	0.0	0.0	0.02	13.0	0.0	3577.0	1380.9
3	2.71	3.5	2.71	7947.01	0.0	0.0	0.02	13.0	0.0	7807.1	2558.9
4	2.71	5.1	2.72	11396.86	0.0	0.0	0.02	13.0	0.0	11139.9	3400.0
5	2.71	6.7	2.72	14430.49	0.0	0.0	0.02	13.0	0.0	14044.1	4133.6
6	2.71	8.4	2.73	17037.55	0.0	0.0	0.02	13.0	0.0	16521.1	4760.1
7	2.71	10.0	2.75	19219.86	0.0	0.0	0.02	13.0	0.0	18585.6	5283.0
8	2.71	11.6	2.76	20967.8	0.0	0.0	0.02	13.0	0.0	20233.6	5701.7
9	2.71	13.3	2.78	22270.33	0.0	0.0	0.02	13.0	0.0	21462.0	6015.1
10	2.71	15.0	2.82	23129.73	0.0	0.0	0.02	13.0	0.0	22277.8	6225.1
11	2.71	16.7	2.82	23525.66	0.0	0.0	0.02	13.0	0.0	22663.1	6327.4
12	2.46	18.3	2.59	21323.0	0.0	0.0	0.02	13.0	0.0	20558.1	5745.7
13	2.95	20.0	3.14	24923.73	0.0	0.0	0.02	13.0	0.0	24066.6	6750.3
14	2.71	21.8	2.91	21589.44	0.0	0.0	0.02	13.0	0.0	20893.3	5901.1
15	2.71	23.6	2.95	19857.28	0.0	0.0	0.02	13.0	0.0	19265.5	5499.0
16	2.71	25.4	2.99	17591.99	0.0	0.0	0.02	13.0	0.0	17113.9	4966.1
17	2.71	27.2	3.04	14757.07	0.0	0.0	0.02	13.0	0.0	14386.3	4289.0
18	2.71	29.0	3.09	11340.32	0.0	0.0	0.02	13.0	0.0	11048.7	3459.4
19	2.71	30.9	3.15	7304.24	0.0	0.0	0.02	13.0	0.0	7038.4	2461.6
20	2.71	32.8	3.22	2606.07	0.0	0.0	0.02	13.0	0.0	2277.7	1276.6

## FRANA EST – CORPO QUIESCENTE – CONDIZIONI STATICHE

### Analisi di stabilità dei pendii con: BISHOP (1955)

Normativa	Utente
Numero di strati	2.0
Numero dei conci	20.0
Grado di sicurezza ritenuto accettabile	1.1
Coefficiente parziale resistenza	1.0
Parametri geotecnici da usare. Angolo di attrito:	Picco
Analisi	Condizione drenata
Superficie di forma circolare	

### Maglia dei Centri

Ascissa vertice sinistro inferiore xi	0.0 m
Ordinata vertice sinistro inferiore yi	890.0 m
Ascissa vertice destro superiore xs	1803.0 m
Ordinata vertice destro superiore ys	1100.0 m
Passo di ricerca	10.0
Numero di celle lungo x	20.0
Numero di celle lungo y	10.0

### Vertici profilo

Nr	X (m)	y (m)
1	0.0	581.0
2	25.0	570.0
3	49.0	561.0
4	114.0	561.0
5	143.0	574.0
6	174.0	578.0
7	203.0	584.0
8	233.0	586.0
9	263.0	589.0
10	293.0	592.0
11	323.0	597.0
12	353.0	601.0
13	382.0	604.0
14	412.0	606.0
15	442.0	610.0
16	472.0	615.0
17	512.0	616.0
18	539.0	620.0
19	566.0	624.0
20	593.0	627.0
21	619.0	630.0
22	646.0	633.0
23	673.0	637.0
24	700.0	638.0
25	830.0	650.0
26	861.0	655.0
27	891.0	659.0
28	922.0	668.0
29	953.0	678.0
30	984.0	684.0
31	1014.0	688.0
32	1045.0	696.0
33	1076.0	703.0
34	1107.0	707.0

35	1137.0	714.0
36	1168.0	722.0
37	1199.0	728.0
38	1229.0	736.0
39	1260.0	741.0
40	1291.0	747.0
41	1322.0	753.0
42	1352.0	759.0
43	1383.0	765.0
44	1521.0	775.0
45	1549.0	779.0
46	1577.0	782.0
47	1605.0	789.0
48	1633.0	791.0
49	1662.0	796.0
50	1690.0	799.0
51	1718.0	804.0
52	1746.0	810.0
53	1774.0	812.0
54	1803.0	820.5

**Vertici strato .....1**

N	X (m)	y (m)
1	0.0	581.0
2	25.0	570.0
3	49.0	561.0
4	114.0	561.0
5	144.0	562.0
6	174.0	563.0
7	203.0	569.0
8	472.0	600.0
9	830.0	635.0
10	1014.0	672.0
11	1168.0	704.0
12	1322.0	732.0
13	1521.0	753.0
14	1605.0	772.0
15	1662.0	781.0
16	1690.0	790.0
17	1718.0	799.0
18	1803.0	815.0

**Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno**

Tangente angolo di resistenza al taglio	1.25
Coesione efficace	1.25
Coesione non drenata	1.4
Riduzione parametri geotecnici terreno	No

**Stratigrafia**

Strato	Coesione (kg/cm <sup>2</sup> )	Coesione non drenata (kg/cm <sup>2</sup> )	Angolo resistenza al taglio (°)	Peso unità di volume (Kg/m <sup>3</sup> )	Peso saturo (Kg/m <sup>3</sup> )	Litologia	
1	0.05		22	2000	2000	Frana quiescente	
2	0.2		31	2100	2300	Detrito/Prim o substrato arenaceo- pelitico	



