



PROTEZIONE CIVILE  
Presidenza del Consiglio dei Ministri  
Dipartimento della Protezione Civile



CONFERENZA DELLE REGIONI E  
DELLE PROVINCE AUTONOME

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

# MICROZONAZIONE SISMICA

## Relazione illustrativa

### Livello 3

Regione Emilia-Romagna  
Comune di Lama Mocogno



Regione	Soggetto realizzatore <i>Dott. Geol. Marco Santi Bortolotti</i>	Data <i>LUGLIO 2020</i>  FASCICOLO 1  RELAZIONE TECNICA MICROZONAZIONE SISMICA III° LIVELLO
---------	--	--

## INDICE

<b>1</b>	<b>INTRODUZIONE.....</b>	<b>2</b>
1.1	RIFERIMENTI TECNICI NORMATIVI .....	3
1.2	METODOLOGIA DI STUDIO .....	4
<b>2</b>	<b>ASSETTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO DELL'AREA.....</b>	<b>6</b>
2.1	STRATIGRAFIA DEL SUBSTRATO .....	7
<b>3</b>	<b>GEODINAMICA DEL VERSANTE – DINAMICA GEOMORFOLOGICA .....</b>	<b>8</b>
<b>4</b>	<b>DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE E DEGLI EVENTI DI RIFERIMENTO.....</b>	<b>12</b>
4.1	SISMICITÀ STORICA .....	12
4.2	SISMICITÀ RECENTE .....	17
4.3	SISMOTETTONICA.....	19
4.4	ZONAZIONE SIMOGENETICA .....	21
4.5	NORMATIVA SISMICA DI RIFERIMENTO .....	23
<b>5</b>	<b>INDAGINI GEOGNOSTICHE E DATI GEOTECNICI E GEOFISICI.....</b>	<b>25</b>
<b>6</b>	<b>DEFINIZIONE DEL MODELLO GEOLOGICO-STRATIGRAFICO .....</b>	<b>28</b>
<b>7</b>	<b>CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEI TERRENI .....</b>	<b>37</b>
7.1	PROPRIETÀ GEOTECNICHE DINAMICHE .....	38
<b>8</b>	<b>ANALISI DELLA RISPOSTA SISMICA LOCALE (RSL).....</b>	<b>39</b>
8.1	DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE E DEGLI EVENTI DI RIFERIMENTO.....	39
8.2	SELEZIONE DELL'INPUT SISMICO.....	41
8.3	INDIVIDUAZIONE DEI SITI – DEFINIZIONE DEI PARAMETRI DEL MODELLO .....	45
8.4	RISULTATI DELLA MODELLAZIONE NUMERICA.....	48
<b>9</b>	<b>VERIFICHE DI STABILITÀ.....</b>	<b>51</b>
9.1	MODELLAZIONE GEOTECNICA – SCELTA DEI PARAMETRI GEOTECNICI .....	51
9.2	VERIFICHE DI STABILITÀ IN CONDIZIONI STATICHE (PRE-SISMICHE) - SCHEMA DEL PENDIO INDEFINITO .....	53
9.3	VERIFICHE DI STABILITÀ IN CONDIZIONI STATICHE (PRE-SISMICHE) CON METODI DELLE STRISCE.....	56
9.4	VERIFICHE DI STABILITÀ IN CONDIZIONI SISMICHE E POST-SISMICHE .....	58
9.5	STIMA DEGLI SPOSTAMENTI PERMANENTI ATTESI.....	60
9.6	ANALISI DELLE CONDIZIONI POST-SISMICHE.....	62
<b>10</b>	<b>ELABORATI CARTOGRAFICI.....</b>	<b>64</b>
<b>11</b>	<b>CONCLUSIONI.....</b>	<b>67</b>

## ALLEGATI

ALLEGATO 1	INDAGINI SISMICHE – MASW DI NUOVA REALIZZAZIONE
ALLEGATO 2	INDAGINI SISMICHE – HVSR DI NUOVA REALIZZAZIONE
ALLEGATO 3	SONDAGGI A CAROTAGGIO CONTINUO DI NUOVA REALIZZAZIONE
ALLEGATO 4	SISMICA A RIFRAZIONE DI NUOVA REALIZZAZIONE
ALLEGATO 5	MISURE INCLINOMETRICHE
ALLEGATO 6	VERIFICHE DI STABILITÀ

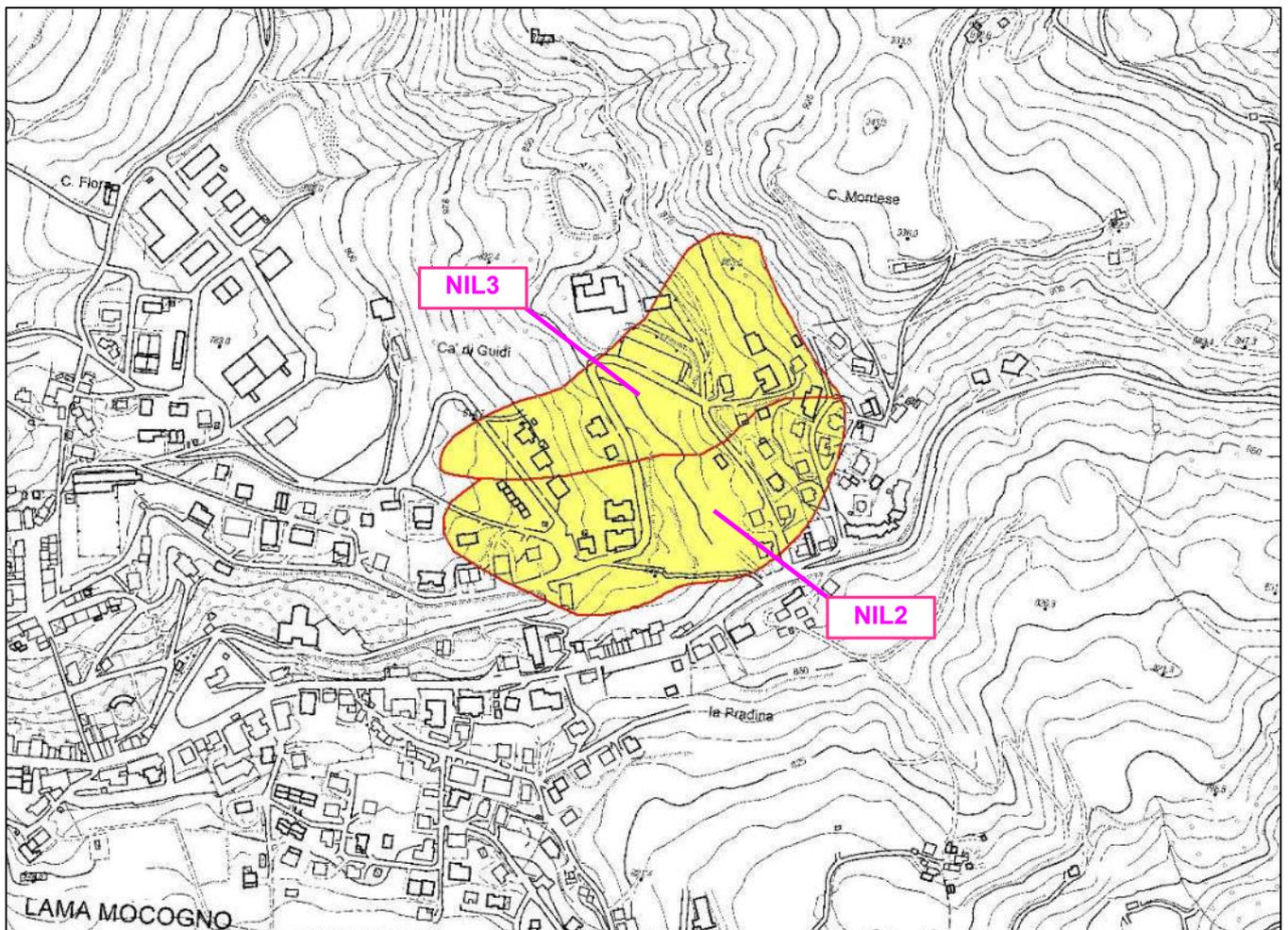
---

# Relazione Illustrativa

## 1 INTRODUZIONE

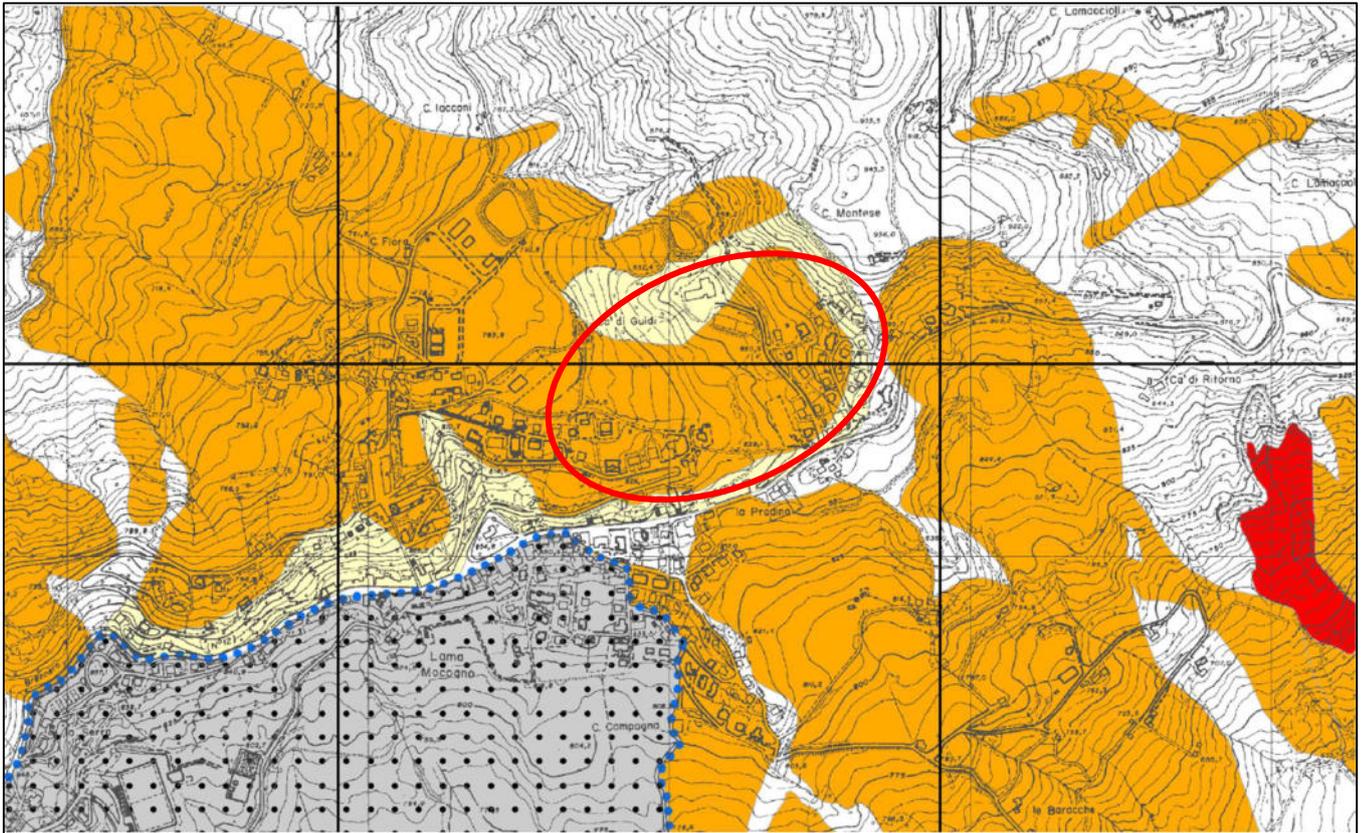
Lo Studio di Microzonazione Sismica di livello 1-2 eseguito nel Comune di Lama Mocogno nel 2013 (DGR 1302/2012 e OPCM 4007/2012) ha individuato diverse zone suscettibili di instabilità, alcune delle quali coinvolgono anche il capoluogo; si tratta di corpi di frana in terra classificati quiescenti che 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, la cui ubicazione è riportata nella figura successiva, direttamente interferenti con l'abitato di Lama Mocogno e denominati rispettivamente NIL2 e NIL3 come i due ambiti del PSC/POC ubicati nelle vicinanze dei corpi franosi.



**FIGURA 1** – AREE SU CUI SI È SVOLTO L'APPROFONDIMENTO DI 3° LIVELLO (BASE CTR 1:5000 – SCALA GRAFICA)

Tali corpi franosi, monitorati da due inclinometri, rappresentano la parte apicale di un più esteso fenomeno franoso quiescente che dall'abitato di Lama Mocogno giunge sino all'alveo del Torrente Mocogno, come rappresentato dalla figura successiva che riporta un estratto della cartografia del dissesto del PTCP vigente della Provincia di Modena



**FIGURA 2 – STRALCIO DELLA CARTA DEL DISSESTO DEL PTCP MO**

Il presente approfondimento di 3° livello viene svolto secondo gli standard e i criteri per la realizzazione degli studi di microzonazione sismica di cui all'OCDPC n. 344/2016 e DGR 2193/2015.

### **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 successive modifiche e integrazioni.
- DAL 112/2007 Allegato A- "Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica".
- DGR 2193/2015
- DGR 2188/2016 "OCDPC 9 maggio 2016, n. 344 - annualità 2015 - attuazione dell'art.2, comma 1, lett. a), b) c). approvazione dei criteri, delle linee guida e delle indicazioni tecniche e procedurali per la presentazione dei progetti e l'attribuzione dei contributi per la realizzazione di interventi di riduzione

del rischio sismico in edifici pubblici strategici e rilevanti, in edifici privati e per studi di microzonazione sismica

## 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 2013, prevede un locale approfondimento di terzo livello.

### 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 Regione Emilia-Romagna.

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 di nuova realizzazione (sondaggi a carotaggio continuo attrezzati con inclinometri). Le risorse economiche disponibili hanno inoltre permesso di eseguire un monitoraggio inclinometrico della strumentazione installata.

Sono state inoltre utilizzate le indagini presenti nel DBase del I e II Livello di MS oltre alle indagini geognostiche eseguite per gli ambiti di POC NIL2 e NIL3 e messe a disposizione dal Comune di Lama Mocogno.

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 Lama Mocogno si colloca nel medio appennino modenese, nel tratto superiore, tra circa 800-900 m s.l.m., su un crinale con due versanti ad esposizione Sud e NW, che si sviluppano a partire dalla linea di crinale sino agli alvei del T. Mocogno a Nord e del T. Scoltenna a Sud.

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 Lama Mocogno in oggetto, versante esposto a N-NW, risulta ricoperto in gran parte da una coltre detritica, il cui sottostante substrato è costituito dalla Formazione di Montevenere caratterizzata da torbiditi arenaceo-marnose con base fine grigio-chiaro, in strati da medi a molto spessi, al tetto intervalli sottili o medi di argille scure o nerastre. di ambiente marino profondo.

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.

La coltre detritica del versante di Lama Mocogno in esame è suddivisa in accumuli di origine gravitativa (a2g) identificati nella cartografia geologica CARG come depositi di frana quiescente complessa privo di evidenze di movimenti recenti.

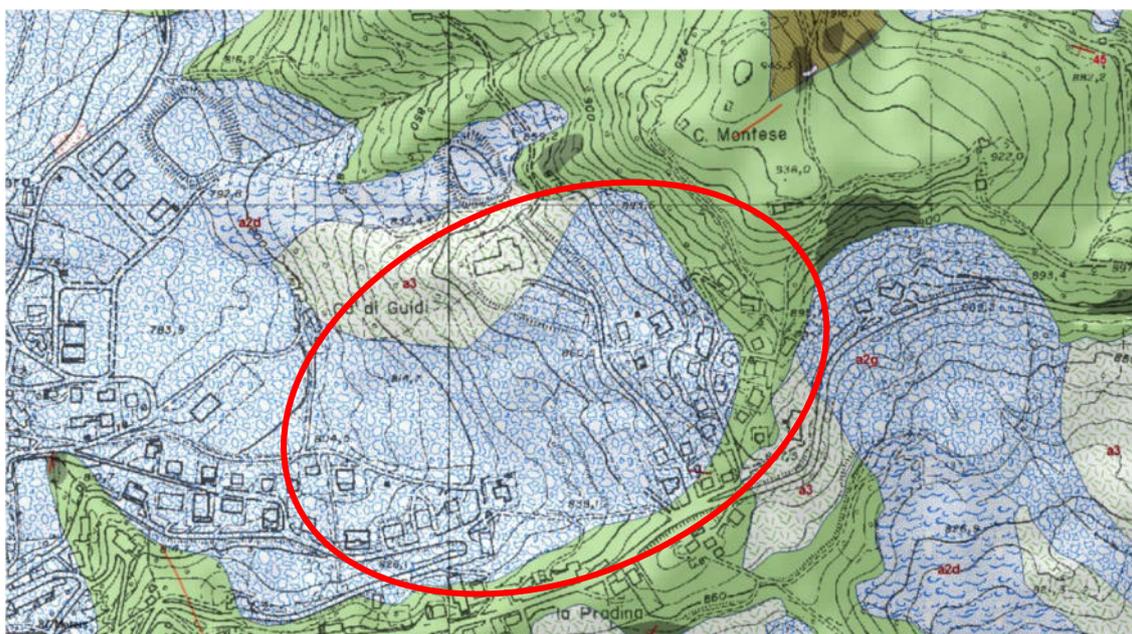


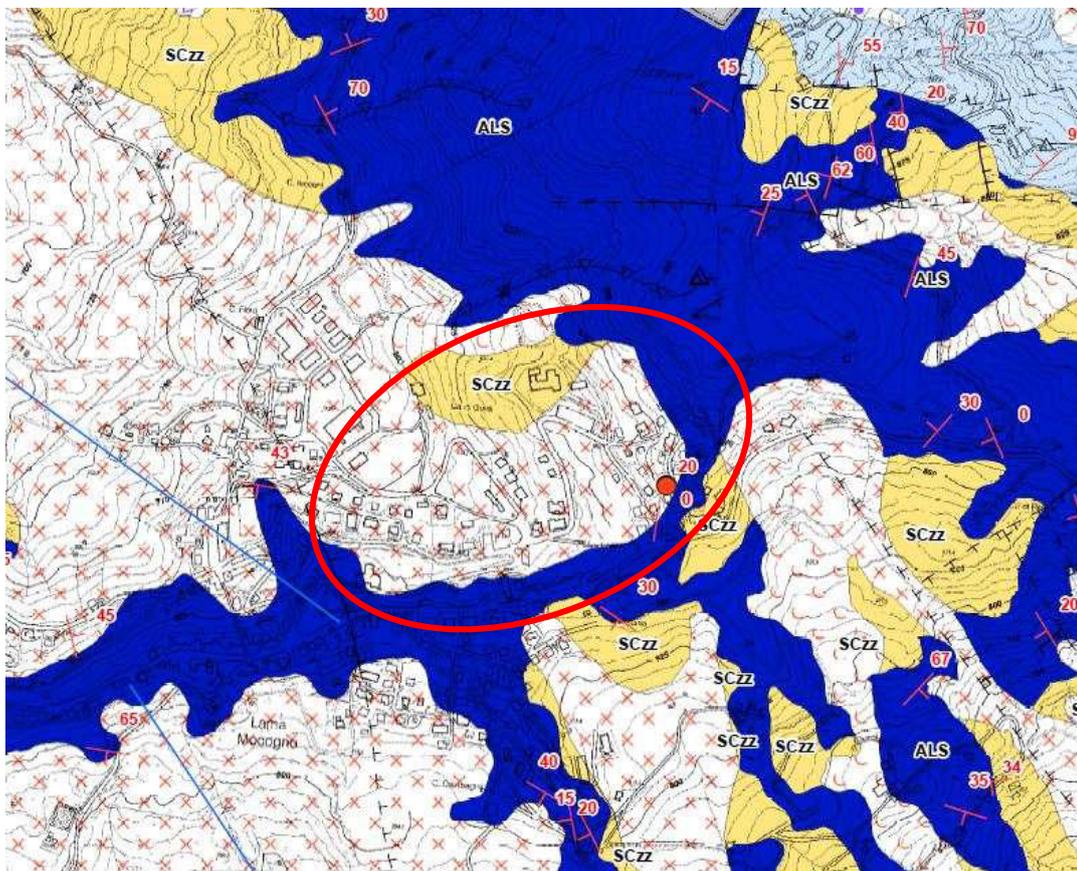
Figura 3 – Estratto cartografia geologica CARG – Regione Emilia-Romagna

## 2.1 STRATIGRAFIA DEL SUBSTRATO

Il versante su cui si colloca il capoluogo è caratterizzato dall'esclusiva diffusione dell'Unità Ligure della Formazione di Montevenere (MOV). 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, deposti 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 Montevenere (MOV)</i>	Torbiditi arenaceo-marnose con base fine grigio-chiaro, in strati da medi a molto spessi, al tetto intervalli sottili o medi di argille scure o nerastre. Intercalazioni metriche di strati arenaceo-pelitici da sottili a spessi grigio brunastri, con rapporto A/P >1, a luoghi prevalenti sugli strati calcareo-marnosi. Regolari intercalazioni di megatorbiditi calcareo-marnose in strati spessi fino a 15 m. Contatto inferiore non preservato. Torbiditi di ambiente marino profondo. Potenza fino a 900 m. <i>Campaniano su. - Maastrichtiano sup.</i>
<i>Depositi quaternari continentali privi di una formale connotazione stratigrafica</i>	Si distinguono:  <b>a2g - Deposito di frana quiescente complessa:</b> Deposito messo in posto in seguito alla combinazione nello spazio e nel tempo di due o più tipi dimovimento.