**Risultati analisi pendio [Utente]**

Fs minimo individuato	1.86
Ascissa centro superficie	901.5 m
Ordinata centro superficie	890.0 m
Raggio superficie	230.17 m

**xc = 901.50 yc = 890.00 Rc = 230.166 Fs=1.865**

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (Kg)	Kh•Wi (Kg)	Kv•Wi (Kg)	c (kg/cm <sup>2</sup> )	Fi (°)	Ui (Kg)	N'i (Kg)	Ti (Kg)
1	5.84	-1.1	5.84	10763.3	0.0	0.0	0.05	22.0	0.0	10838.4	3915.2
2	5.84	0.4	5.84	31004.2	0.0	0.0	0.05	22.0	0.0	30949.9	8272.2
3	5.84	1.8	5.85	49508.34	0.0	0.0	0.05	22.0	0.0	49142.7	12214.5
4	5.84	3.3	5.85	66273.13	0.0	0.0	0.05	22.0	0.0	65476.3	15755.1
5	4.37	4.6	4.38	59393.31	0.0	0.0	0.05	22.0	0.0	58477.2	13843.6
6	7.32	6.0	7.36	118237.4	0.0	0.0	0.05	22.0	0.0	116032.2	27112.8
7	5.84	7.7	5.91	109948.0	0.0	0.0	0.05	22.0	0.0	107587.3	24890.3
8	5.84	9.1	5.92	121875.0	0.0	0.0	0.05	22.0	0.0	119036.8	27376.9
9	5.84	10.6	5.95	132005.6	0.0	0.0	0.05	22.0	0.0	128775.4	29494.0
10	6.15	12.1	6.29	147874.8	0.0	0.0	0.05	22.0	0.0	144175.1	32923.0
11	5.54	13.6	5.71	135238.3	0.0	0.0	0.05	22.0	0.0	131860.0	30095.8
12	5.84	15.1	6.05	138561.3	0.0	0.0	0.05	22.0	0.0	135176.5	30909.5
13	5.84	16.6	6.11	132382.2	0.0	0.0	0.05	22.0	0.0	129303.0	29649.2
14	5.84	18.1	6.15	124234.5	0.0	0.0	0.05	22.0	0.0	121562.9	27985.9
15	7.93	20.0	8.44	152113.7	0.0	0.0	0.05	22.0	0.0	149265.5	34602.4
16	3.75	21.5	4.03	62989.33	0.0	0.0	0.05	22.0	0.0	61985.3	14510.9
17	5.84	22.8	6.34	82736.2	0.0	0.0	0.05	22.0	0.0	81601.7	19378.9
18	5.84	24.4	6.42	62024.09	0.0	0.0	0.05	22.0	0.0	61299.1	15001.0
19	5.84	26.0	6.53	9019.65	0.0	0.0	0.05	22.0	0.0	38494.3	10083.0
20	5.84	27.6	6.59	13621.39	0.0	0.0	0.05	22.0	0.0	12977.1	4579.8

**FRANA EST – CORPO ATTIVO – CONDIZIONI STATICHE****Analisi di stabilità dei pendii con: BISHOP (1955)**

Normativa	Utente
Numero di strati	3.0
Numero dei conci	20.0
Grado di sicurezza ritenuto accettabile	1.1
Coefficiente parziale resistenza	1.0
Parametri geotecnici da usare. Angolo di attrito:	residui
Analisi	Condizione drenata
Superficie di forma circolare	

**Maglia dei Centri**

Ascissa vertice sinistro inferiore xi	0.0 m
Ordinata vertice sinistro inferiore yi	890.0 m
Ascissa vertice destro superiore xs	1803.0 m
Ordinata vertice destro superiore ys	1100.0 m
Passo di ricerca	10.0
Numero di celle lungo x	20.0
Numero di celle lungo y	10.0

**Vertici profilo**

Nr	X (m)	y (m)
1	0.0	581.0
2	25.0	570.0
3	49.0	561.0
4	114.0	561.0
5	143.0	574.0
6	174.0	578.0
7	203.0	584.0
8	233.0	586.0
9	263.0	589.0
10	293.0	592.0
11	323.0	597.0
12	353.0	601.0
13	382.0	604.0
14	412.0	606.0
15	442.0	610.0
16	472.0	615.0
17	512.0	616.0
18	539.0	620.0
19	566.0	624.0
20	593.0	627.0
21	619.0	630.0
22	646.0	633.0
23	673.0	637.0
24	700.0	638.0
25	830.0	650.0
26	861.0	655.0
27	891.0	659.0
28	922.0	668.0
29	953.0	678.0
30	984.0	684.0
31	1014.0	688.0
32	1045.0	696.0
33	1076.0	703.0
34	1107.0	707.0
35	1137.0	714.0
36	1168.0	722.0
37	1199.0	728.0
38	1229.0	736.0
39	1260.0	741.0

40	1291.0	747.0
41	1322.0	753.0
42	1352.0	759.0
43	1383.0	765.0
44	1521.0	775.0
45	1549.0	779.0
46	1577.0	782.0
47	1605.0	789.0
48	1633.0	791.0
49	1662.0	796.0
50	1690.0	799.0
51	1718.0	804.0
52	1746.0	810.0
53	1774.0	812.0
54	1803.0	820.5

**Vertici strato .....1**

N	X (m)	y (m)
1	0.0	581.0
2	25.0	570.0
3	49.0	561.0
4	114.0	561.0
5	143.0	574.0
6	174.0	578.0
7	203.0	584.0
8	233.0	585.0
9	472.0	600.0
10	830.0	635.0
11	1014.0	672.0
12	1168.0	705.0
13	1198.0	712.0
14	1229.0	720.0
15	1291.0	747.0
16	1322.0	753.0
17	1352.0	759.0
18	1383.0	765.0
19	1521.0	775.0
20	1549.0	779.0
21	1577.0	782.0
22	1605.0	789.0
23	1633.0	791.0
24	1662.0	796.0
25	1690.0	799.0
26	1718.0	804.0
27	1746.0	810.0
28	1774.0	812.0
29	1774.0	812.0
30	1803.0	820.5

**Vertici strato .....2**

N	X (m)	y (m)
1	0.0	581.0
2	25.0	570.0
3	49.0	561.0
4	114.0	561.0
5	144.0	562.0
6	174.0	563.0
7	203.0	569.0
8	472.0	600.0
9	830.0	635.0
10	1014.0	672.0
11	1168.0	704.0
12	1322.0	732.0
13	1521.0	753.0
14	1605.0	772.0
15	1662.0	781.0

16	1690.0	790.0
17	1718.0	799.0
18	1803.0	815.0

### Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

Tangente angolo di resistenza al taglio	1.25
Coesione efficace	1.25
Coesione non drenata	1.4
Riduzione parametri geotecnici terreno	No

### Stratigrafia

Strato	Coesione (kg/cm <sup>2</sup> )	Coesione non drenata (kg/cm <sup>2</sup> )	Angolo resistenza al taglio (°)	Peso unità di volume (Kg/m <sup>3</sup> )	Peso saturo (Kg/m <sup>3</sup> )	Litologia	
1	0.02		13	2000	2000	Frana attiva	
2	0.05		22	2000	2000	Frana quiescente	
3	0.2		31	2100	2300	Detrito/Primo substrato arenaceo-pelittico	

### Risultati analisi pendio [Utente]

Fs minimo individuato	1.04
Ascissa centro superficie	901.5 m
Ordinata centro superficie	890.0 m
Raggio superficie	230.17 m

**xc = 901.50 yc = 890.00 Rc = 230.166 Fs=1.04**

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (Kg)	Kh•Wi (Kg)	Kv•Wi (Kg)	c (kg/cm <sup>2</sup> )	Fi (°)	Ui (Kg)	N'i (Kg)	Ti (Kg)
1	5.84	-1.1	5.84	10763.3	0.0	0.0	0.02	13.0	0.0	10831.2	3527.0
2	5.84	0.4	5.84	31004.2	0.0	0.0	0.02	13.0	0.0	30951.8	7991.9
3	5.84	1.8	5.85	49508.34	0.0	0.0	0.02	13.0	0.0	49148.5	12030.5
4	5.84	3.3	5.85	66273.13	0.0	0.0	0.02	13.0	0.0	65482.0	15656.3
5	4.37	4.6	4.38	59393.31	0.0	0.0	0.02	13.0	0.0	58479.2	13819.1
6	7.32	6.0	7.36	118237.4	0.0	0.0	0.02	13.0	0.0	116026.9	27162.8
7	5.84	7.7	5.91	109948.0	0.0	0.0	0.02	13.0	0.0	107571.8	25004.8
8	5.84	9.1	5.92	121875.0	0.0	0.0	0.02	13.0	0.0	119009.3	27547.2
9	5.84	10.6	5.95	132005.6	0.0	0.0	0.02	13.0	0.0	128734.8	29710.6
10	6.15	12.1	6.29	147874.8	0.0	0.0	0.02	13.0	0.0	144117.5	33190.6
11	5.54	13.6	5.71	35238.3	0.0	0.0	0.02	13.0	0.0	31800.0	30343.1
12	5.84	15.1	6.05	138561.3	0.0	0.0	0.02	13.0	0.0	135112.6	31146.4
13	5.84	16.6	6.11	32382.2	0.0	0.0	0.02	13.0	0.0	29242.4	29852.5
14	5.84	18.1	6.15	24234.5	0.0	0.0	0.02	13.0	0.0	21510.3	28146.5
15	7.93	20.0	8.44	152113.7	0.0	0.0	0.02	13.0	0.0	149217.1	34735.5
16	3.75	21.5	4.03	62989.33	0.0	0.0	0.02	13.0	0.0	61978.2	14529.0
17	5.84	22.8	6.34	82736.2	0.0	0.0	0.02	13.0	0.0	81621.7	19331.2
18	5.84	24.4	6.42	62024.09	0.0	0.0	0.02	13.0	0.0	61366.9	14851.3
19	5.84	26.0	6.53	9019.65	0.0	0.0	0.02	13.0	0.0	38622.3	9820.4
20	5.84	27.6	6.59	13621.39	0.0	0.0	0.02	13.0	0.0	13179.8	4192.5

# FRANA OVEST – CORPO QUIESCENTE – CONDIZIONI SISMICHE

## Analisi di stabilità dei pendii con: BISHOP (1955)

Normativa	Utente
Numero di strati	2.0
Numero dei conci	20.0
Grado di sicurezza ritenuto accettabile	1.1
Coefficiente parziale resistenza	1.0
Parametri geotecnici da usare. Angolo di attrito:	Picco
Analisi	Condizione drenata
Superficie di forma circolare	