**Figura 4 – Carta Geologico tecnica (Livello 1-2)**

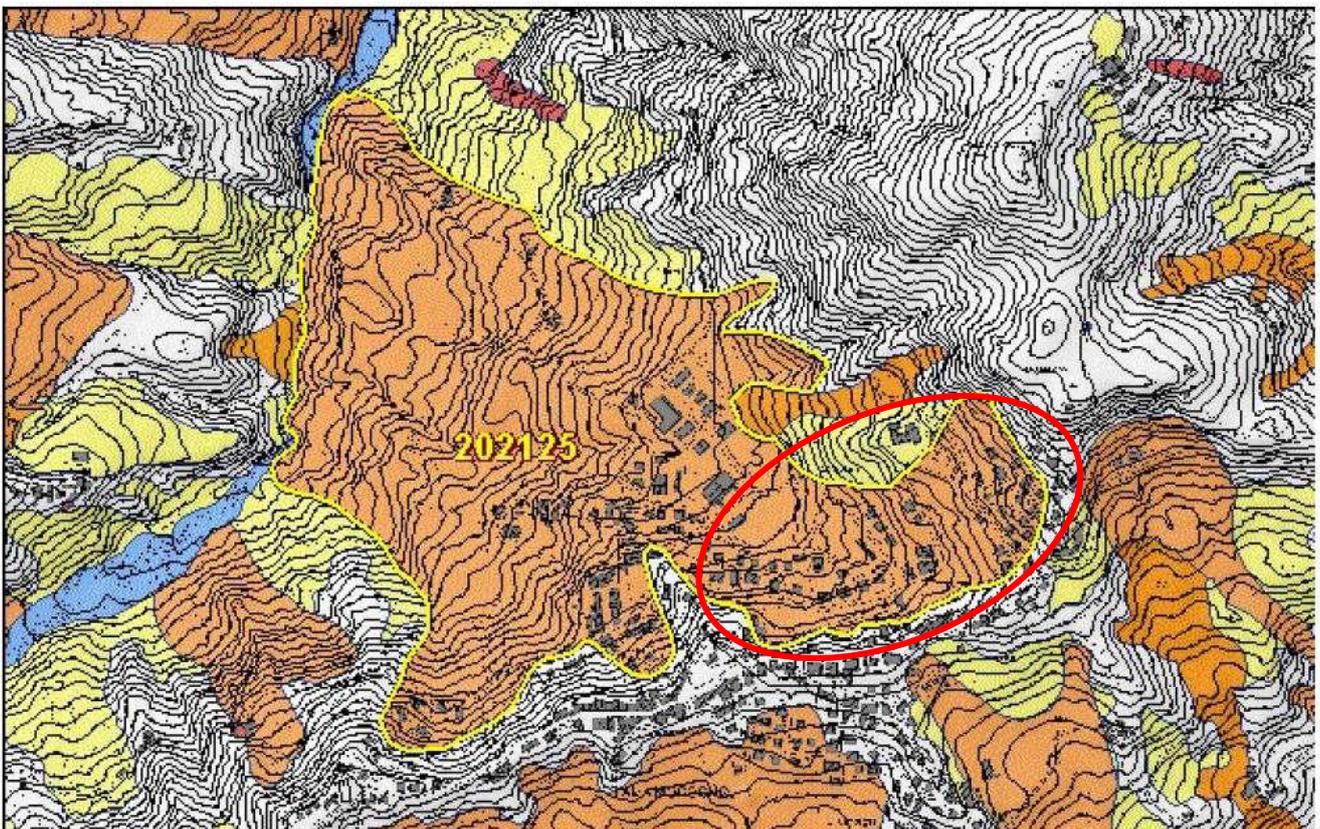
### 3 GEODINAMICA DEL VERSANTE – DINAMICA GEOMORFOLOGICA

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 ondulations 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 E STORICITA' DEL FENOMENO GRAVITATIVO

Il fenomeno gravitativo in esame nel suo complesso che dall'abitato di Lama Mocogno giunge sino all'alveo del Torrente Mocogno, per uno sviluppo complessivamente superiore a 1 km, è ricompreso all'interno dell'Archivio Storico delle frane col numero ID 202125 denominato "Mocogno".



Tale fenomeno gravitativo presenta tre riattivazioni storicamente documentate che vengono di seguito elencate:

1. Evento del 24/02/1581

Descrizione:

" .. E più oltre la Rossenna riceve il tributo del Fosso Mocogno, sul quale precipitarono di frequente frane discese dalla cresta che separa questo bacino da quello dello Scoltenna. Il Santi ricorda di un grande scosendimento che il 24 febbraio 1581 arrecò, a quanto sembra, danni assai notevoli .." Gli elementi disponibili non consentono una localizzazione più precisa. Per una corretta valutazione dell'assetto del territorio nel XVI secolo occorre considerare che l'abitato principale era rappresentato da Mocogno e nell'area circostante erano presenti gli insediamenti maggiori. L'abitato di Lama Mocogno sorge soltanto nei primi decenni del XVII secolo, attorno ad un'area sede di una Fiera periodica, ed assume al ruolo di Capoluogo sul finire dell' '800.

Cause innesco:

Elevati e prolungati apporti meteorici. P. GIGLI, cronista sincrono, rileva infatti per il modenese "*le continue e smodate piogge e nevi che vennero in quel mese e nel precedente*" (P. GIGLI - Memorie storiche de' suoi tempi, citato da L. GIGLI, 1727).

2. Evento del 1896

Descrizione:

Riattivazione della frana del 1581. "*..esso si ripeté in tempi assai recenti, la notte dal 2 al 3 gennaio 1897, travolgendo tre case e provocando l'ostruzione del rio..*" [

3. Evento del 07/12/2002

Descrizione:

Strada comunale per Brandola di collegamento tra gli abitati di Lama e Polinago. La comparsa di evidenze di deformazioni in atto segnala la riattivazione di un movimento coinvolgente il tracciato stradale. L'area risulta compresa nel vasto settore di versante degradante verso l'alveo del T. Mocogno coinvolto da movimenti gravitativi in epoca storica. All'interno di una estesa frana quiescente. [Localizzazione: Buona approssimazione]

Cause innesco:

Elevati apporti idrici relativi alle precipitazioni intense e prolungate del novembre-dicembre 2002.

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

Le principali cause dei movimenti in studio, come peraltro riportato nelle memorie storiche sono:

- lo stato di fratturazione della F. di Monte Venere, 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.
- acque di precipitazione.

## **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 dalle 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)

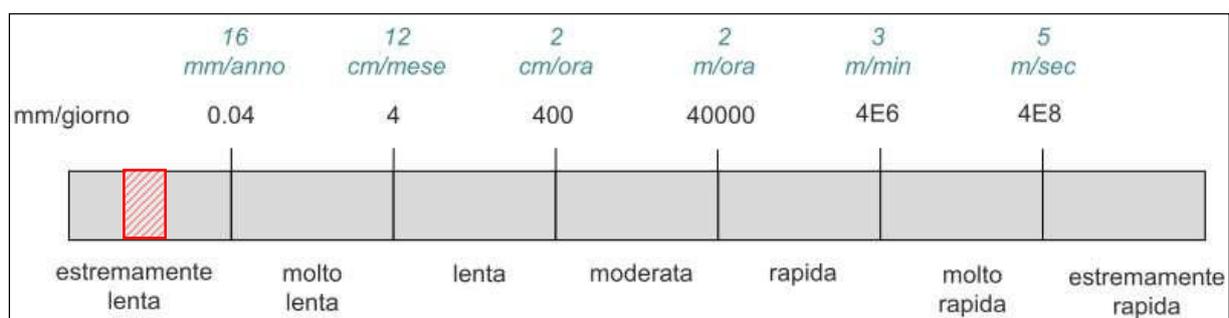
È difficile distinguere tra frane attive e quiescenti sulla base della velocità.

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 eseguite tra l'ottobre 2018 e il maggio 2020, forniscono per il corpo NIL2 (Inclinometro S3) velocità medie di movimento comprese tra 5-8 mm/anno, mentre per il corpo NIL3 (Inclinometro S2) non si evidenziano movimenti.

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:

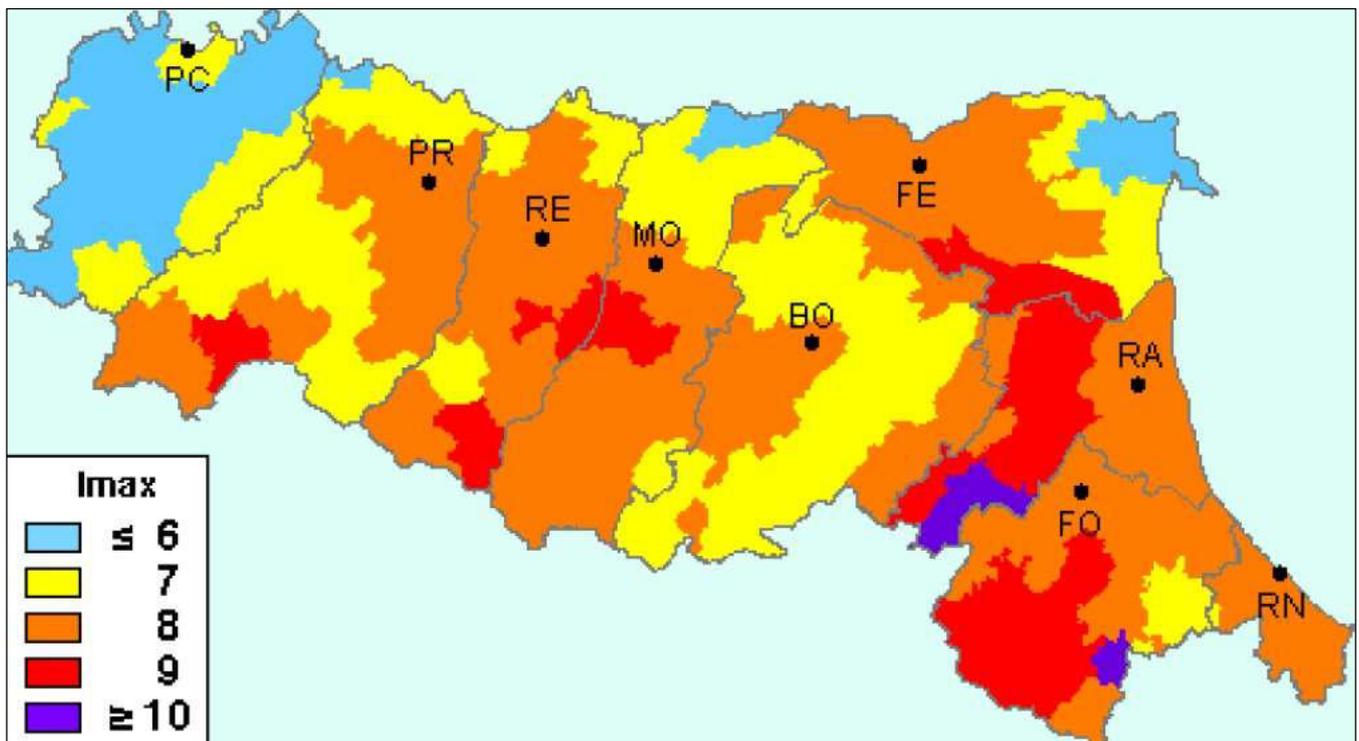


Figura 5 – Intensità Macrosismiche osservate nei comuni italiani – GNDT ING/SGA

L'intensità massima registrata nel Comune di Lama Mocogno 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 Lama Mocogno 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 Lama Mocogno 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

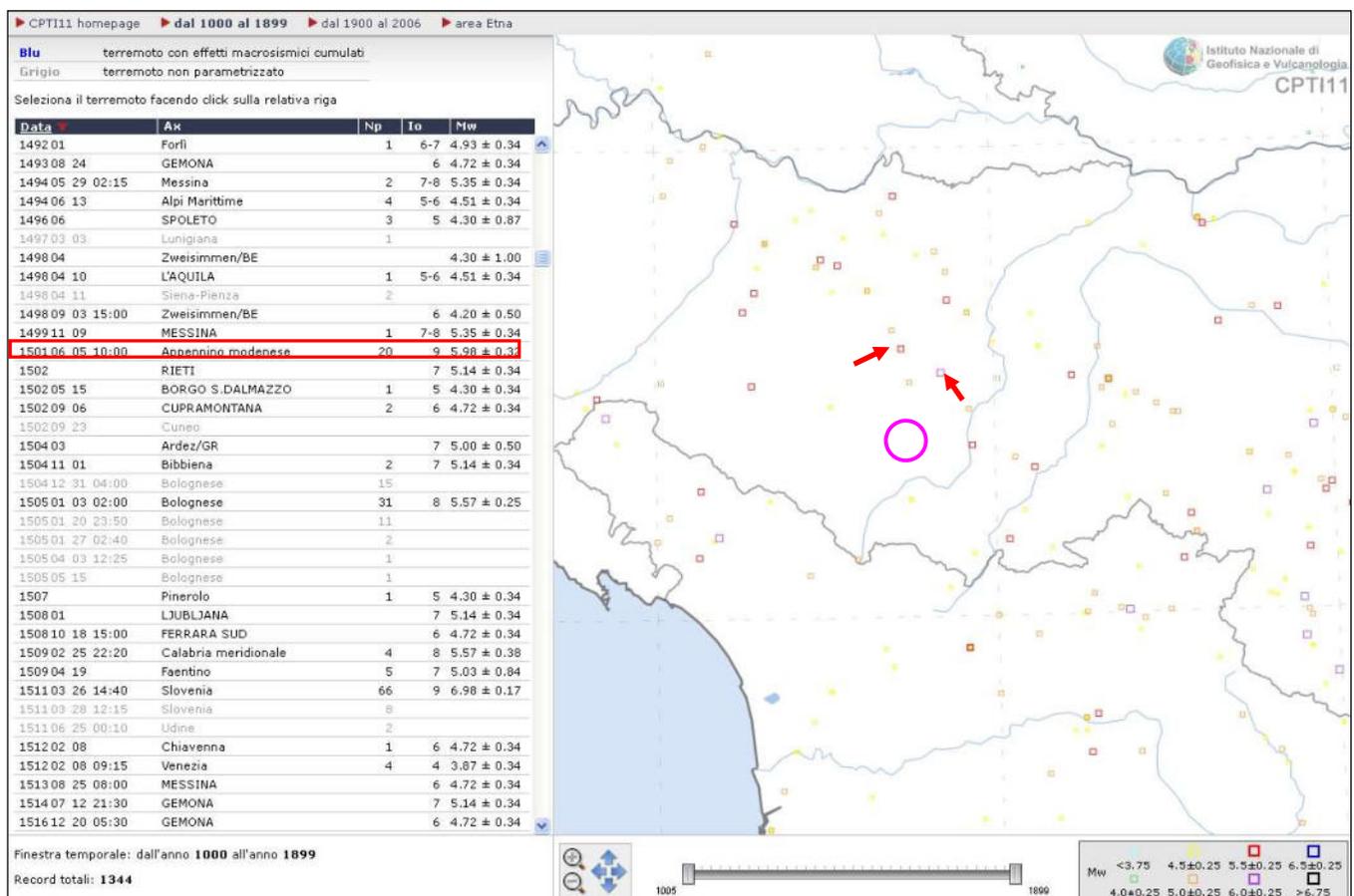


Figura 6 – Tratto da INGV CPTI11 (Catalogo parametrico dei terremoti italiani – 2011) – Dal 1000 al 1899.

○ Area in studio

Nel periodo dal 1900 al 2006, si segnalano:

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

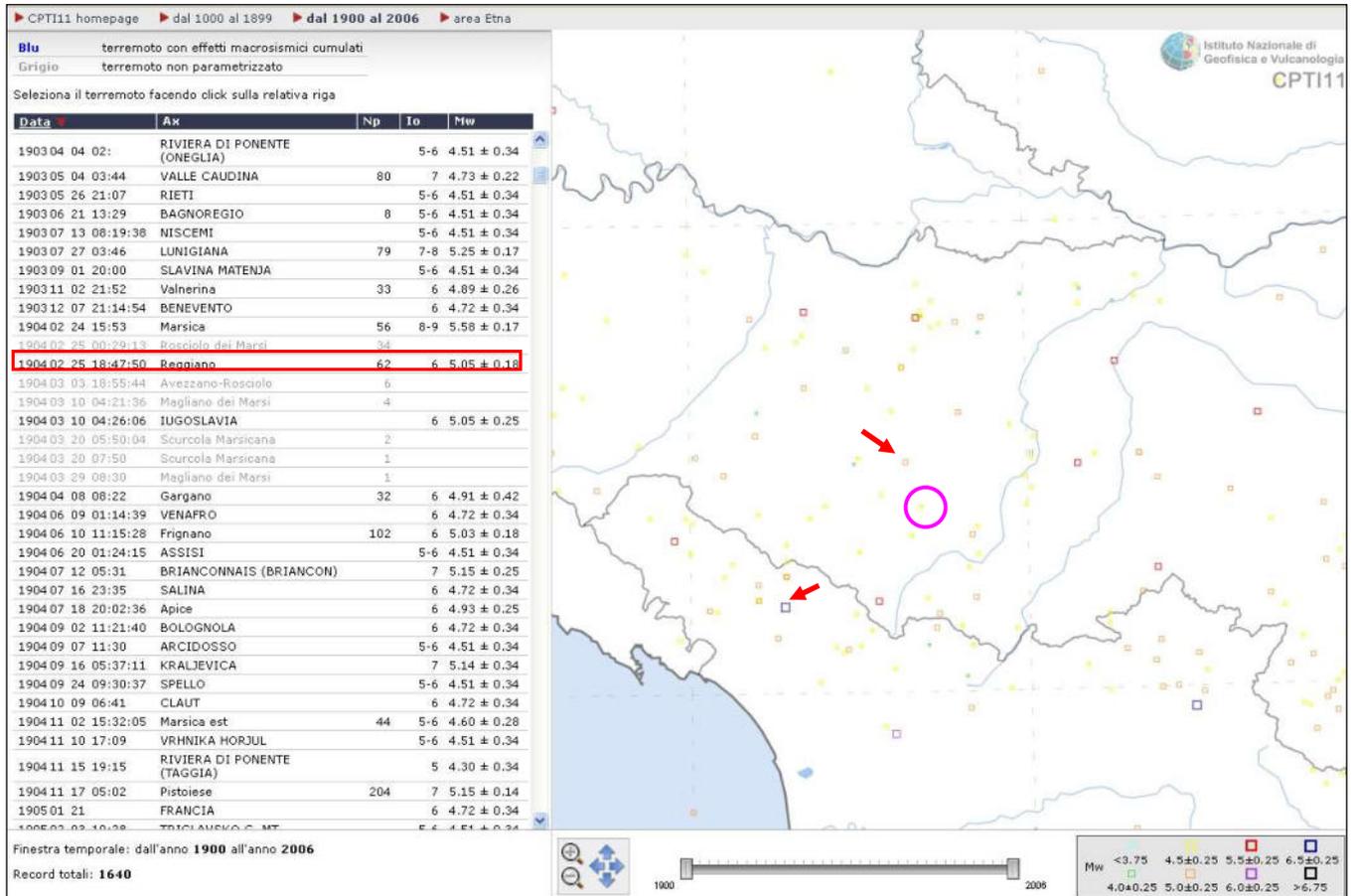


Figura 7 – Tratto da INGV CPTI11 (Catalogo parametrico dei terremoti italiani – 2011) – Dal 1900-2006

○ Area in studio

Nella figura 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 Lama Mocogno si ottiene il seguente elenco di eventi sismici:

## Storia sismica di Lama Mocogno (Lama) [44.308, 10.731]



Numero di eventi: 20

Effetti	In occasione del terremoto del:			
I [MCS]	Data	Ax	Np	Io Mw
3	1887 02 23 05:21	Liguria occidentale	1516	6.97 ±0.15
NF	1903 07 27 03:46	LUNIGIANA	79	7-8 5.25 ±0.17
4	1904 02 25 18:47	Reggiano	62	6 5.05 ±0.18
3	1904 11 17 05:02	Pistoiese	204	7 5.15 ±0.14
4	1908 06 02 22:30	FRIGNANO	18	4-5 4.52 ±0.25
4	1913 02 13 16:39	Appennino tosco-emiliano	27	5 4.54 ±0.25
NF	1919 06 29 15:06	Mugello	566	10 6.29 ±0.09
8	1920 09 07 05:55	Garfagnana	756	10 6.48 ±0.09
3	1923 06 28 15:11	FORMIGINE	22	6 4.88 ±0.24
5	1930 05 24 22:02	FIUMALBO	43	5 4.81 ±0.17
NF	1980 11 23 18:34	Irpinia-Basilicata	1394	10 6.89 ±0.09
4	1985 01 23 10:10	Garfagnana	73	6 4.65 ±0.15
3	1987 05 02 20:43	Reggiano	802	6 4.74 ±0.09
3-4	1988 02 08 11:24	Garfagnana	75	6 4.53 ±0.13
4-5	1995 08 24 17:27	Appennino bolognese	56	6 4.48 ±0.09
3-4	1995 10 10 06:54	LUNIGIANA	341	7 4.85 ±0.09
4-5	1997 12 24 17:53	Garfagnana	98	5 4.36 ±0.09
3-4	1999 07 07 17:16	Frignana	32	5 4.70 ±0.09
NF	2000 06 18 07:42	Parmense	300	5-6 4.43 ±0.09
4-5	2000 10 03 01:12	Appennino tosco-emiliano	62	5 4.27 ±0.09

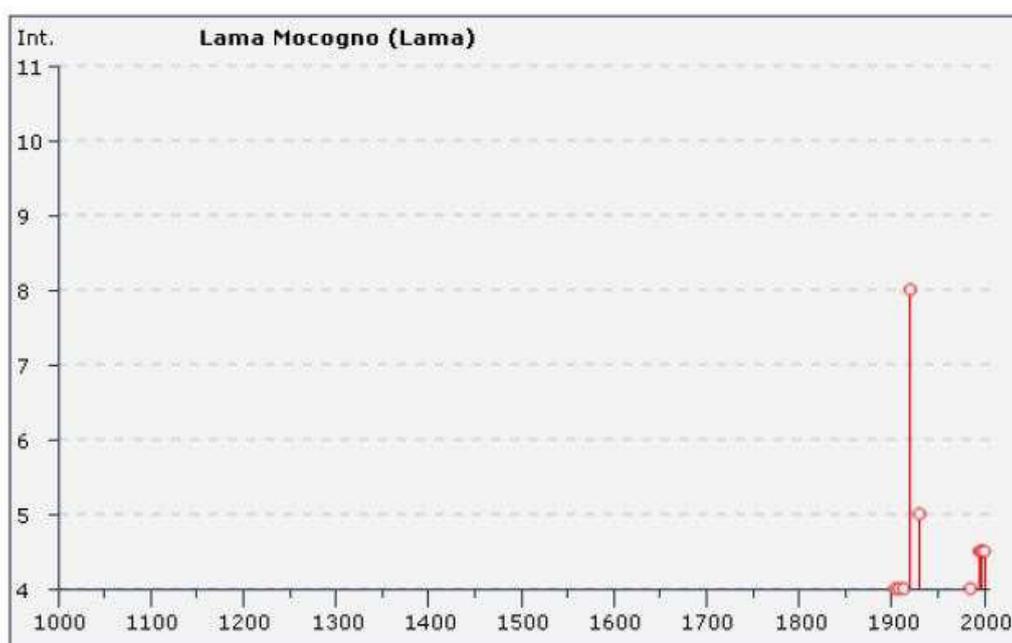


Figura 8 – Tratto da INGV DBMI11 (Database Macrosismico Italiano – 2011)

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).

### 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.

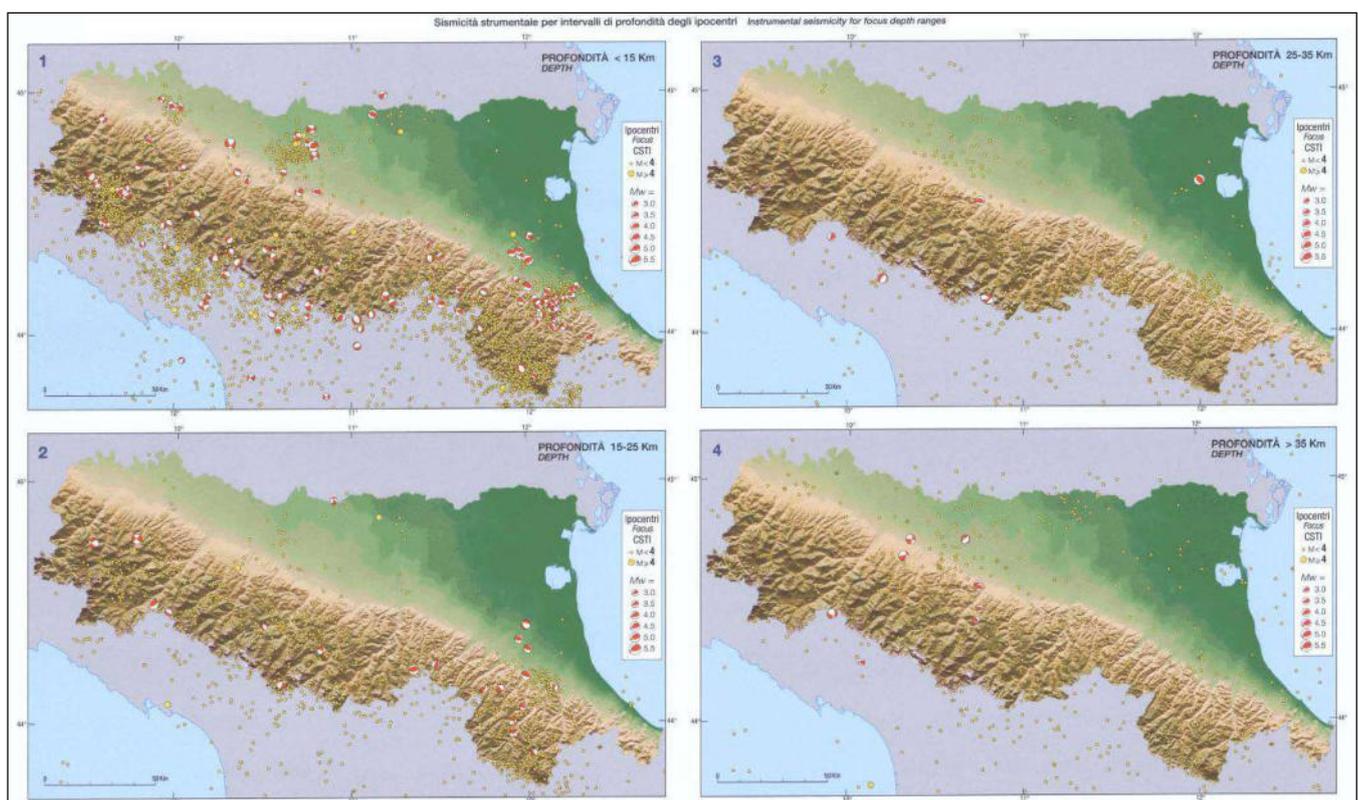


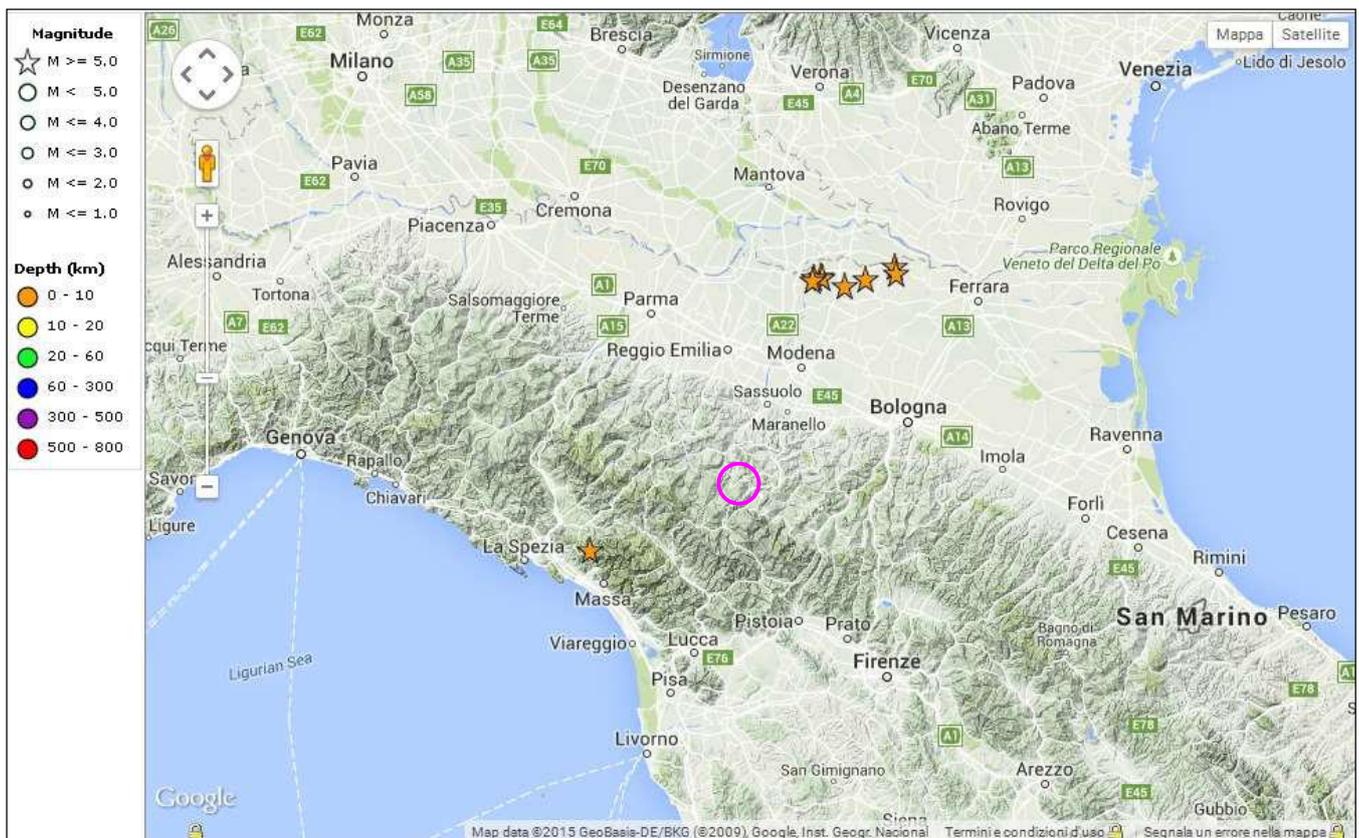
Figura 9 – Sismicità strumentale per intervalli di profondità degli ipocentri.

## 4.2 SISMICITA' RECENTE

La sismicità recente che ha interessato il territorio comunale di Lama Mocogno 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>.

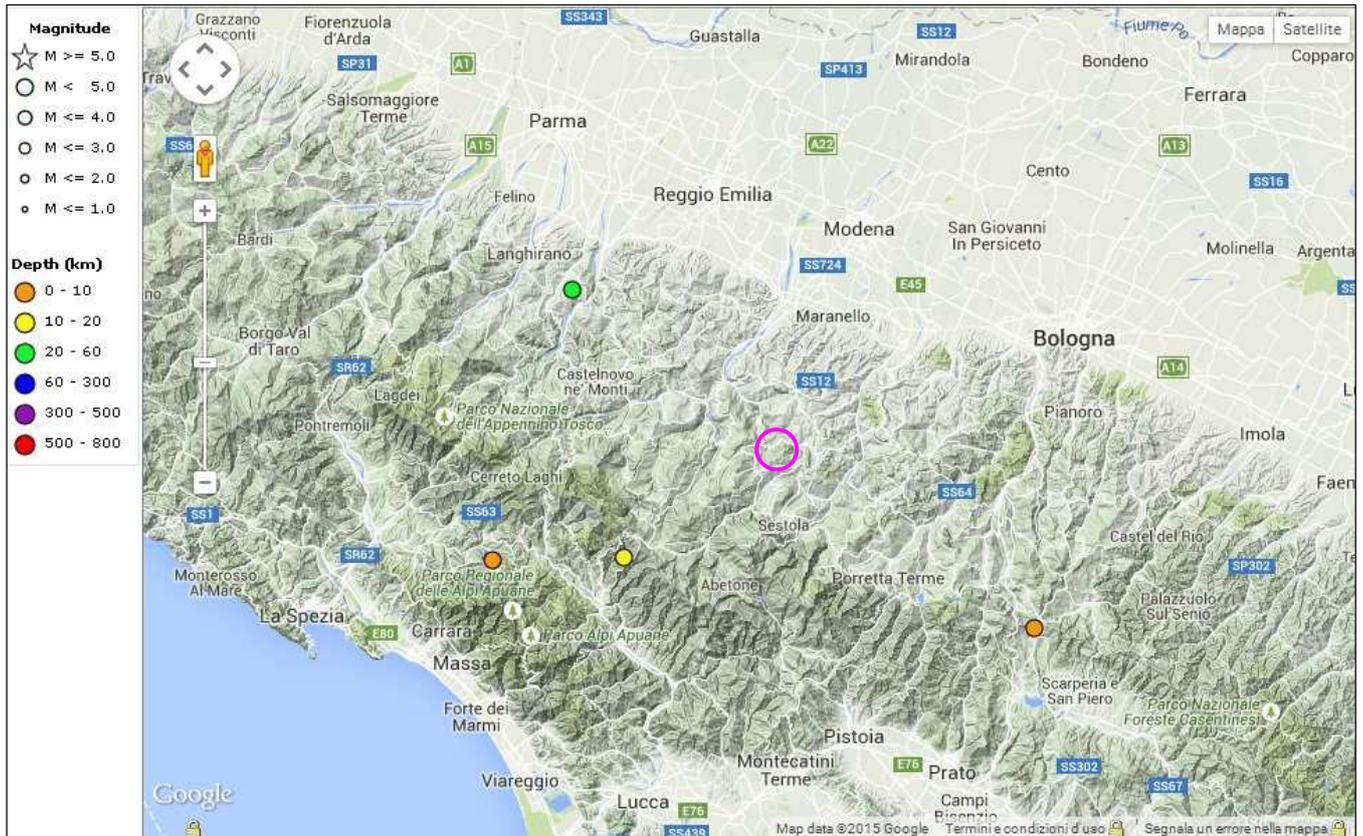
Nello specifico sono stati ricercati i terremoti, registrati nell'intervallo di tempo tra il 01/01/2007 e il 2015, aventi una magnitudo maggiore di 5 in un raggio di 100 km e maggiore di 4.5 nel raggio di 50 Km dal Comune di Lama Mocogno.



**Figura 10:** Eventi sismici recenti registrati con M > 5 in un raggio di 100 Km dal Comune di Lama Mocogno

Data: 01/01/2007 → 25/08/2015  
 Distanza: 100 km da Lama Mocogno  
 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 11:** Eventi sismici recenti registrati con  $M > 4.5$  in un raggio di 50 Km dal Comune di Lama Mocogno

Data: 01/01/2007 → 25/08/2015  
 Distanza: 50 km da Lama Mocogno  
 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 Lama Mocogno 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 Lama Mocogno 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).

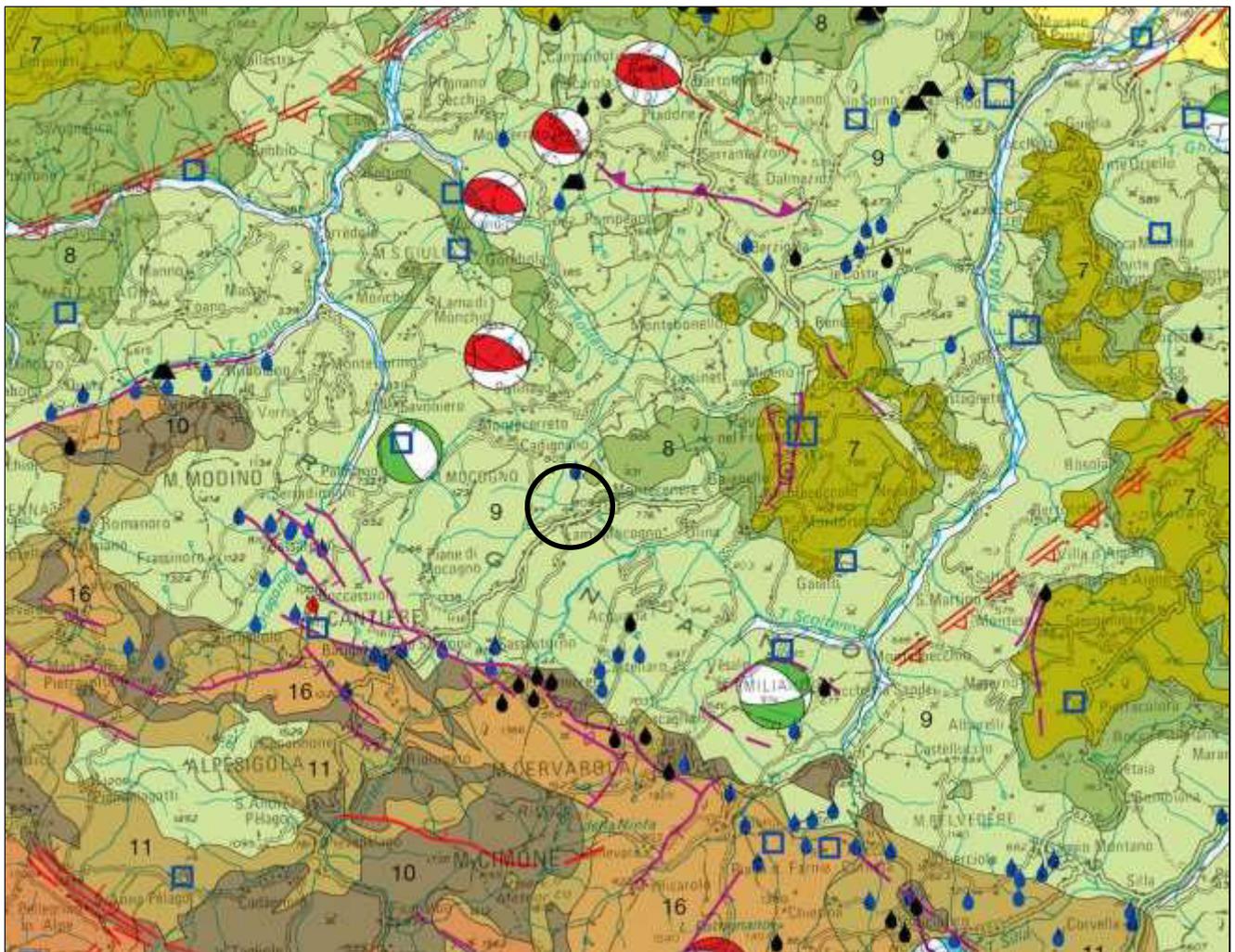
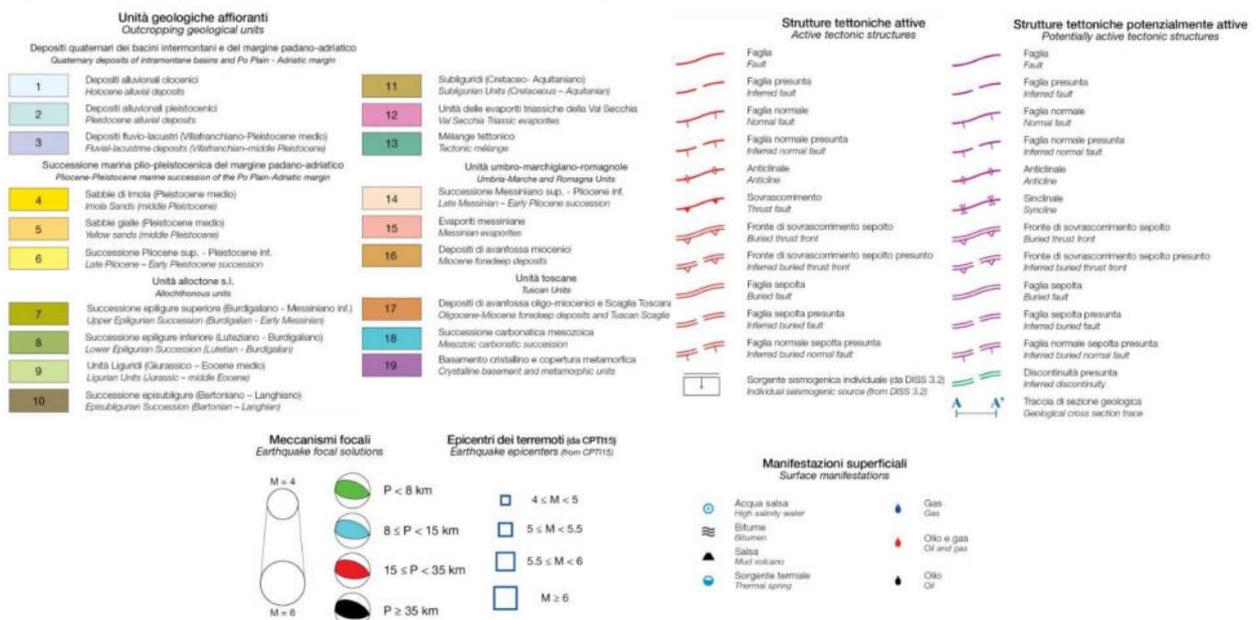


Figura 12 – Carta Sismotettonica dell'Emilia Romagna (RER 2017)



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).