## Maglia dei Centri

Ascissa vertice sinistro inferiore xi	0.0 m
Ordinata vertice sinistro inferiore yi	890.0 m
Ascissa vertice destro superiore xs	1046.0 m
Ordinata vertice destro superiore ys	1080.0 m
Passo di ricerca	10.0
Numero di celle lungo x	20.0
Numero di celle lungo y	10.0

## Sisma

Coefficiente azione sismica orizzontale	0.077
Coefficiente azione sismica verticale	0.038
Intensità di Arias	0.003 m/s
Intensità degli incroci con l'asse dei tempi accelerogramma	13.377 1/s
Durata accelerogramma Trifunac (1975)	13.480 s

## Vertici profilo

Nr	X (m)	y (m)
1	0.0	648.0
2	30.0	653.0
3	60.0	657.0
4	90.0	664.0
5	120.0	670.0
6	150.0	676.0
7	180.0	683.0
8	210.0	689.0
9	240.0	694.0
10	270.0	697.0
11	293.0	700.0
12	320.0	704.0
13	348.0	708.0
14	375.0	712.0
15	403.0	716.0
16	431.0	720.0
17	458.0	728.0
18	486.0	736.0
19	513.0	741.0
20	543.0	744.0
21	572.0	752.0
22	602.0	761.0
23	632.0	766.0
24	661.0	775.0
25	691.0	785.0
26	720.0	790.0
27	750.0	798.0
28	779.0	804.0
29	809.0	809.0
30	839.0	814.0
31	868.0	823.0
32	898.0	832.0

33	927.0	839.0
34	957.0	846.0
35	986.0	852.0
36	1016.0	857.0
37	1046.0	864.0

### Vertici strato .....1

N	X (m)	y (m)
1	0.0	634.0
2	293.0	686.0
3	375.0	695.0
4	513.0	726.0
5	661.0	761.0
6	839.0	800.0
7	1046.0	850.0

### Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

Tangente angolo di resistenza al taglio	1.25
Coesione efficace	1.25
Coesione non drenata	1.4
Riduzione parametri geotecnici terreno	No

### Stratigrafia

Strato	Coesione (kg/cm <sup>2</sup> )	Coesione non drenata (kg/cm <sup>2</sup> )	Angolo resistenza al taglio (°)	Peso unità di volume (Kg/m <sup>3</sup> )	Peso saturo (Kg/m <sup>3</sup> )	Litologia
1	0.05		22	2000	2300.00	Frana attiva
2	0.2		31	2200	2400	Substrato arenaceo-pelitico

### Risultati analisi pendio [Utente]

Fs minimo individuato	1.22
Ascissa centro superficie	627.6 m
Ordinata centro superficie	890.0 m
Raggio superficie	129.52 m

**xc = 810.65 yc = 1032.50 Rc = 230.843 Fs=1.312**

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (Kg)	Kh•Wi (Kg)	Kv•Wi (Kg)	c (kg/cm <sup>2</sup> )	Fi (°)	Ui (Kg)	N'i (Kg)	Ti (Kg)
1	0.47	-7.9	0.47	76.58	5.9	2.91	0.05	22.0	0.0	107.0	213.7
2	15.84	-5.9	15.9277291.07	5951.41	2937.06	0.05	22.0	0.0	80906.0	30973.5	
3	8.15	-2.9	8.1787481.09	6736.04	3324.28	0.05	22.0	0.0	89150.2	30555.5	
4	6.01	-1.2	6.0181613.96	6284.28	3101.33	0.05	22.0	0.0	82186.3	27589.1	
5	10.3	0.9	10.31168473.1	12972.43	6401.98	0.05	22.0	0.0	167650.0	55536.8	
6	8.15	3.2	8.17153121.5	11790.36	5818.62	0.05	22.0	0.0	150621.0	49479.8	
7	11.54	5.6	11.6237134.4	18259.35	9011.11	0.05	22.0	0.0	230856.1	75486.2	
8	4.77	7.7	4.81105186.9	8099.39	3997.1	0.05	22.0	0.0	101680.7	33135.4	
9	8.15	9.3	8.26196884.5	15160.1	7481.61	0.05	22.0	0.0	189454.0	61470.8	
10	8.15	11.3	8.32213989.0	16477.16	8131.58	0.05	22.0	0.0	204964.3	66266.2	
11	7.92	13.4	8.14219482.7	16900.17	8340.34	0.05	22.0	0.0	209527.2	67604.2	
12	8.39	15.5	8.7239008.6	18403.66	9082.33	0.05	22.0	0.0	227678.3	73406.1	
13	8.15	17.6	8.56232768.2	17923.15	8845.19	0.05	22.0	0.0	221531.3	71457.3	
14	8.15	19.7	8.66227718.2	17534.3	8653.29	0.05	22.0	0.0	216802.1	70042.8	
15	5.3	21.5	5.7142575.5	10978.31	5417.87	0.05	22.0	0.0	135906.5	44009.5	
16	11.01	23.7	12.02268009.1	20636.7	10184.35	0.05	22.0	0.0	256090.3	83417.8	
17	8.15	26.3	9.1163285.3	12572.97	6204.84	0.05	22.0	0.0	156618.2	51681.4	
18	9.84	28.9	11.23147143.0	11330.01	5591.43	0.05	22.0	0.0	141629.1	47879.6	
19	6.47	31.2	7.5760942.54	4692.58	2315.82	0.05	22.0	0.0	58580.8	20917.2	
20	8.15	33.4	9.7629271.86	2253.93	1112.33	0.05	22.0	0.0	27103.8	12063.4	