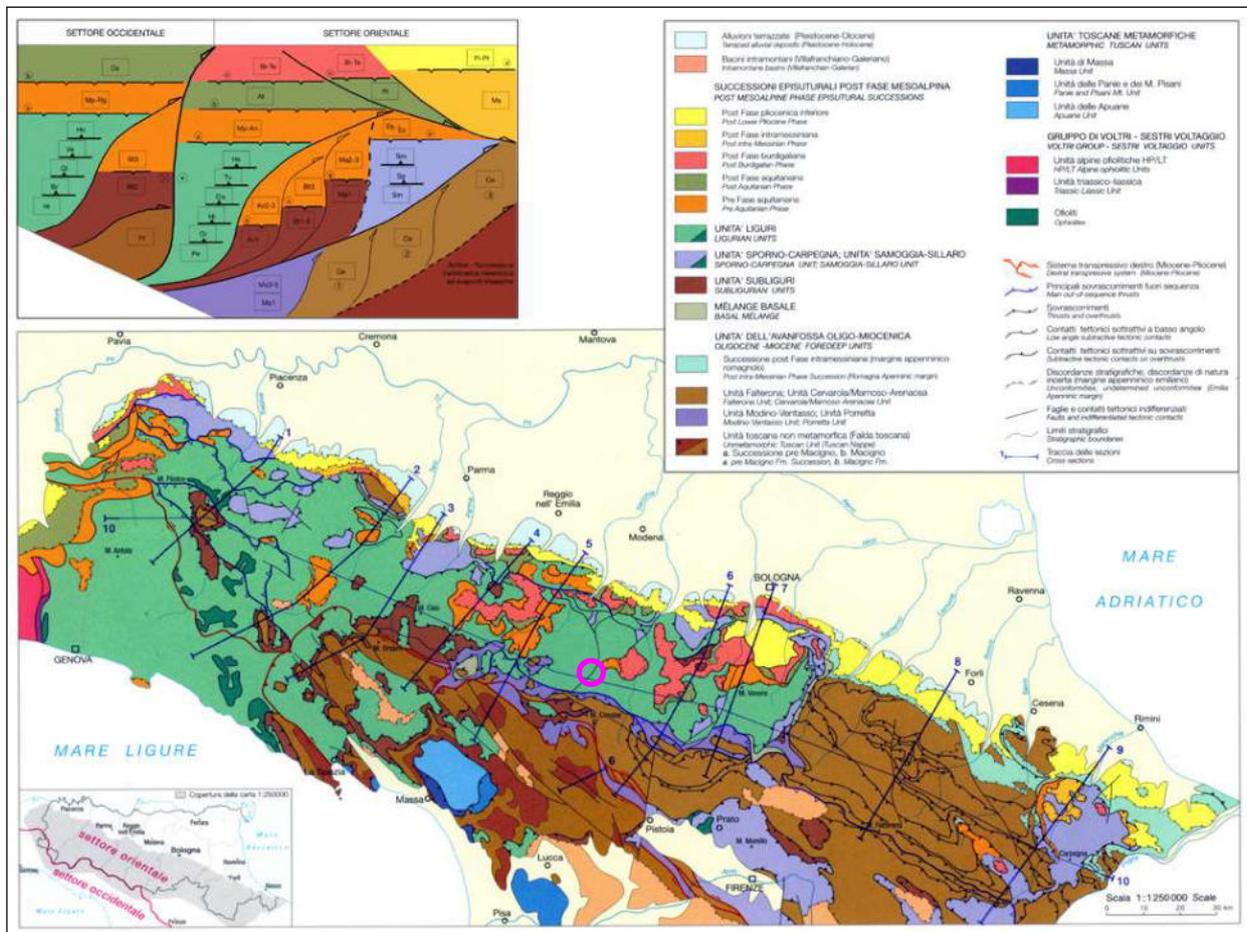


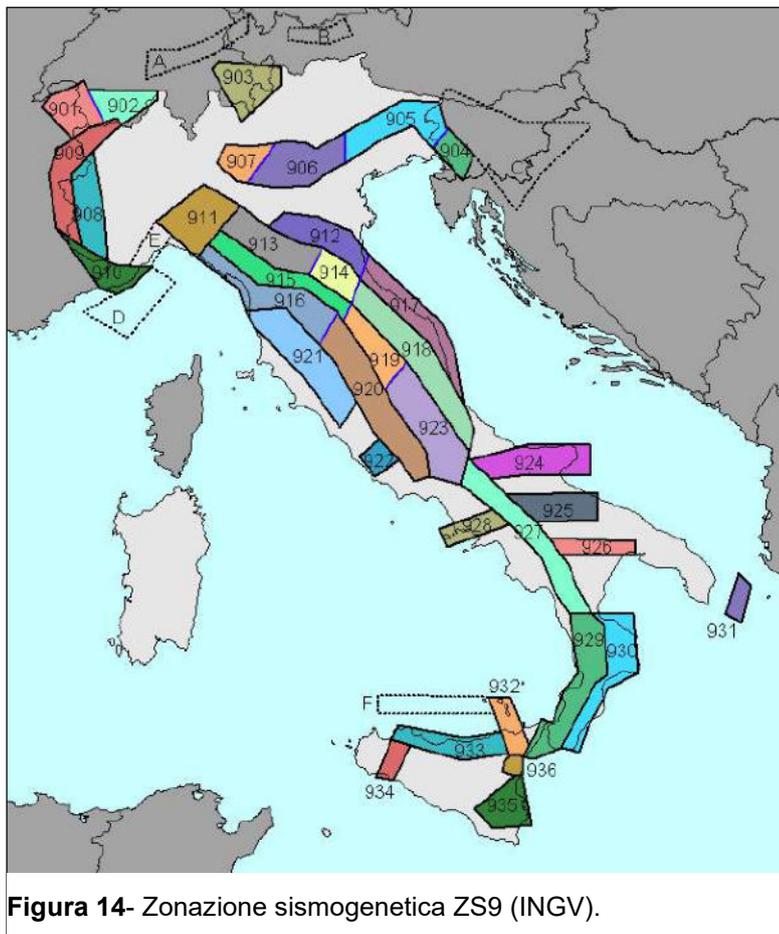
Figura 13 – Schema tettonico.

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 ZONAZIONEISMOGENETICA

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 cautelate 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 Potential



**Figura 14-** Zonazione sismogenetica ZS9 (INGV).

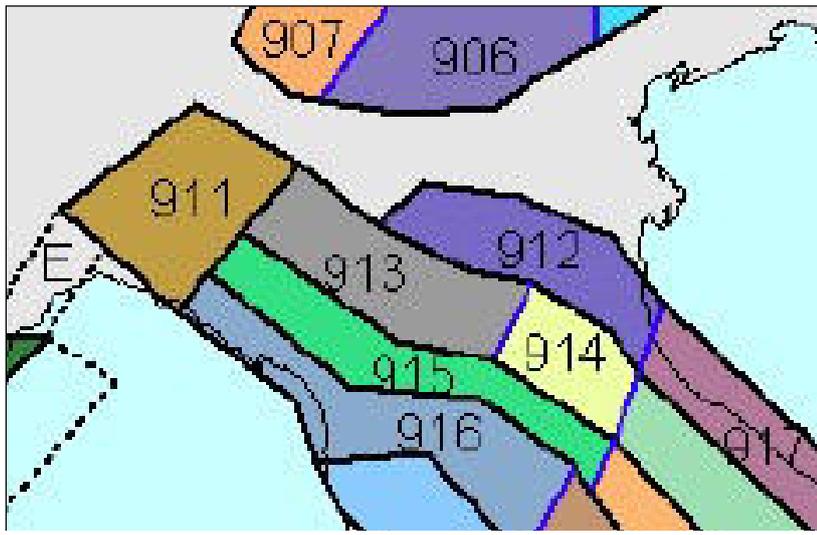
Sources for Earthquake Larger than M5.5 in Italy, 2001) e da altre compilazioni regionali di faglie attive; considera inoltre le indicazioni che derivano dall'analisi dei dati relativi ai terremoti più importanti verificatisi successivamente alla predisposizione di ZS4, alcuni dei quali localizzati al 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 CPT12, 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 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 15**– Zoom sulla zonazione sismogenetica ZS9 dell'Emilia Romagna.

### **Sismicità delle zone sorgenti**

Il territorio del Comune di Lama Mocogno 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 Lama Mocogno, 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 Lama Mocogno.

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 ( $a_g/g$ ) su suolo di categoria A.

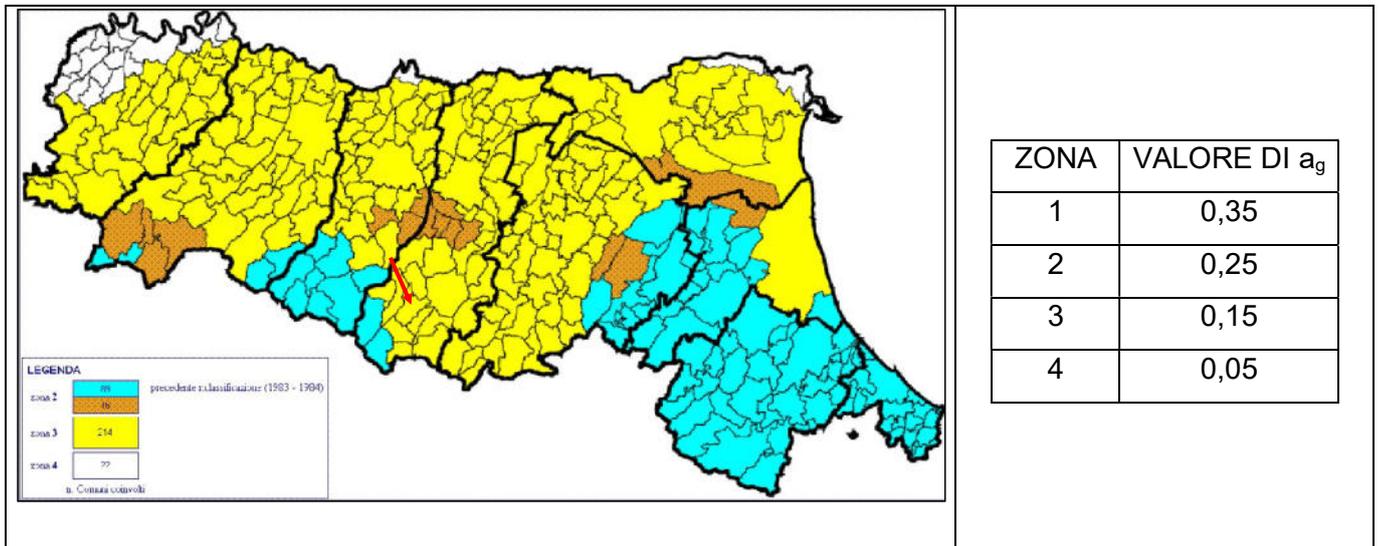


Fig. 16 - Classificazione sismica attuale di riferimento - Ordinanza PCM del 20 marzo 2003 n. 2374 All. 1.

Il Comune di Lama Mocogno 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*.

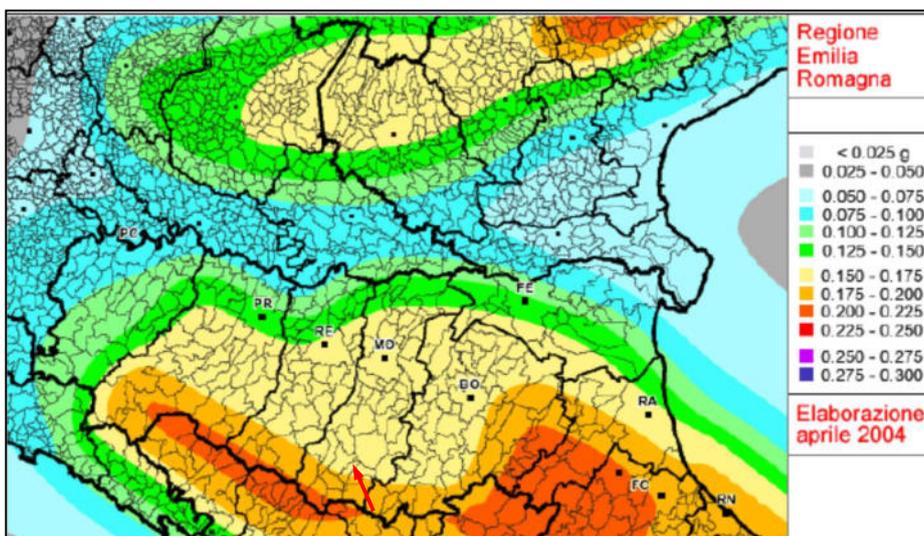


Fig. 17 - Mappa di pericolosità sismica espressa in termini di accelerazione massima al suolo ( $a_{max}$ ) con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni riferita ai suoli molto rigidi ( $V_{s30} > 800$  m/s; cat. A) allegata all'Ordinanza PCM n. 3519 del 28 aprile 2006. (Fonte: Sito web della Regione 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 Lama Mocogno è compreso nell'area caratterizzata da **valori dell'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), **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 che per il Comune di Lama Mocogno risultano pari a 0.161.

## **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 in esame di Lama Mocogno. Nell'area 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 desunte dal DBase di MS di I e II Livello:

- n° 1 sondaggi a carotaggio continuo
- n° 4 Prove penetrometriche dinamiche DPSH
- n° 2 Masw
- n° 2 Hvsr

### Indagini di repertorio desunte da POC Comunali e inserite nel DBase di MS aggiornato al III Livello:

- n° 6 Prove penetrometriche dinamiche DPSH
- n° 1 Masw
- n° 4 Hvsr
- n° 2 stendimenti di sismica a rifrazione

Ad integrazione delle indagini pregresse sono state realizzate le seguenti nuove indagini geofisiche per lo studio di MS di III Livello e inserite nel DBase aggiornato:

- n° 3 sondaggi a carotaggio continuo
- n° 2 tubi inclinometrici
- n° 3 Masw
- n° 4 Hvsr
- n° 1 stendimenti di sismica a rifrazione

Nelle tabelle seguenti sono riassunti i dati principali delle indagini.

### SONDAGGI A CAROTAGGIO CONTINUO

<b>Id n° di prova</b>	<b>Archivio</b>	<b>Posizione</b>	<b>Prof. (m)</b>	<b>Falda (m)</b>	<b>Inclinometro</b>
036018P29- S29	Bibliografia – MS I' II' Liv	NIL2- frana Sud	20		X*
036018P159 -SI159	Nuova realizzazione MS III Livello	NIL3- frana Nord	19		X
036018P163 -SI163	Nuova realizzazione MS III Livello	NIL2- frana Sud	20.5		X
036018P165 -SS165	Nuova realizzazione MS III Livello	Scuola – Via Monte Sabotino	19		

\*inclinometro non attivo

### INDAGINI SISMICHE A RIFRAZIONE

<b>Id n° di prova</b>	<b>Archivio</b>	<b>Posizione</b>
036018P167 -SR167	Bibliografia – POC	NIL3- frana Nord
036018P168 -SR168	Bibliografia – POC	NIL3- frana Nord
036018P164 -SR164	Nuova realizzazione MS III Livello	NIL2- frana Sud

**INDAGINI SISMICHE - MASW**

<b>Id n° di prova</b>	<b>Archivio</b>	<b>Posizione</b>
036018L40- MASW40	Bibliografia – MS I' II' Liv	NIL3- frana Nord
036018L41- MASW41	Bibliografia – MS I' II' Liv	NIL2- frana Sud
036018L48- MASW48	Bibliografia – POC	NIL3- frana Nord
036018L49- MASW49	Nuova realizzazione MS III Livello	NIL3- frana Nord
036018L50- MASW50	Nuova realizzazione MS III Livello	NIL2- frana Sud
036018L51- MASW51	Nuova realizzazione MS III Livello	Scuola – Via Monte Sabotino

**INDAGINI SISMICHE - HVSR**

<b>Id n° di prova</b>	<b>Archivio</b>	<b>Posizione</b>
036018P128- HVSR128	Bibliografia – MS I' II' Liv	NIL3- frana Nord
036018P125- HVSR125	Bibliografia – MS I' II' Liv	NIL2- frana Sud
036018P152- HVSR152	Bibliografia – POC	NIL3- frana Nord
036018P153- HVSR153	Bibliografia – POC	NIL3- frana Nord
036018P154- HVSR154	Bibliografia – POC	NIL3- frana Nord
036018P158- HVSR158	Bibliografia – POC	NIL2- frana Sud
036018P160- HVSR160	Nuova realizzazione MS III Livello	NIL3- frana Nord
036018P161- HVSR161	Nuova realizzazione MS III Livello	NIL2- frana Sud
036018P162- HVSR162	Nuova realizzazione MS III Livello	NIL2- frana Sud
036018P166- HVSR166	Nuova realizzazione MS III Livello	Scuola – Via Monte Sabotino

## **6 DEFINIZIONE DEL MODELLO GEOLOGICO-STRATIGRAFICO**

L'approfondimento di 3° livello è stato condotto su due corpi franosi che coinvolgono l'abitato di Lama Mocogno nella porzione apicale del versante che degrada verso NW e che vengono distinti per la loro collocazione in:

- NIL2 – corpo di frana a Sud
- NIL3 – corpo di frana a Nord

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, dei risultati del monitoraggio inclinometrico 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 Montevenere – torbiditi arenaceo/pelitiche), lo strato di detrito di frana/deposito di versante.

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

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

- NIL2 – corpo di frana a Sud: n° 2 sondaggi, 1 inclinometro, 4 DPSH, 2 Masw, 4 Hvsr, 1 sismica a rifrazione
- NIL3 – corpo di frana a Nord: n° 1 sondaggi, 1 inclinometro, 6 DPSH, 3 Masw, 5 Hvsr, 2 sismica a rifrazione

Per verificare la geologia a monte della frana Nord in corrispondenza dell'edificio scolastico di Via Monte Sabotino, sono stati realizzati n°1 sondaggio a carotaggio, n°1 HVSr e n°1 Masw che si ritengono rappresentativi dell'area e pertanto sono stati inseriti in tale studio.

Per la caratterizzazione della risposta sismica della coltre detritica, per i due corpi di frana, sono state discretizzate e selezionate 2 zone omogenee corrispondenti ai due corpi di frana e altrettante verticali d'indagine ritenute significative e rappresentative dal punto di vista dello spessore della copertura e della disponibilità di informazioni:

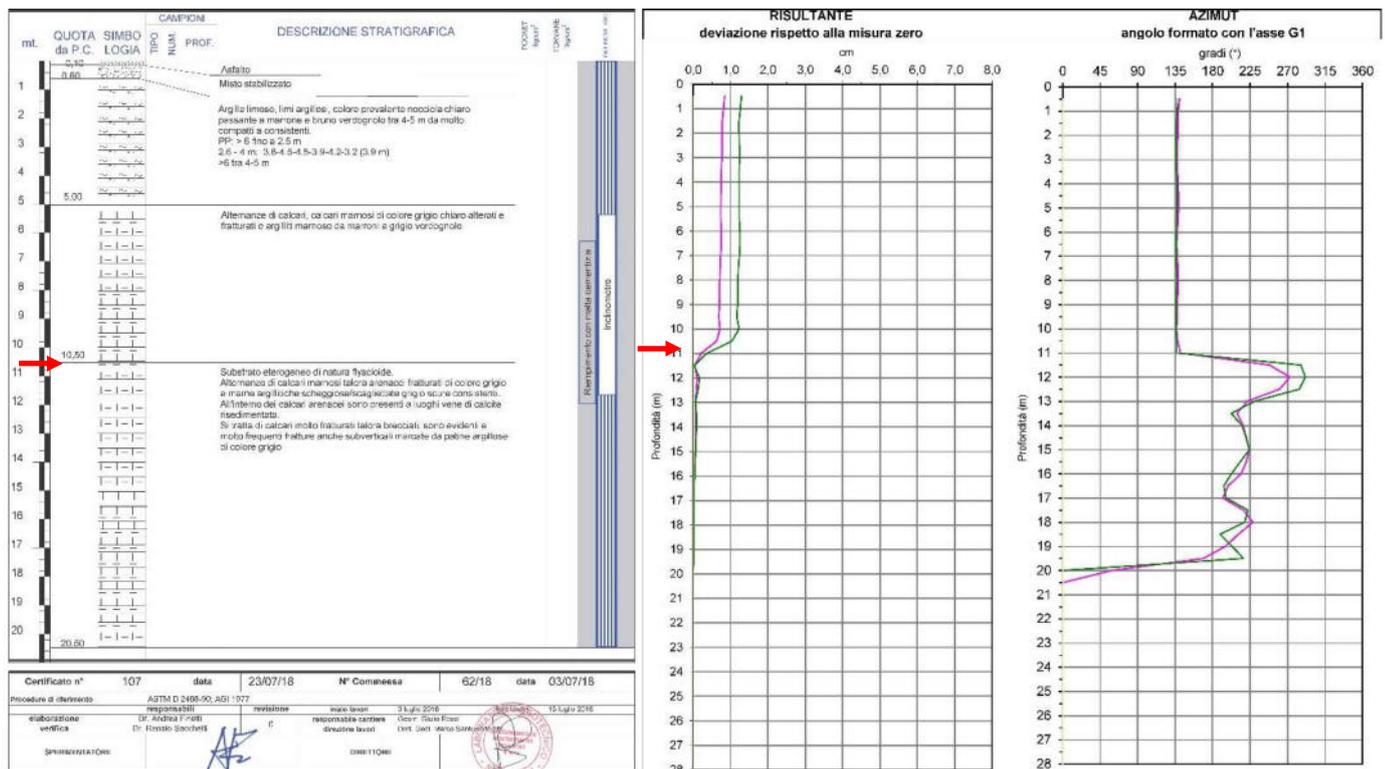
- NIL2 – corpo di frana a Sud, caratterizzato da una coltre detritica dove gli spessori rimangono sufficientemente costanti e mediamente compresi tra 10-13 m, con la superficie di scivolamento posta a circa -10,5 m come rilevato dal monitoraggio sull'inclinometro S3;
- NIL3 – corpo di frana a Nord, caratterizzato da una coltre detritica dove gli spessori rimangono sufficientemente costanti e mediamente compresi tra 9-11 m. Il monitoraggio dell'inclinometro S1 non ha mostrato movimenti significativi.

Per le zone individuate sono disponibili, le stratigrafie, i profili Vs, i profili Vp, e le proprietà geotecniche dei terreni.

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.