**FRANA OVEST – CORPO ATTIVO – CONDIZIONI SISMICHE****Analisi di stabilità dei pendii con: BISHOP (1955)**

Normativa	Utente
Numero di strati	4.0
Numero dei conci	20.0
Grado di sicurezza ritenuto accettabile	1.1
Coefficiente parziale resistenza	1.0
Parametri geotecnici da usare. Angolo di attrito:	residui
Analisi	Condizione drenata
Superficie di forma circolare	

**Maglia dei Centri**

Ascissa vertice sinistro inferiore xi	0.0 m
Ordinata vertice sinistro inferiore yi	890.0 m
Ascissa vertice destro superiore xs	1046.0 m
Ordinata vertice destro superiore ys	1080.0 m
Passo di ricerca	10.0
Numero di celle lungo x	30.0
Numero di celle lungo y	20.0

**Sisma**

Coefficiente azione sismica orizzontale	0.0765
Coefficiente azione sismica verticale	0.0382
Intensità di Arias	0.003 m/s
Intensità degli incroci con l'asse dei tempi accelerogramma	13.377 1/s
Durata accelerogramma Trifunac (1975)	13.480 s

**Vertici profilo**

Nr	X (m)	y (m)
1	0.0	648.0
2	30.0	653.0
3	60.0	657.0
4	90.0	664.0
5	120.0	670.0
6	150.0	676.0
7	180.0	683.0
8	210.0	689.0
9	240.0	694.0
10	270.0	697.0
11	293.0	700.0
12	320.0	704.0
13	348.0	708.0
14	375.0	712.0
15	403.0	716.0
16	431.0	720.0
17	458.0	728.0
18	486.0	736.0
19	513.0	741.0
20	543.0	744.0
21	572.0	752.0
22	602.0	761.0
23	632.0	766.0
24	661.0	775.0
25	691.0	785.0
26	720.0	790.0
27	750.0	798.0
28	779.0	804.0
29	809.0	809.0
30	839.0	814.0
31	868.0	823.0



32	898.0	832.0
33	927.0	839.0
34	957.0	846.0
35	986.0	852.0
36	1016.0	857.0
37	1046.0	864.0

**Vertici strato .....1**

N	X (m)	y (m)
1	0.0	648.0
2	30.0	653.0
3	30.0	653.0
4	60.0	657.0
5	90.0	664.0
6	120.0	670.0
7	150.0	676.0
8	180.0	683.0
9	210.0	689.0
10	240.0	694.0
11	270.0	697.0
12	293.0	700.0
13	320.0	704.0
14	348.0	708.0
15	375.0	712.0
16	403.0	716.0
17	431.0	720.0
18	458.0	728.0
19	486.0	736.0
20	513.0	741.0
21	543.0	744.0
22	572.0	752.0
23	602.0	761.0
24	632.0	766.0
25	691.0	770.0
26	750.0	783.0
27	809.0	795.0
28	868.0	815.0
29	898.0	832.0
30	927.0	839.0
31	957.0	846.0
32	986.0	852.0
33	1016.0	857.0
34	1046.0	864.0

**Vertici strato .....2**

N	X (m)	y (m)
1	0.0	648.0
2	30.0	653.0
3	30.0	653.0
4	60.0	657.0
5	90.0	664.0
6	120.0	670.0
7	150.0	676.0
8	180.0	683.0
9	210.0	689.0
10	240.0	694.0
11	270.0	697.0
12	293.0	700.0
13	293.0	700.0
14	320.0	701.0
15	375.0	707.0
16	431.0	715.0
17	458.0	723.0
18	513.0	736.0
19	543.0	740.0
20	572.0	752.0
21	572.0	752.0
22	602.0	761.0

## SLOPE

23	632.0	766.0
24	691.0	770.0
25	750.0	783.0
26	809.0	795.0
27	868.0	815.0
28	898.0	832.0
29	927.0	839.0
30	957.0	846.0
31	986.0	852.0
32	1016.0	857.0
33	1046.0	864.0

## Vertici strato .....3

N	X (m)	y (m)
1	0.0	634.0
2	293.0	686.0
3	375.0	695.0
4	513.0	726.0
5	661.0	761.0
6	839.0	800.0
7	1046.0	850.0

## Coefficients parziali per i parametri geotecnici del terreno

Tangente angolo di resistenza al taglio	1.25
Coesione efficace	1.25
Coesione non drenata	1.4
Riduzione parametri geotecnici terreno	No

## Stratigrafia

Strato	Coesione (kg/cm <sup>2</sup> )	Coesione non drenata (kg/cm <sup>2</sup> )	Angolo resistenza al taglio (°)	Peso unità di volume (Kg/m <sup>3</sup> )	Peso saturo (Kg/m <sup>3</sup> )	Litologia	
1	0.02		13	2000	2000	Frana attiva 1	
2	0.02		13	2000	2000	Frana attiva 2	
3	0.05		22	2000	2000	Frana quiescente	
4	0.2		31	2100	2300	Detrito/Prim o substrato arenaceo- pelitico	