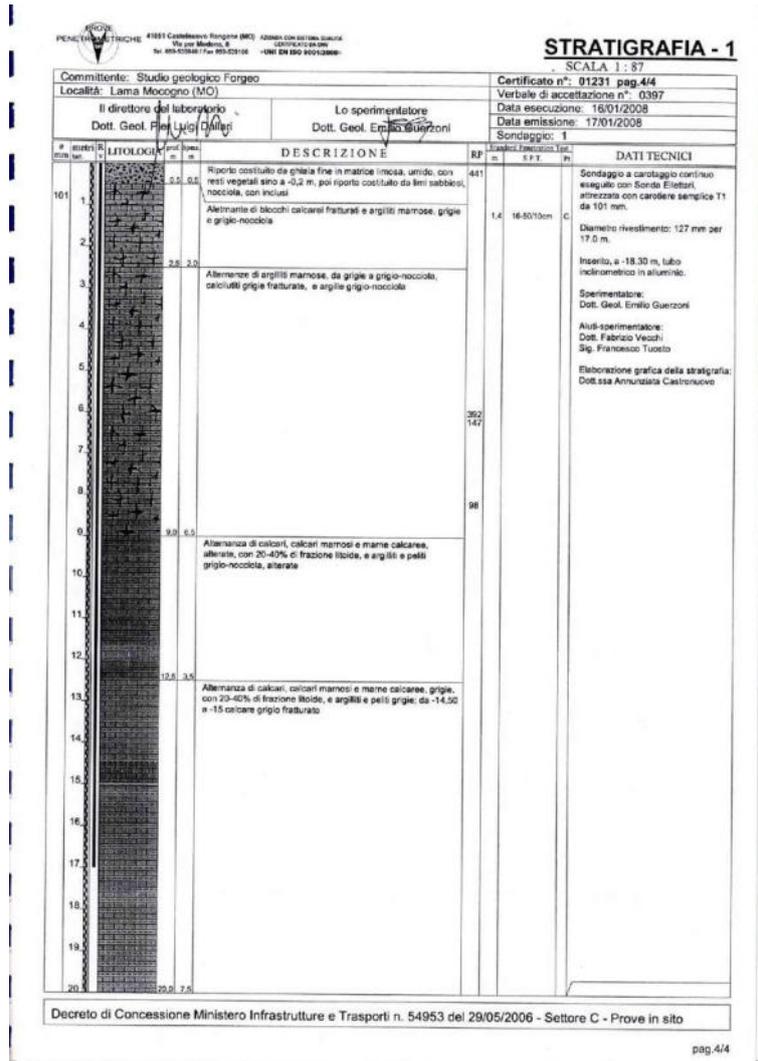
### NIL2 – corpo di frana a Sud

#### Sondaggio S3 con inclinometro



Il sondaggio S3 (036018P163-S1163) individua in modo chiaro il livello inferiore del corpo di frana alla una profondità di 10,5 m, dato confermato anche dal monitoraggio inclinometrico eseguito dal 2018 al 2020 che mostra un lento movimento proprio in corrispondenza di tale profondità.

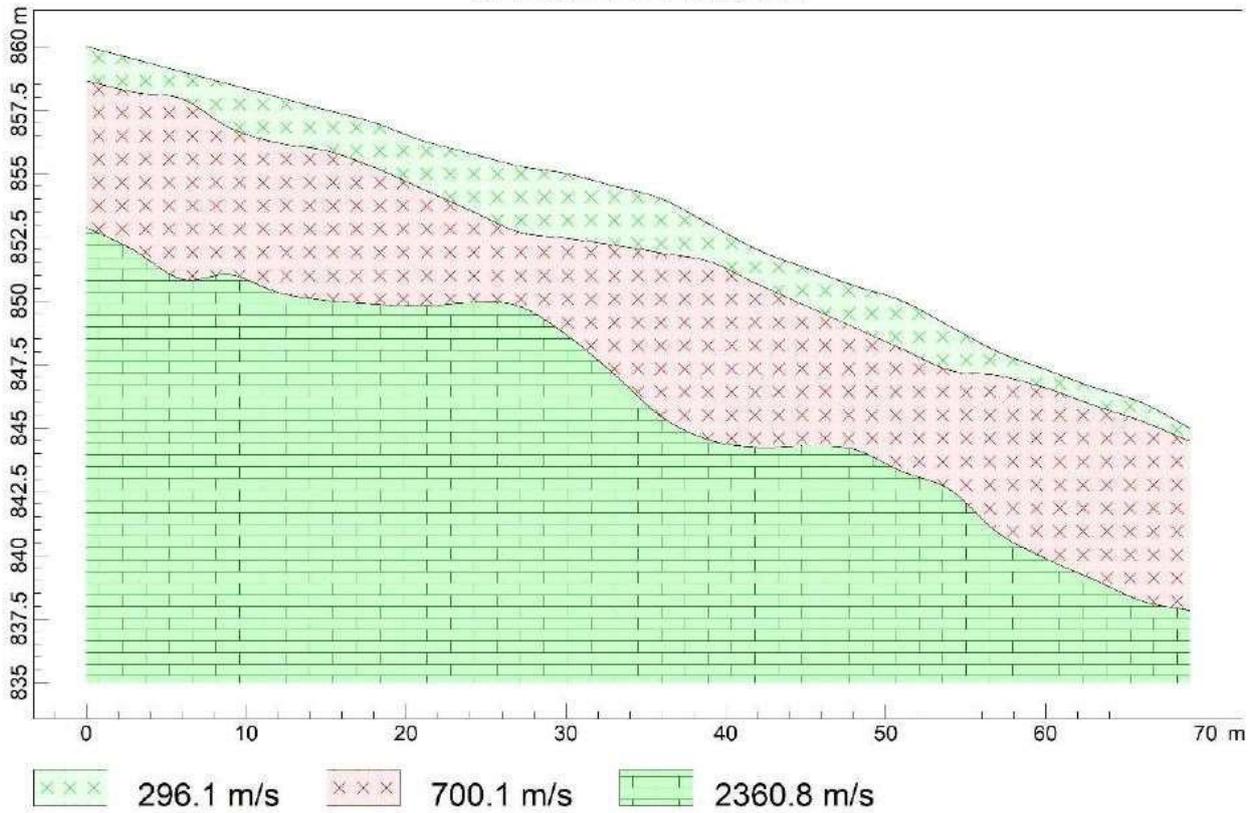
Anche il sondaggio 036018P29-S29, già presente nello studio di MS di I° e II° Livello, ha rilevato il substrato a profondità di 12,5 m, permettendo di ricostruire il profilo anche nella porzione apicale del movimento franoso.



Le indagini geofisiche a rifrazione e con metodologia MASW (SR3 - 036018P163-SI163 e MASW3 – 036018L50-MASW50) confermano sostanzialmente tali profondità.

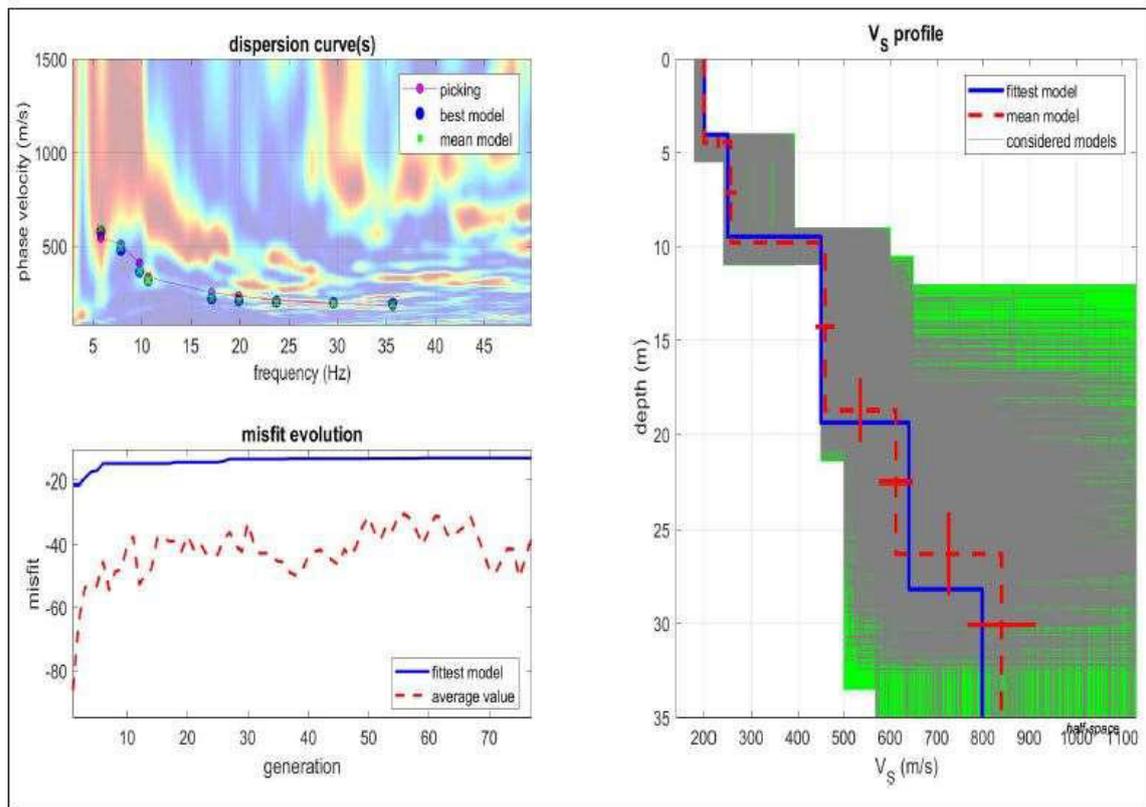
**SR3**

**SEZIONE VERTICALE**



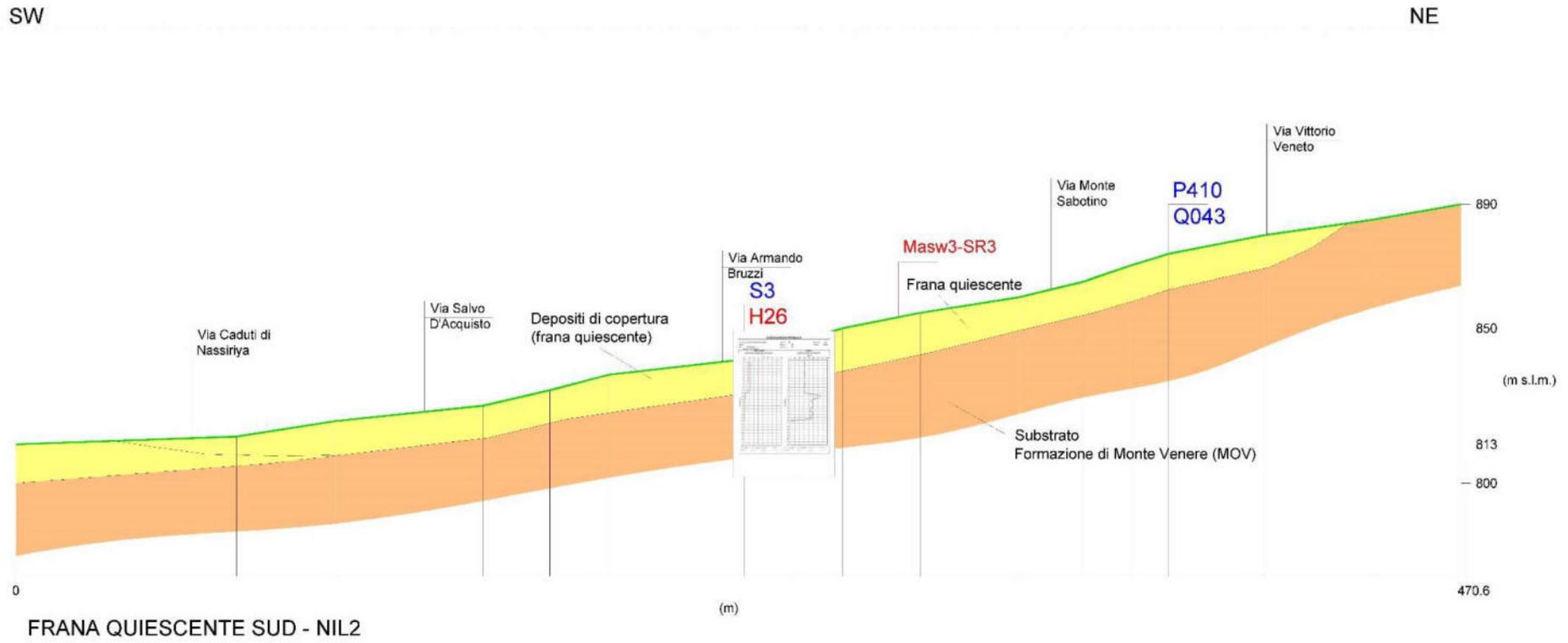
**MASW3**

**MASW 3**

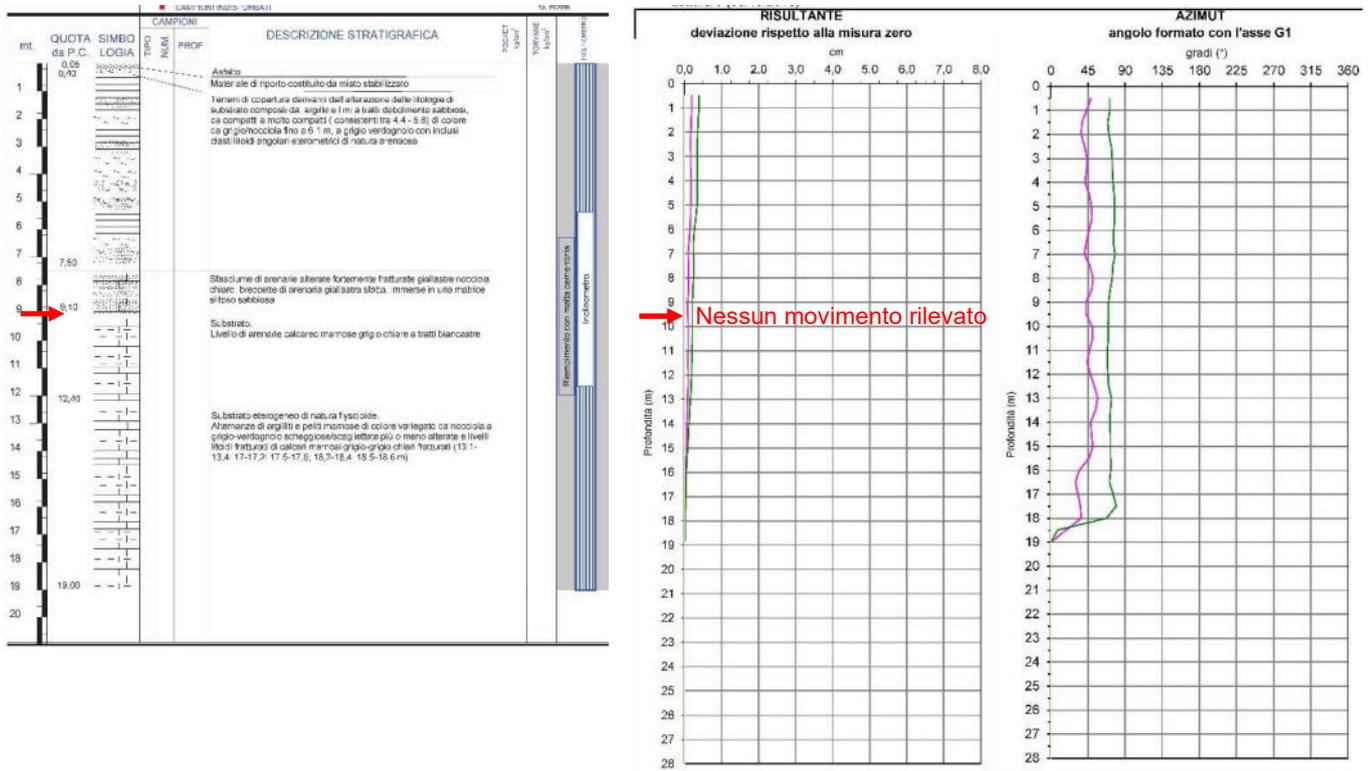


Sulla base di tali indicazioni è stato possibile ricostruire il profilo litostatigrafico riportato in figura successiva

MODELLO SEZIONE FRANA NIL2-Corpo di frana Sud



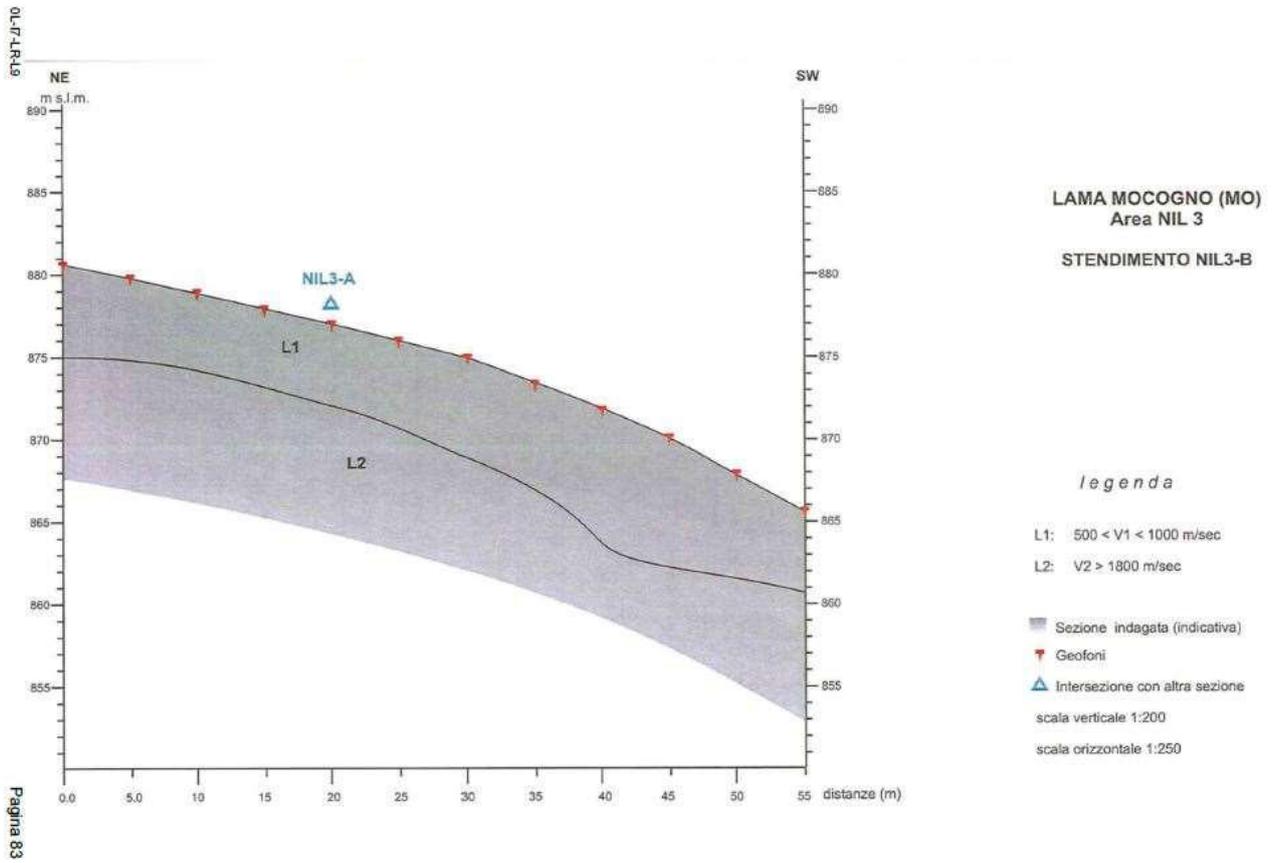
## NIL3 – corpo di frana a Nord

Sondaggio S1 con inclinometro

Il sondaggio S1 (036018P159-SI159) individua in modo chiaro il livello inferiore del corpo di frana alla una profondità di 9 m, dato meno evidente dal monitoraggio inclinometrico eseguito dal 2018 al 2020 che non mostra movimenti significativi.

L'indagine geofisica con metodologia MASW (MASW2 - 036018L49-MASW49) conferma sostanzialmente tali profondità mentre l'indagine a rifrazione (NIL3B - 036018P168-SR168) rileva che procedendo verso monte gli spessori si assottigliano con il piano di scivolamento ipotizzabile a circa 5-6 m dal p.d.c..