## Risultati analisi pendio [Utente]

Fs minimo individuato	0.69
Ascissa centro superficie	836.8 m
Ordinata centro superficie	909.0 m
Raggio superficie	95.54 m

$$x_c = 836.80 \quad y_c = 909.00 \quad R_c = 95.541 \quad F_s = 0.693$$

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (Kg)	Kh•Wi (Kg)	Kv•Wi (Kg)	c (kg/cm <sup>2</sup> )	Fi (°)	Ui (Kg)	N'i (Kg)	Ti (Kg)
1	3.22	0.4	3.22	1742.69	133.32	66.57	0.02	13.0	0.0	1733.5	1505.8
2	2.19	2.0	2.2	3617.39	276.73	138.18	0.02	13.0	0.0	3556.6	1818.3
3	2.71	3.4	2.71	7944.9	607.79	303.5	0.02	13.0	0.0	7756.7	3366.2
4	2.71	5.1	2.72	11396.24	871.81	435.34	0.02	13.0	0.0	11044.5	4463.1
5	2.71	6.7	2.72	14431.14	1103.98	551.27	0.02	13.0	0.0	13893.8	5414.6
6	2.71	8.3	2.73	17041.02	1303.64	650.97	0.02	13.0	0.0	16310.7	6222.7
7	2.71	10.0	2.75	19222.58	1470.53	734.3	0.02	13.0	0.0	18304.6	6890.6
8	2.71	11.6	2.76	20968.56	1604.1	801.0	0.02	13.0	0.0	19880.5	7420.0
9	2.71	13.3	2.78	22275.14	1704.05	850.91	0.02	13.0	0.0	21042.2	7812.1
10	2.71	15.0	2.82	23130.97	1769.52	883.6	0.02	13.0	0.0	21786.6	8066.0
11	2.71	16.7	2.82	23527.58	1799.86	898.75	0.02	13.0	0.0	22110.4	8180.7

SLOPE

---

12	2.46	18.3	2.5921323.74	1631.27	814.57	0.02	13.0	0.020008.4	7412.7
13	2.95	20.0	3.1424930.37	1907.17	952.34	0.02	13.0	0.023367.1	8691.0
14	2.71	21.8	2.9121588.75	1651.54	824.69	0.02	13.0	0.020221.1	7577.3
15	2.71	23.6	2.9519857.51	1519.1	758.56	0.02	13.0	0.018591.5	7045.3
16	2.71	25.4	2.9917589.22	1345.58	671.91	0.02	13.0	0.016456.9	6346.3
17	2.71	27.2	3.0414758.73	1129.04	563.78	0.02	13.0	0.013782.3	5469.0
18	2.71	29.0	3.0911337.78	867.34	433.1	0.02	13.0	0.010524.9	4398.9
19	2.71	30.9	3.157298.79	558.36	278.81	0.02	13.0	0.06638.0	3121.0
20	2.71	32.8	3.222602.95	199.13	99.43	0.02	13.0	0.02056.6	1613.9

**FRANA EST – CORPO QUIESCENTE – CONDIZIONI SISMICHE****Analisi di stabilità dei pendii con: BISHOP (1955)**

Normativa	Utente
Numero di strati	2.0
Numero dei conci	20.0
Grado di sicurezza ritenuto accettabile	1.1
Coefficiente parziale resistenza	1.0
Parametri geotecnici da usare. Angolo di attrito:	Picco
Analisi	Condizione drenata
Superficie di forma circolare	

**Maglia dei Centri**

Ascissa vertice sinistro inferiore xi	0.0 m
Ordinata vertice sinistro inferiore yi	890.0 m
Ascissa vertice destro superiore xs	1803.0 m
Ordinata vertice destro superiore ys	1100.0 m
Passo di ricerca	10.0
Numero di celle lungo x	20.0
Numero di celle lungo y	10.0

**Sisma**

Coefficiente azione sismica orizzontale	0.0722
Coefficiente azione sismica verticale	0.0361
Intensità di Arias	0.003 m/s
Intensità degli incroci con l'asse dei tempi accelerogramma	13.377 1/s
Durata accelerogramma Trifunac (1975)	13.480 s

**Vertici profilo**

Nr	X (m)	y (m)
1	0.0	581.0
2	25.0	570.0
3	49.0	561.0
4	114.0	561.0
5	143.0	574.0
6	174.0	578.0
7	203.0	584.0
8	233.0	586.0
9	263.0	589.0
10	293.0	592.0
11	323.0	597.0
12	353.0	601.0
13	382.0	604.0
14	412.0	606.0
15	442.0	610.0
16	472.0	615.0
17	512.0	616.0
18	539.0	620.0
19	566.0	624.0
20	593.0	627.0
21	619.0	630.0
22	646.0	633.0
23	673.0	637.0
24	700.0	638.0
25	830.0	650.0
26	861.0	655.0
27	891.0	659.0
28	922.0	668.0
29	953.0	678.0
30	984.0	684.0
31	1014.0	688.0

32	1045.0	696.0
33	1076.0	703.0
34	1107.0	707.0
35	1137.0	714.0
36	1168.0	722.0
37	1199.0	728.0
38	1229.0	736.0
39	1260.0	741.0
40	1291.0	747.0
41	1322.0	753.0
42	1352.0	759.0
43	1383.0	765.0
44	1521.0	775.0
45	1549.0	779.0
46	1577.0	782.0
47	1605.0	789.0
48	1633.0	791.0
49	1662.0	796.0
50	1690.0	799.0
51	1718.0	804.0
52	1746.0	810.0
53	1774.0	812.0
54	1803.0	820.5

**Vertici strato .....1**

N	X (m)	y (m)
1	0.0	581.0
2	25.0	570.0
3	49.0	561.0
4	114.0	561.0
5	144.0	562.0
6	174.0	563.0
7	203.0	569.0
8	472.0	600.0
9	830.0	635.0
10	1014.0	672.0
11	1168.0	704.0
12	1322.0	732.0
13	1521.0	753.0
14	1605.0	772.0
15	1662.0	781.0
16	1690.0	790.0
17	1718.0	799.0
18	1803.0	815.0

**Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno**

Tangente angolo di resistenza al taglio	1.25
Coesione efficace	1.25
Coesione non drenata	1.4
Riduzione parametri geotecnici terreno	No

**Stratigrafia**

Strato	Coesione (kg/cm <sup>2</sup> )	Coesione non drenata (kg/cm <sup>2</sup> )	Angolo resistenza al taglio (°)	Peso unità di volume (Kg/m <sup>3</sup> )	Peso saturo (Kg/m <sup>3</sup> )	Litologia	
1	0.05		22	2000	2000	Frana quiescente	
2	0.2		31	2100	2300	Detrito/Prim o substrato arenaceo- pelitico	

**Risultati analisi pendio [Utente]**

Fs minimo individuato	1.37
Ascissa centro superficie	901.5 m
Ordinata centro superficie	890.0 m
Raggio superficie	230.17 m

**xc = 1126.875 yc = 963.50 Rc = 284.315 Fs=2.272**

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (Kg)	Kh•Wi (Kg)	Kv•Wi (Kg)	c (kg/cm <sup>2</sup> )	Fi (°)	Ui (Kg)	N'i (Kg)	Ti (Kg)
1	8.29	-17.6	8.7	40131.6	2897.5	1448.75	0.05	22.0	0.045267.9	9962.9	
2	19.73	-14.7	20.39385565.8	27837.85	13918.92	0.05	22.0	0.0419287.4	79040.3		
3	11.27	-11.5	11.5380292.9	27457.15	13728.57	0.05	22.0	0.0403090.1	74203.4		
4	16.75	-8.6	16.94733952.9	52991.4	26495.7	0.2	31.0	0.0775578.9	219996.7		
5	14.25	-5.5	14.32743404.4	53673.8	26836.9	0.2	31.0	0.0767347.6	215513.9		
6	13.77	-2.6	13.78820108.1	59211.8	29605.9	0.2	31.0	0.0831580.5	232026.3		
7	16.23	0.4	16.231095745.0	79112.78	39556.39	0.2	31.0	0.01093629.0303480.8			
8	11.78	3.2	11.8868303.5	62691.51	31345.76	0.2	31.0	0.0856322.8	236828.8		
9	19.22	6.4	19.331523284.0	109981.1	54990.54	0.2	31.0	0.01486955.0410217.9			
10	8.8	9.2	8.92723541.2	52239.68	26119.84	0.2	31.0	0.0701628.3	193383.2		
11	14.01	11.6	14.31154718.0	83370.65	41685.32	0.2	31.0	0.01115713.0307616.8			
12	8.19	13.8	8.43668695.4	48279.8	24139.9	0.2	31.0	0.0644849.1	177941.5		
13	19.83	16.8	20.711601283.0	115612.6	57806.32	0.2	31.0	0.01543897.0426488.6			
14	10.17	20.0	10.82798892.9	57680.07	28840.04	0.2	31.0	0.0772320.1	213749.3		
15	17.85	23.0	19.391300065.0	93864.71	46932.36	0.2	31.0	0.01263313.0351129.7			
16	13.15	26.4	14.69830293.6	59947.2	29973.6	0.2	31.0	0.0813837.9	228132.1		
17	14.87	29.6	17.11783995.1	56604.45	28302.22	0.2	31.0	0.0776616.3	220420.2		
18	16.13	33.3	19.3632214.7	45645.9	22822.95	0.05	22.0	0.0674873.8	124245.6		
19	11.89	36.8	14.84296973.8	21441.51	10720.75	0.05	22.0	0.0325052.1	61061.5		
20	14.01	40.1	18.31132640.1	9576.61	4788.31	0.05	22.0	0.0147859.6	30320.2		

**FRANA EST – CORPO ATTIVO – CONDIZIONI SISMICHE****Analisi di stabilità dei pendii con: BISHOP (1955)**

Normativa	Utente
Numero di strati	3.0
Numero dei conci	20.0
Grado di sicurezza ritenuto accettabile	1.1
Coefficiente parziale resistenza	1.0
Parametri geotecnici da usare. Angolo di attrito:	residui
Analisi	Condizione drenata
Superficie di forma circolare	

**Maglia dei Centri**

Ascissa vertice sinistro inferiore xi	0.0 m
Ordinata vertice sinistro inferiore yi	890.0 m
Ascissa vertice destro superiore xs	1803.0 m
Ordinata vertice destro superiore ys	1100.0 m
Passo di ricerca	10.0
Numero di celle lungo x	20.0
Numero di celle lungo y	10.0

**Sisma**

Coefficiente azione sismica orizzontale	0.0722
Coefficiente azione sismica verticale	0.0361
Intensità di Arias	0.003 m/s
Intensità degli incroci con l'asse dei tempi accelerogramma	13.377 1/s
Durata accelerogramma Trifunac (1975)	13.480 s

**Vertici profilo**

Nr	X (m)	y (m)
1	0.0	581.0
2	25.0	570.0
3	49.0	561.0
4	114.0	561.0
5	143.0	574.0
6	174.0	578.0
7	203.0	584.0
8	233.0	586.0
9	263.0	589.0
10	293.0	592.0
11	323.0	597.0
12	353.0	601.0
13	382.0	604.0
14	412.0	606.0
15	442.0	610.0
16	472.0	615.0
17	512.0	616.0
18	539.0	620.0
19	566.0	624.0
20	593.0	627.0
21	619.0	630.0
22	646.0	633.0
23	673.0	637.0
24	700.0	638.0
25	830.0	650.0
26	861.0	655.0
27	891.0	659.0
28	922.0	668.0
29	953.0	678.0
30	984.0	684.0
31	1014.0	688.0
32	1045.0	696.0