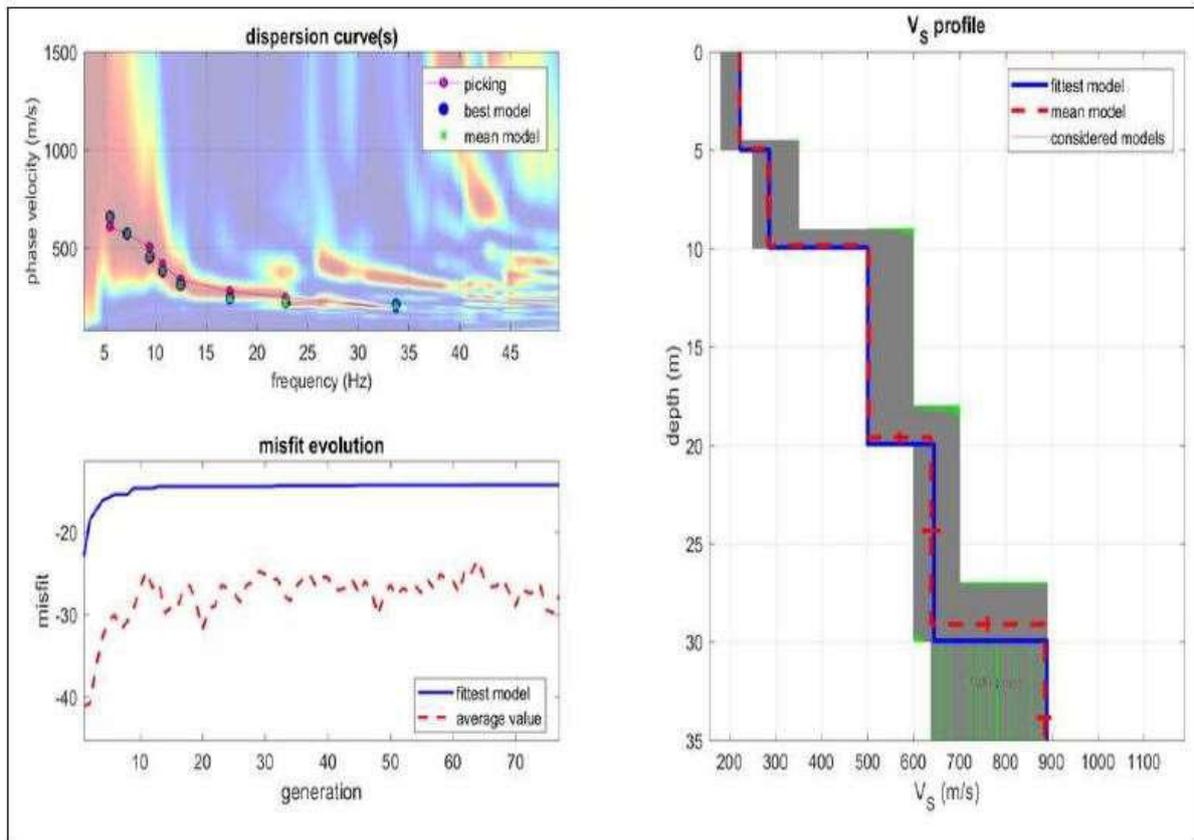
**NIL3B**



Pagina 83

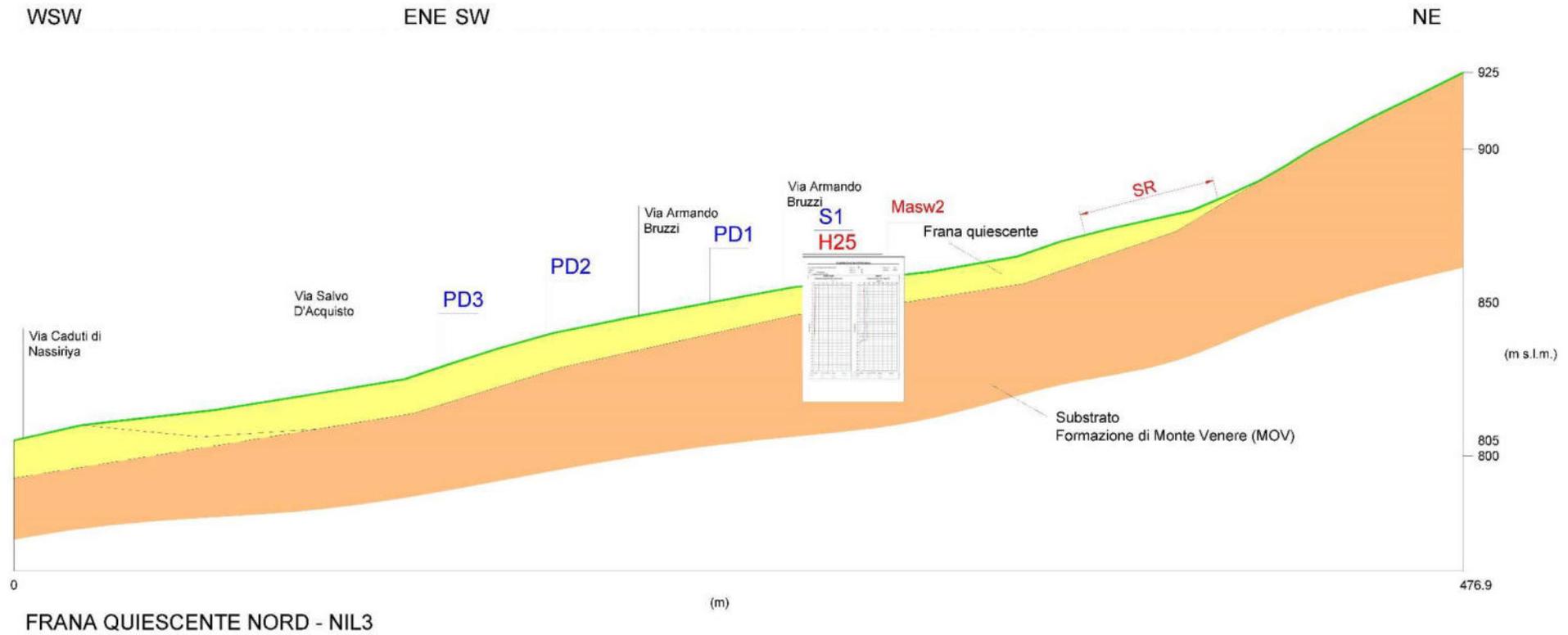
**MASW2**

**MASW 2**



Sulla base di tali indicazioni è stato possibile ricostruire il profilo litostratigrafico riportato in figura successiva

MODELLO SEZIONE FRANA NIL3-Corpo di frana Nord



Si riporta di seguito il riepilogo dei principali dati dei due corpi di frana analizzati

Corpo di frana	Ubicazione	Grado di attività	Profondità media (m)	Inclinometri (prof. frana)
NIL2-	Versante NW-Capoluogo Corpo di frana Sud	Quiescente	10	11 (superficie netta)
NIL3-	Versante NW-Capoluogo Corpo di frana Nord	Quiescente	9	Non rilevabile

## 7 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEI TERRENI

Il detrito di frana presente nell'area di Lama Mocogno 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 Monte Venere. Non essendo stati prelevati campioni indisturbati durante la realizzazione delle indagini geognostiche, per la definizione dei principali parametri geotecnici si è fatto riferimento ai risultati delle indagini SPT eseguite in foro e delle indagini DPSH desunte da bibliografia oltre ai numerosi dati da bibliografia relativi alla caratterizzazione geomeccanica del substrato.

Nelle tabelle seguenti si riportano i parametri geotecnici utilizzati:

PARAMETRI GEOTECNICI					
Livello geotecnico	Profondità media (m)	Peso di vol. naturale $\gamma$ (t/mc)	Peso volume saturo $\gamma_s$ (t/mc)	Coesione C' (Kpa)	Angolo attrito $\phi$ (°)
Deposito di frana quiescente (a2g)	9/11	2.0	2.1	5 / 6	22/23
Substrato (MOV)	>9/11	2.1	2.2	15 / 20	32/35

## 7.1 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 pari a circa 200 m/sec correlabile alla parte superiore della coltre detritica, e pari a circa 700 m/sec afferente alla parte inferiore della coltre detritica al passaggio con il substrato costituito dalla Formazione di Monte Venere, quest'ultimo caratterizzato da velocità 2300 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.

## **8 ANALISI DELLA RISPOSTA SISMICA LOCALE (RSL)**

Nell'ambito del presente studio di Microzonazione Sismica di terzo livello del versante di Lama Mocogno 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 Lama Mocogno oggetto di verifica le pendenze massime anche nei tratti più acclivi con dislivelli superiori di 30 m è sempre inferiore a  $20^\circ$ , 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.

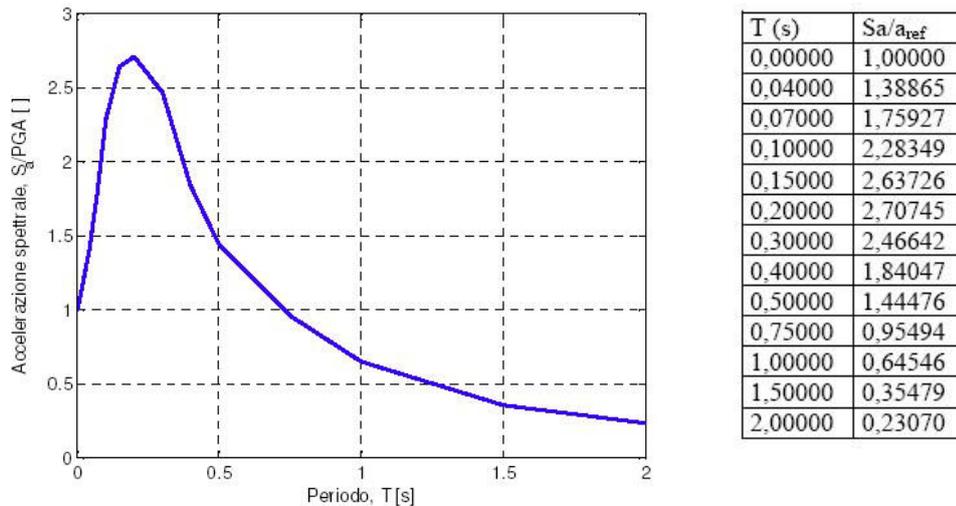
In considerazione della sufficiente regolarità dello spessore e della geometria della coltre detritica dei siti considerati, si è ritenuto infatti adeguato un modello numerico monodimensionale.

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.

### **8.1 DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITA' SISMICA DI BASE E DEGLI EVENTI DI RIFERIMENTO**

#### **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).



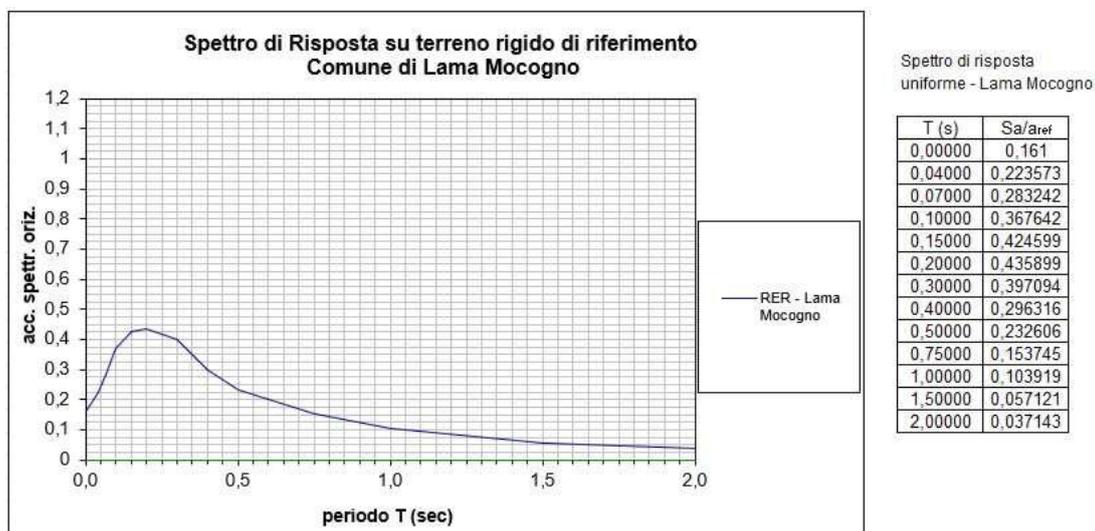
Spettro di risposta normalizzato ( $T_R = 475$  anni, smorzamento = 5%) per l'Emilia-Romagna, e valori che lo definiscono.

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 Lama Mocogno.

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 Lama Mocogno, 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 Lama Mocogno.

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



Spettro di risposta a probabilità uniforme, pari al 10% di almeno una eccedenza in 50 anni per Lama Mocogno. 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  $T$ .

## 8.2 SELEZIONE DELL'INPUT SISMICO

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.

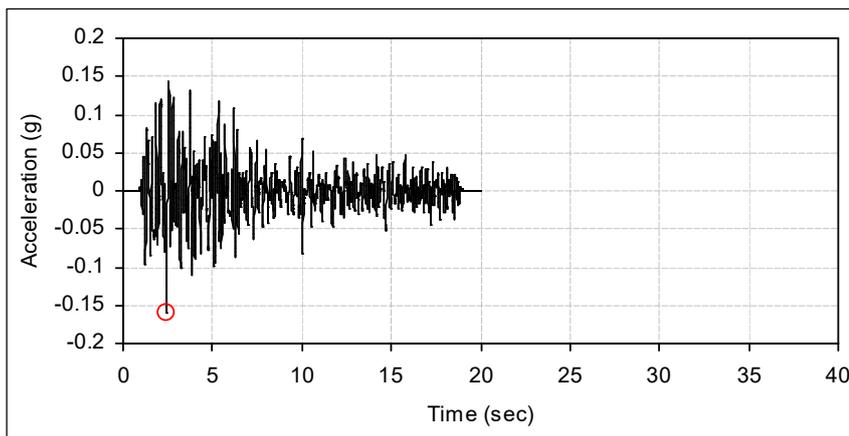
### Accelerogrammi di riferimento

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.

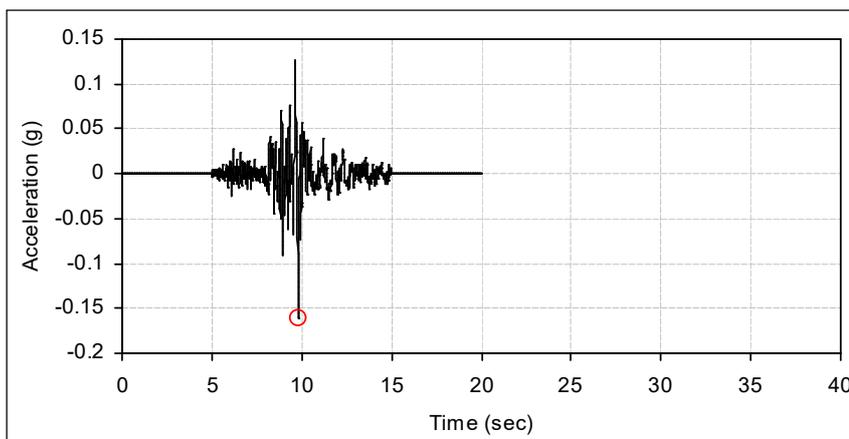
Si tratta di sismi che possono verificarsi nel territorio del comune oggetto di studio. Questi tre segnali, già "scalati" rispetto al comune a cui si riferiscono, sono rappresentati da tre differenti accelerogrammi di progetto:

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

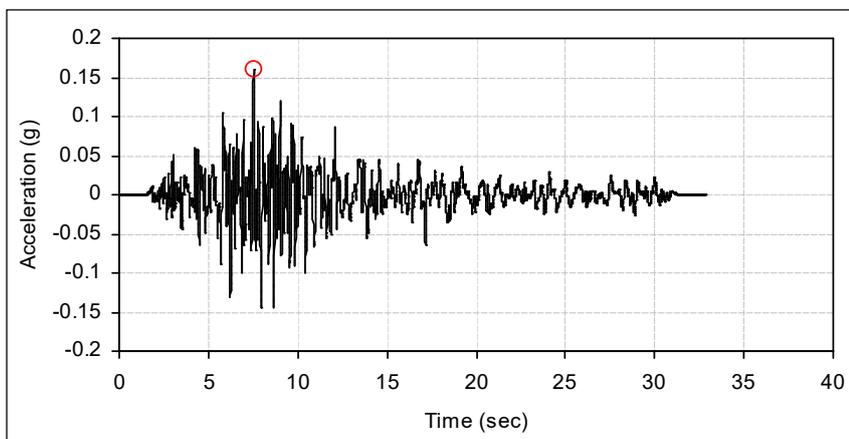
Tali segnali sono scalati in modo che la loro accelerazione massima corrisponda al valore di accelerazione con probabilità di superamento del 10% in 50 anni attesa nel Comune secondo le Norme Tecniche, ovvero  $0.161\text{ g}$  (Lama Mocogno).



000046xa\_036018LamaMocogno.xy



000126xa\_036018LamaMocogno.xy



000354xa\_036018LamaMocogno.xy

Segnali sismici di riferimento selezionati dalla banca dati accelerometrica "European 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 Lama Mocogno, il dato fondamentale del sisma forniti dalla Delibera Regionale è:

- accelerazione al substrato  $a_g = 0.161g$ .

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).

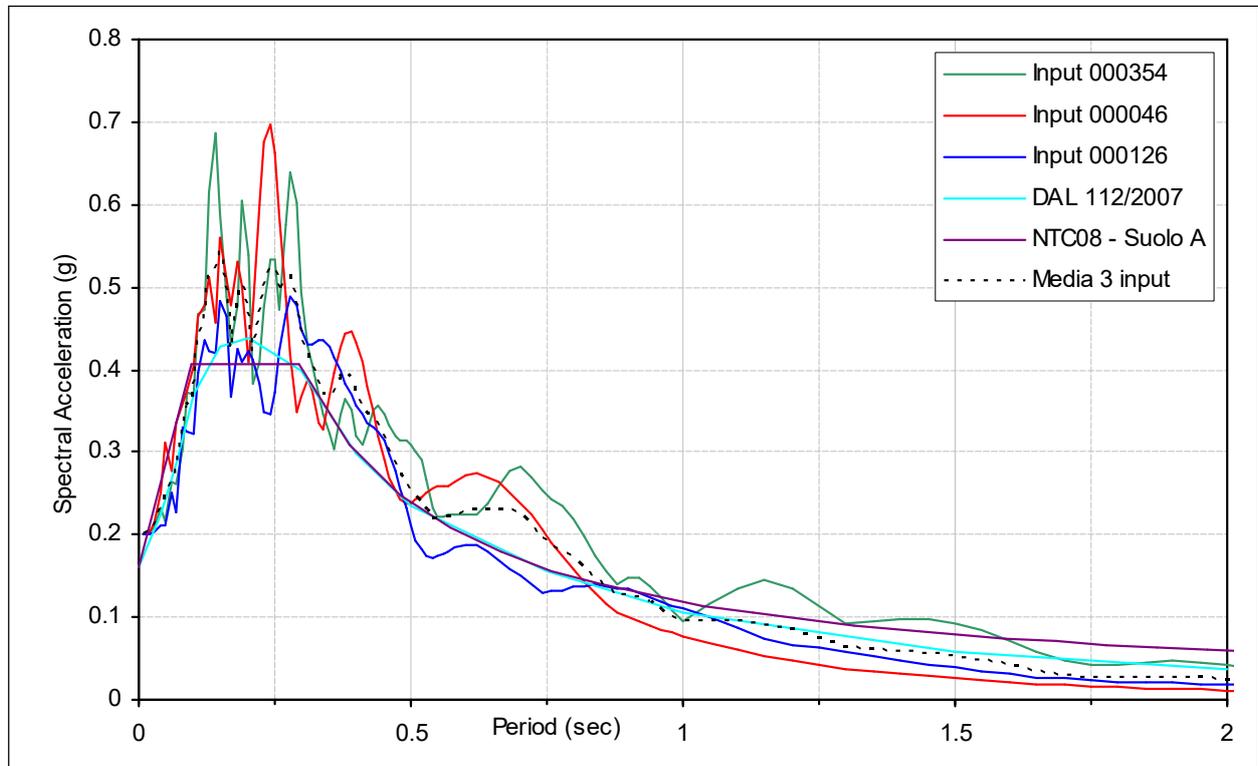
Il secondo spettro ottenuto riguarda la **PSV**, ossia la pseudovelocità. Questo mostra il comportamento della velocità spettrale, in funzione del periodo (T) compreso tra 0 e 2 secondi, nei diversi layers della colonna litologica, in base all'input sismico applicato. I risultati di questa analisi sono 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 Lama Mocogno ( $a_g=0.161g$ ) 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 Lama Mocogno, spettro Dal RER 112/2007, spettro NTC18 su suolo rigido.

Per un immediato confronto nella figura sono stati inseriti anche lo spettro regionale (DAL 112/2007) e quello delle NTC18.

### 8.3 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 stati utilizzati i modelli riportati nei capitoli precedenti.

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 – NIL2 – Corpo di frana Sud**

Fundamental period (s) = 0.26

Average shear wave velocity (m/sec) = 435.57

Total number of sublayers = 6

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 <sup>3</sup> )	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	4.0	77.37		18.60	202		W	2.0	17.58
	2	2	5.4	118.82		18.80	249			5.3	47.30
	3	1	9.9	423.17		20.50	450			8.1	71.57
	4	1	8.8	855.94		20.50	640			14.4	136.62
Bedrock	5	0		1363.19	1	21.00	798	Outcrop		23.7	236.57

**Modello sismostratigrafico – NIL3- Corpo di frana Nord**

Fundamental period (s) = 0.26

Average shear wave velocity (m/sec) = 466.17

Total number of sublayers = 6

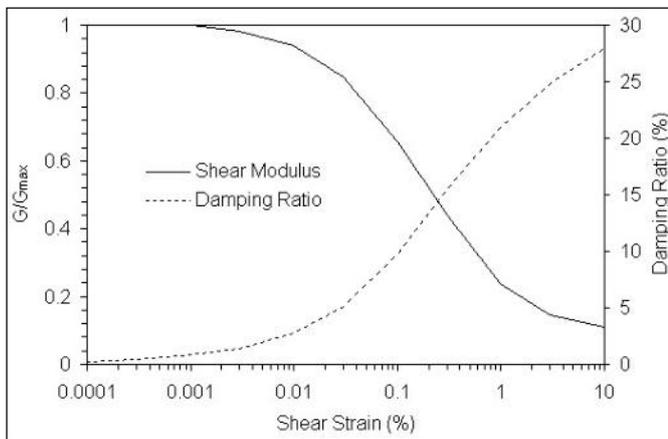
Layer Number	Soil Material Type	Number of sublayers in layer	Thickness of layer (m)	Maximum shear modulus $G_{max}$ (MPa)	Initial critical damping ratio (%)	Total unit weight (kN/m <sup>3</sup> )	Shear wave velocity (m/sec)	Location and type of earthquake input motion	Location of water table	Depth at middle of layer (m)	Vertical effective stress (kPa)
Surface	1	1	5.0	94.29		18.60	223		W	2.5	21.98
	2	2	5.0	156.75		18.80	286			6.3	55.19
	3	1	10.0	522.43		20.50	500			8.8	77.66
	4	1	10.0	866.68		20.50	644			15.0	142.35
Bedrock	5	0		1695.63	1	21.00	890	Outcrop		25.0	249.25

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**

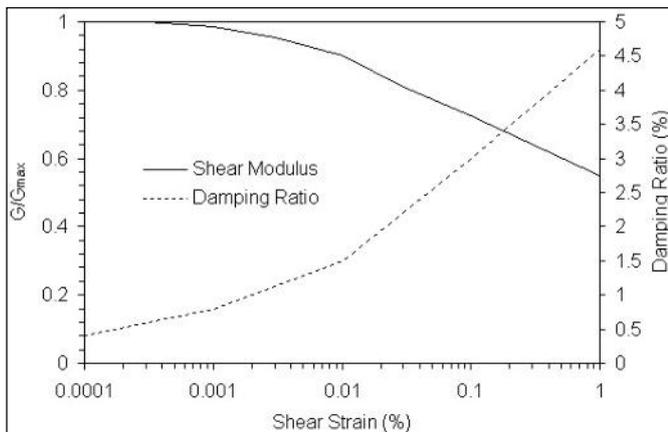
**Coltre detritica/deposito di frana**



*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		

#### 8.4 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 DGR2193/2015 e con i valori di  $S_s$  definiti nelle NTC2018.

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.

**NIL2-Corpo di frana Sud**

<b>Fattori di amplificazione</b>	<b>Modellazione numerica</b>				<b>NTC 18</b>
	<b>046</b>	<b>126</b>	<b>354</b>	<b>Media</b>	
FA <sub>PGA</sub> (PGA <sub>s</sub> /a <sub>g</sub> )	1.73	1.78	1.89	1.80	1.456
0.1 ÷ 0.5 s				1.83	-
0.5 ÷ 1.0 s				1.18	-
PGA	0.292				

**NIL3-Corpo di frana Sud**

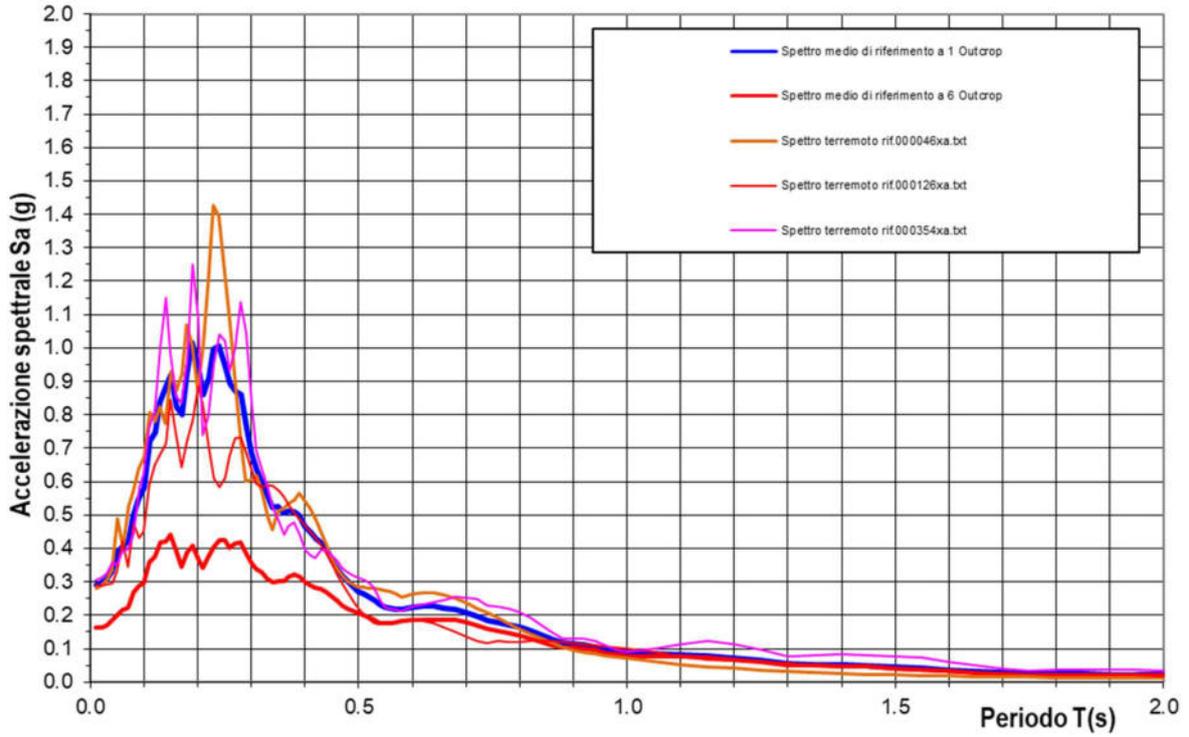
<b>Fattori di amplificazione</b>	<b>Modellazione numerica</b>				<b>NTC 18</b>
	<b>046</b>	<b>126</b>	<b>354</b>	<b>Media</b>	
FA <sub>PGA</sub> (PGA <sub>s</sub> /a <sub>g</sub> )	1.81	1.77	1.93	1.83	1.456
0.1 ÷ 0.5 s				1.81	-
0.5 ÷ 1.0 s				1.17	-
PGA	0.297				

Valori del fattore di amplificazione FA ottenuti dalla modellazione numerica con EERA confrontati con quelli ricavati dalla normativa nazionale (NTC18).

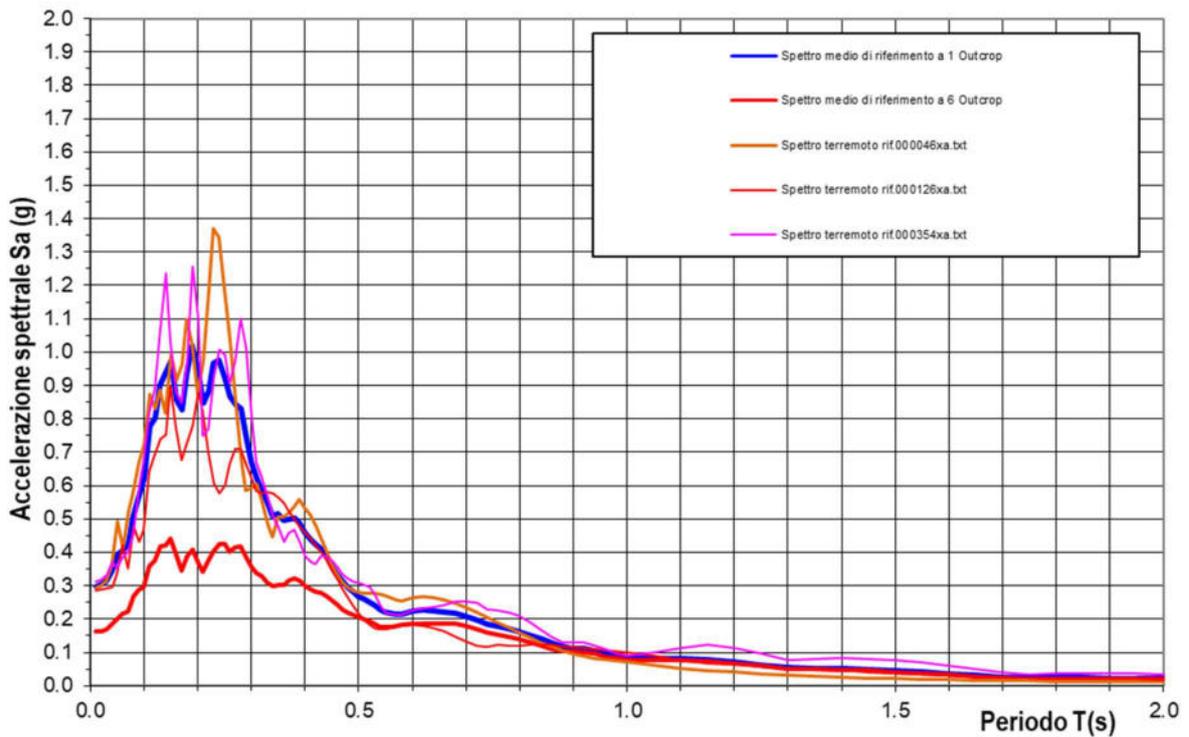
Dalle tabelle si rileva come i valori derivati dalla modellazione numerica siano più alti rispetto a quelli determinati seguendo le NTC18.

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

**NIL2**



**NIL3**



Spettri di risposta elastici ottenuti dalla modellazione numerica ( $T_r=475$  anni, smorzamento 5%) per i tre siti rappresentativi.

## 9 VERIFICHE DI STABILITA'

Le verifiche di stabilità del versante di Lama Mocogno sono state condotte in corrispondenza dei due corpi di frana che interferiscono direttamente con il versante a NW dell'abitato; vengono distinte, come più volte descritto, in frana Sud (NIL2) e frana Nord (NIL3).

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

- coinvolgere le diverse zone dell'area in studio;
- 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.

### 9.1 MODELLAZIONE GEOTECNICA – SCELTA DEI PARAMETRI GEOTECNICI

I parametri utilizzati nelle verifiche sono riportati nella tabella seguente:

PARAMETRI GEOTECNICI CARATTERISTICI UTILIZZATI NELLE VERIFICHE DI STABILITÀ

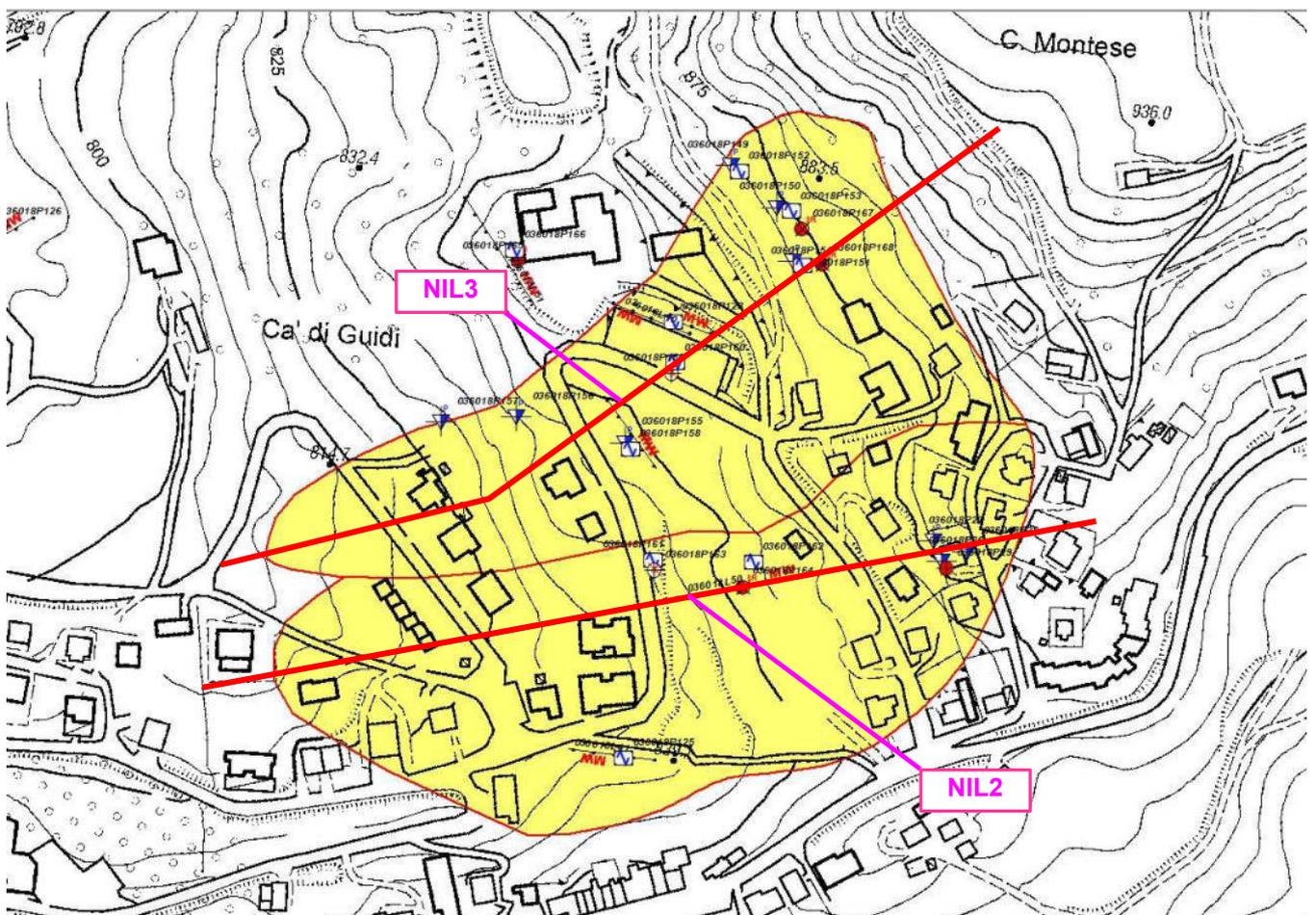
Parametri	$\gamma/\gamma_s$ (t/mc)	$\phi_p$ (°)	$C'_p$ (kPa)
Frana quiescente	2.0/2.1	22/23	5/6
Primo substrato alterato detensionato	2.1/2.2	32/35	15/20

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

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  $\gamma=20 \text{ kN/m}^3$ .



Traccia delle sezioni di verifica di stabilità.

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

Le sezioni rappresentate mostrano come nel suo complesso il versante in esame 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 (°)	Max (°)	Min. (°)
NIL2-FRANA SUD	12	20	9
NIL3-FRANA NORD	12	17	8

Allo scopo di verificare la correttezza della stima dei parametri di resistenza al taglio del detrito di frana quiescente ( $c'=5/6$  kPa e  $\phi=22^\circ/23^\circ$ ) sono stati inizialmente considerati i tratti di pendio "indefinito" corrispondenti a tali zone.

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 quiescente.

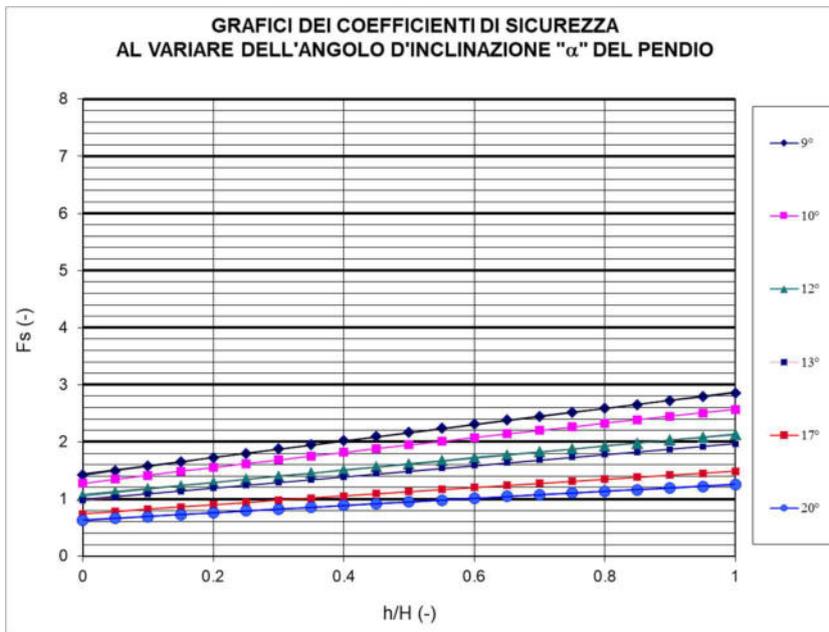
Inoltre è stato ipotizzato un livello di falda variabile da assente fino a piano campagna.

FORMULA ADOTTATA PER IL CALCOLO DEI COEFFICIENTI DI SICUREZZA	
$F_s = \frac{c' + (h_w \times \gamma' + \gamma \times h) \times \tan \phi'}{(h_w \times \gamma_{sat} + \gamma \times h) \times \sin \alpha \times \cos \alpha + (h_w \times \gamma_{sat} + \gamma \times h) \times \tan \alpha}$	
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 del piano campagna
$h_w$	Altezza della falda = $H-h$

**Corpo di frana quiescente – NIL2 - Sud**

<b>VERIFICA DI STABILITA' GLOBALE DI PENDIO INDEFINITO</b>									
<b>DATI UTILIZZATI PER IL CALCOLO DEI COEFFICIENTI DI SICUREZZA</b>									
Wn (%)	$\gamma$ (ton/m <sup>3</sup> )	$\gamma^s$ (ton/m <sup>3</sup> )	c' (ton/m <sup>2</sup> )	$\phi^i$ (°)	$\alpha$ (°)	H (m)	$\gamma^w$ (ton/m <sup>3</sup> )	DIVISIONE DI "H" IN TRATTI	
18.00	2.000	2.000	0.6	23	9	11.00	1	20	
					10				
					12				
					13				
					17				
					20				

<b>TABELLA DEI VALORI CALCOLATI DEI COEFFICIENTI DI SICUREZZA "F<sub>s</sub>" AL VARIARE DEL RAPPORTO "h/H"</b>											
$\alpha = 9^\circ$		$\alpha = 10^\circ$		$\alpha = 12^\circ$		$\alpha = 13^\circ$		$\alpha = 17^\circ$		$\alpha = 20^\circ$	
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	1.42	0.00	1.28	0.00	1.06	0.00	0.98	0.00	0.74	0.00	0.63
0.05	1.50	0.05	1.35	0.05	1.12	0.05	1.03	0.05	0.78	0.05	0.66
0.10	1.57	0.10	1.42	0.10	1.18	0.10	1.08	0.10	0.82	0.10	0.69
0.15	1.65	0.15	1.48	0.15	1.23	0.15	1.14	0.15	0.86	0.15	0.73
0.20	1.73	0.20	1.55	0.20	1.29	0.20	1.19	0.20	0.90	0.20	0.76
0.25	1.80	0.25	1.62	0.25	1.34	0.25	1.24	0.25	0.94	0.25	0.79
0.30	1.88	0.30	1.69	0.30	1.40	0.30	1.29	0.30	0.98	0.30	0.82
0.35	1.95	0.35	1.75	0.35	1.46	0.35	1.34	0.35	1.02	0.35	0.86
0.40	2.02	0.40	1.82	0.40	1.51	0.40	1.39	0.40	1.05	0.40	0.89
0.45	2.09	0.45	1.88	0.45	1.56	0.45	1.44	0.45	1.09	0.45	0.92
0.50	2.17	0.50	1.95	0.50	1.62	0.50	1.49	0.50	1.13	0.50	0.95
0.55	2.24	0.55	2.01	0.55	1.67	0.55	1.54	0.55	1.17	0.55	0.98
0.60	2.31	0.60	2.08	0.60	1.72	0.60	1.59	0.60	1.20	0.60	1.01
0.65	2.38	0.65	2.14	0.65	1.78	0.65	1.64	0.65	1.24	0.65	1.04
0.70	2.45	0.70	2.20	0.70	1.83	0.70	1.68	0.70	1.28	0.70	1.07
0.75	2.52	0.75	2.26	0.75	1.88	0.75	1.73	0.75	1.31	0.75	1.10
0.80	2.59	0.80	2.32	0.80	1.93	0.80	1.78	0.80	1.35	0.80	1.13
0.85	2.66	0.85	2.39	0.85	1.98	0.85	1.82	0.85	1.38	0.85	1.16
0.90	2.72	0.90	2.45	0.90	2.03	0.90	1.87	0.90	1.42	0.90	1.19
0.95	2.79	0.95	2.51	0.95	2.08	0.95	1.92	0.95	1.45	0.95	1.22
1.00	2.86	1.00	2.57	1.00	2.13	1.00	1.96	1.00	1.49	1.00	1.25

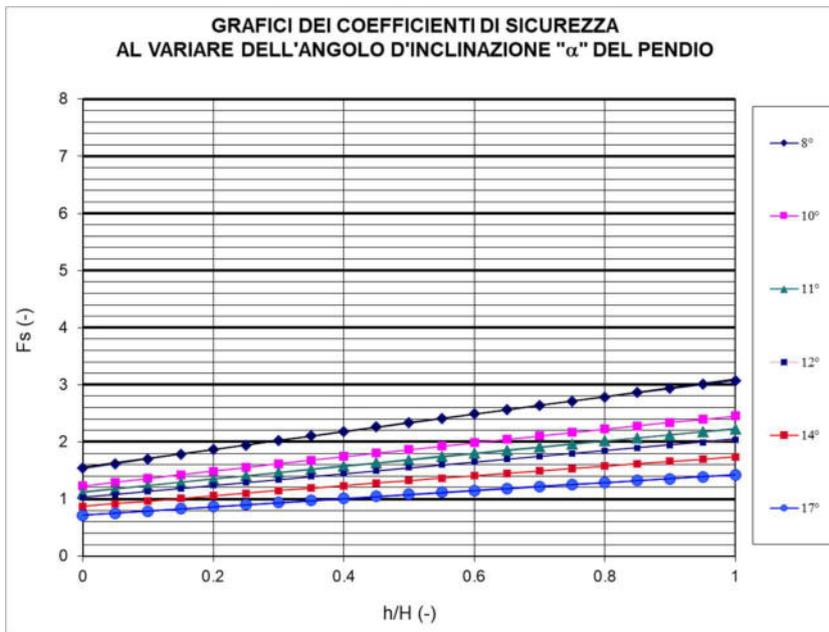


I risultati indicano che nelle zone di detrito di frana quiescente, il fattore di sicurezza  $F_s$  è sempre sufficientemente elevato ( $>1.5/2$ ). Solamente con livelli di falda prossimi al piano campagna ci si avvicina all'equilibrio limite ( $F \approx 1$ ) o a condizioni di instabilità ( $F < 1$ ) nei tratti a maggiore acclività ( $13^\circ \div 20^\circ$ ).