33	1076.0	703.0
34	1107.0	707.0
35	1137.0	714.0
36	1168.0	722.0
37	1199.0	728.0
38	1229.0	736.0
39	1260.0	741.0
40	1291.0	747.0
41	1322.0	753.0
42	1352.0	759.0
43	1383.0	765.0
44	1521.0	775.0
45	1549.0	779.0
46	1577.0	782.0
47	1605.0	789.0
48	1633.0	791.0
49	1662.0	796.0
50	1690.0	799.0
51	1718.0	804.0
52	1746.0	810.0
53	1774.0	812.0
54	1803.0	820.5

**Vertici strato .....1**

N	X (m)	y (m)
1	0.0	581.0
2	25.0	570.0
3	49.0	561.0
4	114.0	561.0
5	143.0	574.0
6	174.0	578.0
7	203.0	584.0
8	233.0	585.0
9	472.0	600.0
10	830.0	635.0
11	1014.0	672.0
12	1168.0	705.0
13	1198.0	712.0
14	1229.0	720.0
15	1291.0	747.0
16	1322.0	753.0
17	1352.0	759.0
18	1383.0	765.0
19	1521.0	775.0
20	1549.0	779.0
21	1577.0	782.0
22	1605.0	789.0
23	1633.0	791.0
24	1662.0	796.0
25	1690.0	799.0
26	1718.0	804.0
27	1746.0	810.0
28	1774.0	812.0
29	1774.0	812.0
30	1803.0	820.5

**Vertici strato .....2**

N	X (m)	y (m)
1	0.0	581.0
2	25.0	570.0
3	49.0	561.0
4	114.0	561.0
5	144.0	562.0
6	174.0	563.0
7	203.0	569.0
8	472.0	600.0
9	830.0	635.0
10	1014.0	672.0



11	1168.0	704.0
12	1322.0	732.0
13	1521.0	753.0
14	1605.0	772.0
15	1662.0	781.0
16	1690.0	790.0
17	1718.0	799.0
18	1803.0	815.0

### Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

Tangente angolo di resistenza al taglio	1.25
Coesione efficace	1.25
Coesione non drenata	1.4
Riduzione parametri geotecnici terreno	No

### Stratigrafia

Strato	Coesione (kg/cm <sup>2</sup> )	Coesione non drenata (kg/cm <sup>2</sup> )	Angolo resistenza al taglio (°)	Peso unità di volume (Kg/m <sup>3</sup> )	Peso saturo (Kg/m <sup>3</sup> )	Litologia	
1	0.02		13	2000	2000	Frana attiva	
2	0.05		22	2000	2000	Frana quiescente	
3	0.2		31	2100	2300	Detrito/Primo substrato arenaceo-pelitico	

### Risultati analisi pendio [Utente]

Fs minimo individuato	0.76
Ascissa centro superficie	901.5 m
Ordinata centro superficie	890.0 m
Raggio superficie	230.17 m

$$x_c = 901.50 \quad y_c = 890.00 \quad R_c = 230.166 \quad F_s = 0.763$$

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (Kg)	Kh•Wi (Kg)	Kv•Wi (Kg)	c (kg/cm <sup>2</sup> )	Fi (°)	Ui (Kg)	N'i (Kg)	Ti (Kg)
1	5.84	-1.1	5.84	10763.3	777.11	388.56	0.02	13.0	0.010855.3		4813.9
2	5.84	0.4	5.84	31004.2	2238.5	1119.25	0.02	13.0	0.030932.6		10885.5
3	5.84	1.8	5.85	49508.34	3574.5	1787.25	0.02	13.0	0.049010.1		16353.2
4	5.84	3.3	5.85	66273.13	4784.92	2392.46	0.02	13.0	0.065160.7		21239.3
5	4.37	4.6	4.38	59393.31	4288.2	2144.1	0.02	13.0	0.058088.4		18714.4
6	7.32	6.0	7.36	118237.4	8536.74	4268.37	0.02	13.0	0.0115018.8		36712.6
7	5.84	7.7	5.91	109948.0	7938.25	3969.12	0.02	13.0	0.0106396.9		33721.2
8	5.84	9.1	5.92	121875.0	8799.37	4399.69	0.02	13.0	0.0117475.0		37077.3
9	5.84	10.6	5.95	132005.6	9530.8	4765.4	0.02	13.0	0.0126821.4		39910.8
10	6.15	12.1	6.29	147874.8	10676.56	5338.28	0.02	13.0	0.0141684.3		44496.2
11	5.54	13.6	5.71	135238.3	9764.21	4882.1	0.02	13.0	0.0129311.5		40599.0
12	5.84	15.1	6.05	138561.3	10004.13	5002.06	0.02	13.0	0.0132293.7		41593.8
13	5.84	16.6	6.11	132382.2	9558.0	4779.0	0.02	13.0	0.0126278.1		39786.5
14	5.84	18.1	6.15	124234.5	8969.73	4484.87	0.02	13.0	0.0118466.6		37437.5
15	7.93	20.0	8.44	152113.7	10982.61	5491.31	0.02	13.0	0.0145094.8		46090.9
16	3.75	21.5	4.03	62989.33	4547.83	2273.92	0.02	13.0	0.060122.3		19238.8
17	5.84	22.8	6.34	82736.2	5973.55	2986.78	0.02	13.0	0.079006.6		25553.7
18	5.84	24.4	6.42	62024.09	4478.14	2239.07	0.02	13.0	0.059219.0		19589.8
19	5.84	26.0	6.53	9019.65	2817.22	1408.61	0.02	13.0	0.037108.4		12925.4
20	5.84	27.6	6.59	13621.39	983.46	491.73	0.02	13.0	0.012492.6		5505.7