**Corpo di frana quiescente – NIL3 - Nord**

<b>VERIFICA DI STABILITA' GLOBALE DI PENDIO INDEFINITO</b>								
<b>DATI UTILIZZATI PER IL CALCOLO DEI COEFFICIENTI DI SICUREZZA</b>								
Wn (%)	$\gamma$ (ton/m <sup>3</sup> )	$\gamma^s$ (ton/m <sup>3</sup> )	c' (ton/m <sup>2</sup> )	$\phi^i$ (°)	$\alpha$ (°)	H (m)	$\gamma^w$ (ton/m <sup>3</sup> )	DIVISIONE DI "H" IN TRATTI
18.00	2.000	2.000	0.5	22	8	9.00	1	20
					10			
					11			
					12			
					14			
					17			

<b>TABELLA DEI VALORI CALCOLATI DEI COEFFICIENTI DI SICUREZZA "F<sub>s</sub>" AL VARIARE DEL RAPPORTO "h/H"</b>											
$\alpha = 8^\circ$		$\alpha = 10^\circ$		$\alpha = 11^\circ$		$\alpha = 12^\circ$		$\alpha = 14^\circ$		$\alpha = 17^\circ$	
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	1.54	0.00	1.23	0.00	1.11	0.00	1.02	0.00	0.87	0.00	0.71
0.05	1.62	0.05	1.29	0.05	1.17	0.05	1.07	0.05	0.92	0.05	0.75
0.10	1.70	0.10	1.36	0.10	1.23	0.10	1.13	0.10	0.96	0.10	0.79
0.15	1.78	0.15	1.42	0.15	1.29	0.15	1.18	0.15	1.01	0.15	0.83
0.20	1.86	0.20	1.49	0.20	1.35	0.20	1.24	0.20	1.06	0.20	0.86
0.25	1.95	0.25	1.55	0.25	1.41	0.25	1.29	0.25	1.10	0.25	0.90
0.30	2.02	0.30	1.62	0.30	1.47	0.30	1.34	0.30	1.15	0.30	0.94
0.35	2.10	0.35	1.68	0.35	1.52	0.35	1.39	0.35	1.19	0.35	0.97
0.40	2.18	0.40	1.74	0.40	1.58	0.40	1.45	0.40	1.24	0.40	1.01
0.45	2.26	0.45	1.80	0.45	1.64	0.45	1.50	0.45	1.28	0.45	1.05
0.50	2.34	0.50	1.86	0.50	1.69	0.50	1.55	0.50	1.32	0.50	1.08
0.55	2.41	0.55	1.93	0.55	1.75	0.55	1.60	0.55	1.37	0.55	1.12
0.60	2.49	0.60	1.99	0.60	1.80	0.60	1.65	0.60	1.41	0.60	1.15
0.65	2.56	0.65	2.05	0.65	1.86	0.65	1.70	0.65	1.45	0.65	1.19
0.70	2.64	0.70	2.11	0.70	1.91	0.70	1.75	0.70	1.49	0.70	1.22
0.75	2.71	0.75	2.16	0.75	1.96	0.75	1.80	0.75	1.53	0.75	1.25
0.80	2.79	0.80	2.22	0.80	2.02	0.80	1.85	0.80	1.58	0.80	1.29
0.85	2.86	0.85	2.28	0.85	2.07	0.85	1.89	0.85	1.62	0.85	1.32
0.90	2.93	0.90	2.34	0.90	2.12	0.90	1.94	0.90	1.66	0.90	1.36
0.95	3.00	0.95	2.40	0.95	2.18	0.95	1.99	0.95	1.70	0.95	1.39
1.00	3.08	1.00	2.45	1.00	2.23	1.00	2.04	1.00	1.74	1.00	1.42



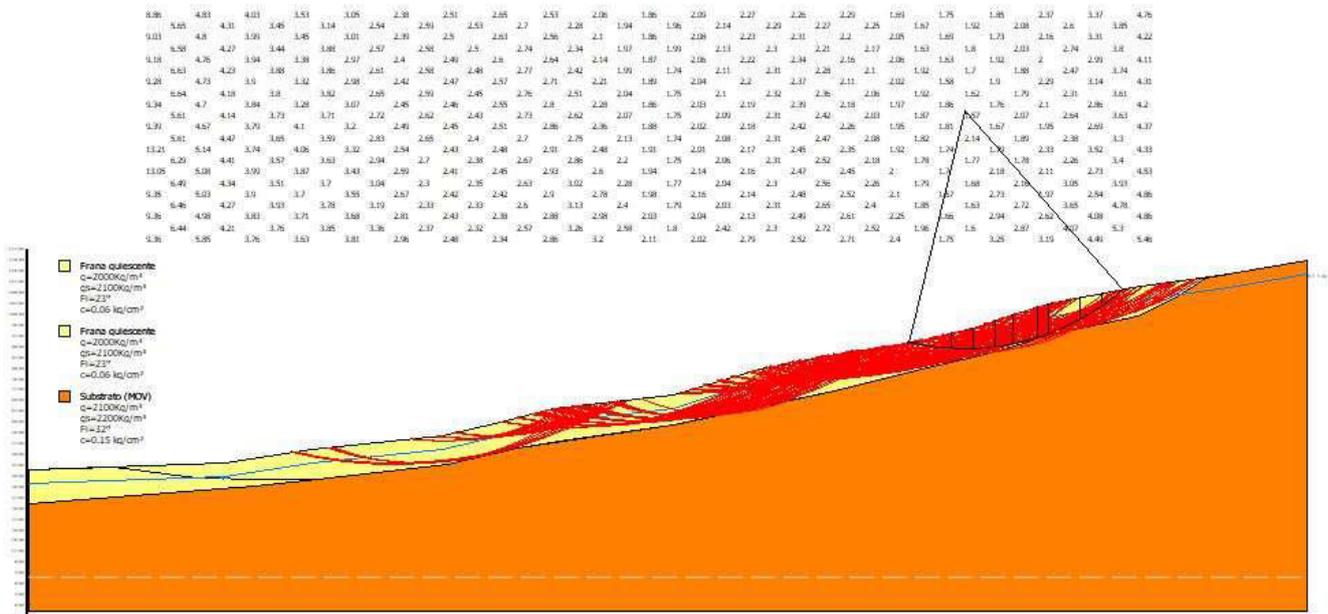
I risultati indicano che nelle zone di detrito di frana quiescente, il fattore di sicurezza  $F_s$  è sempre sufficientemente elevato ( $>1.5/2$ ). Solamente con livelli di falda prossimi al piano campagna ci si avvicina all'equilibrio limite ( $F \approx 1$ ) o a condizioni di instabilità ( $F < 1$ ) nei tratti a maggiore acclività ( $14^\circ \div 17^\circ$ ).

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

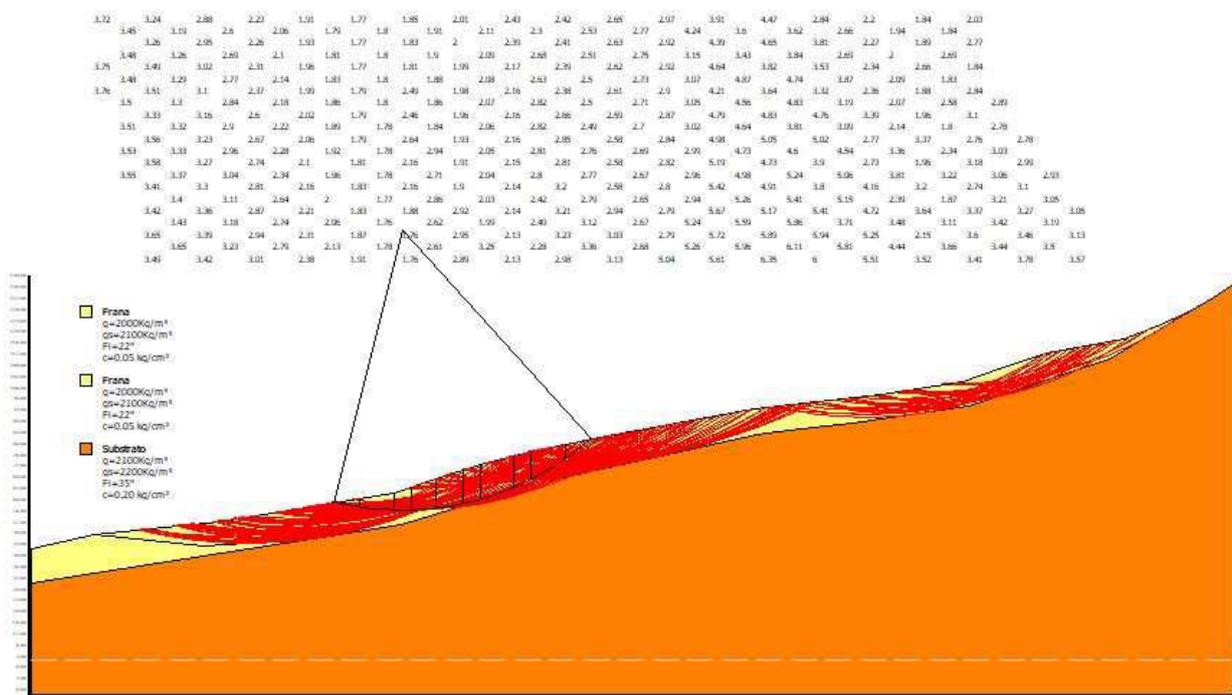
Le verifiche di stabilità del pendio nei tratti più critici delle sezioni indagate, sono state eseguite con metodi delle strisce all'equilibrio limite utilizzando il programma Slope della Geostru.

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 Fs è stato utilizzato il metodo di Bishop semplificato che ipotizza superfici di forma circolare.

#### Frana NIL2 (cond. statiche)



#### Frana NIL3 (cond. statiche)



Corpo di frana	Sup. Circolare (Fs range)	Sup. Circolare (Fs min)
NIL2 - Sud	1.57 ÷ >3,67	1,57
NIL3- Nord	1.76 ÷ 2.69	1.76

Fattori di sicurezza (Fs) in condizioni statiche

#### 9.4 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 NIL2:  $S_s = 1.80$

Frana NIL3:  $S_s = 1.83$

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 NIL2:  $k_h = 0.06997$  e  $k_v = \pm 0.034985$

Frana NIL3:  $k_h = 0.07115$  e  $k_v = \pm 0.035575$

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



## 9.5 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.

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.

Corpo di frana	Coeff. sismico critico orizzontale (Kc)	Accelerogramma		
		046	126	354
		$S_0$ (cm)	$S_0$ (cm)	$S_0$ (cm)
NIL2 - Sud	0.132	0.59	0.08	0.67
NIL3- Nord	0.181	0.14	0.02	0.16

Spostamento del blocco di Newmark (in cm)

## 9.6 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 10 <sup>-3</sup>	0.6 10 <sup>-3</sup>
40	1.2 10 <sup>-3</sup>	1.1 10 <sup>-3</sup>
55	2.5 10 <sup>-3</sup>	1.2 10 <sup>-3</sup>

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  $I_p$ ).

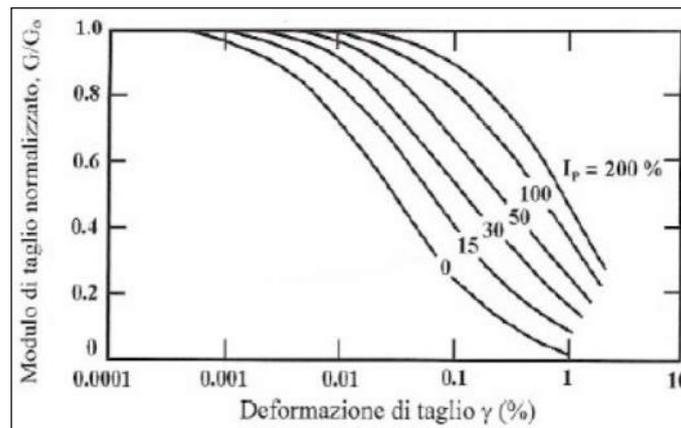


Diagramma utilizzato per il modulo di taglio  $G$

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.

## **10 ELABORATI CARTOGRAFICI**

A corredo dello studio di approfondimento di 3° Livello, considerando che i perimetri delle aree instabili non vengono modificate così come quelli delle aree stabili e di conseguenza lo studio pregresso di Microzonazione Sismica di 1° e 2° livello non subisce modifiche, sono state prodotte le seguenti tavole tematiche a scala 1:2.000:

- Carta delle Indagini
- Carta geologico-tecnica
- Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica
- Carta di Microzonazione Sismica Livello 3 – FAPGA
- Carta di Microzonazione Sismica Livello 3 – FH 0,1-0,5 s
- Carta di Microzonazione Sismica Livello 3 – FH 0,5-1,0 s
- Carta delle Frequenze
- Carta delle velocità delle onde di taglio S ( $V_s$ )

### **CARTA DELLE INDAGINI**

Nella carta delle indagini sono riportate, con opportuno simbolo grafico le seguenti indagini:

Indagini di repertorio desunte dal DBase di MS di I e II Livello:

- n° 1 sondaggi a carotaggio continuo
- n° 4 Prove penetrometriche dinamiche DPSH
- n° 2 Masw
- n° 2 Hvsr

Indagini di repertorio desunte da POC Comunali e inserite nel DBase di MS aggiornato al III Livello:

- n° 6 Prove penetrometriche dinamiche DPSH
- n° 1 Masw
- n° 4 Hvsr
- n° 2 stendimenti di sismica a rifrazione

Nuove indagini geofisiche per lo studio di MS di III Livello e inserite nel DBase aggiornato:

- n° 3 sondaggi a carotaggio continuo
- n° 2 tubi inclinometrici
- n° 3 Masw
- n° 4 Hvsr
- n° 1 stendimenti di sismica a rifrazione

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.

I simboli adottati sono i seguenti.

	Sondaggio a carotaggio continuo che intercetta il substrato
	Profilo sismica a rifrazione
	Sondaggio con inclinometro
	Prova penetrometrica statica con punta meccanica (CPT)
	Prova penetrometrica dinamica pesante
	Prova penetrometrica dinamica leggera
	Stazione microtremore a stazione singola
	Sondaggio a carotaggio continuo
	MASW
	REMI

## CARTA GEOLOGICO-TECNICA

Nella carta geologico-tecnica sono riportate, con rappresentazione e simboli aggiornati con gli Standard utilizzati, sia i due movimenti gravitativi quiescenti complessi che gli elementi tettonico strutturali da rilievo geologico di campagna (Giacitura degli strati) e i sondaggi di vecchia e nuova realizzazione con indicazione del raggiungimento del substrato.

## CARTA DELLE MICROZONE OMOGENEE IN PROSPETTIVA SISMICA

Nella carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica sono riportate, con rappresentazione e simboli aggiornati con gli Standard utilizzati, sia i due movimenti gravitativi quiescenti complessi classificati come ZAFR che i punti di misura di rumore ambientale (HVSR) comprendendo sia le indagini HVSR di vecchia realizzazione che quelle inserite nel presente studio.

## CARTE DI MICROZONAZIONE SISMICA LIVELLO 3

Nelle carte della microzonazione sismica di 3° livello, 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 2 zone sulla base dei differenti valori di FRT e FA.

Di seguito si riportano le legende delle Tavole:



## CARTA DELLE FREQUENZE

Nella carta delle frequenze sono riportati, per l'area di approfondimento di 3° livello, i punti di misura di rumore ambientale (HVSr) con rappresentato il valore della frequenza fondamentale  $f_0$  oltre ad essere rappresentato, per classi di riferimento, il valore dell'ampiezza del picco di frequenza fondamentale ( $A_0$ ).

## CARTA DELLE VELOCITÀ DELLE ONDE DI TAGLIO S (VS)

Nella carta delle velocità delle onde di taglio S ( $V_s$ ) vengono rappresentate, per l'area di approfondimento di 3° livello, tutte le indagini geofisiche dalle quali è stato possibile calcolare i valori di velocità delle onde S rappresentate nel caso in esame da indagini MASW.

In particolare in carta sono stati riportati, per ogni stendimento, i valori di  $V_s H$  (m/s),  $H$  (m) e  $V_{s30}$  (m/s).

## 11 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 (OCDPC 344/2016 – DGR 2188/2016), 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, i fattori di amplificazione.
- 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 basso in quanto caratterizzato da valori di  $F_s$  variabili da 1.57 a 1.76.
- 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, il rischio di frana risulta essere medio-basso in quanto caratterizzato da valori di  $F_s$  variabili da 1.17 a 1.32.
- L'applicazione del metodo dinamico degli spostamenti ad alcuni tratti significativi ha fornito valori massimi dello spostamento cosismico atteso massimo di poco superiore a 0.5 cm, al quale è lecito ritenere che sia associato un livello "modesto" del danno atteso.

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 Padano 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. Tento, 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 2020 – Software Geostru

## **ALLEGATO - 1 -**

### **INDAGINI SISMICHE MASW DI NUOVA REALIZZAZIONE**

**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**  
**MASW 2**

Committente: Comune di Lama Mocogno  
Località: Lama Mocogno (Mo)  
Data prova: 06/07/2018

**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 7.3

**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 NTC 2018

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 del sottosuolo è stata svolta sulla base del valore della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio,  $V_{S,eq}$  (in m/s), definita dall'espressione:

$$V_{S,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{S,i}}} \quad \text{m/s}$$

$h_i$  = spessore dello strato i-esimo

$V_{S,i}$  = velocità delle onde di taglio nello strato i-esimo

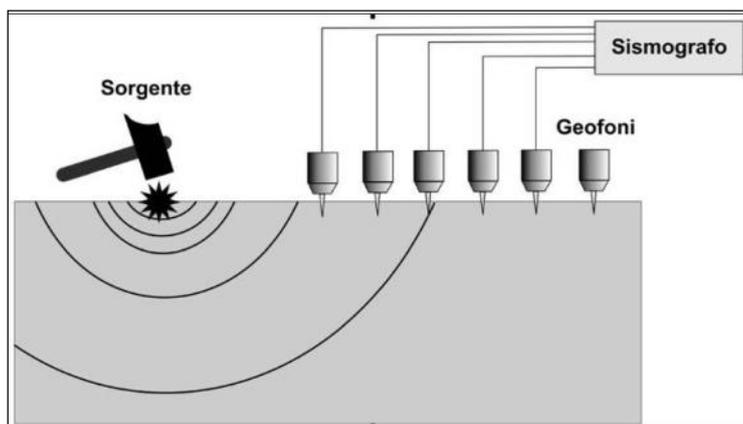
N = numero strati considerati

H = profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da VS non inferiore a 800 m/s

**Metodologia ed elaborazione d'indagine**

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

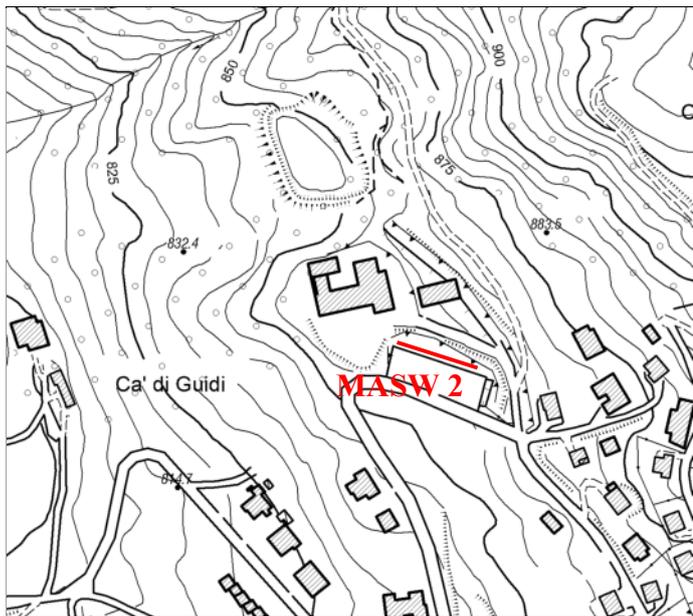
Per ricostruire il profilo verticale della velocità delle onde di taglio (VS), i dati acquisiti sono stati elaborati tramite i seguenti passaggi: determinazione spettro di velocità, identificazione curve di dispersione, inversione/modellazione di queste ultime.



**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

**MASW - UBICAZIONE**

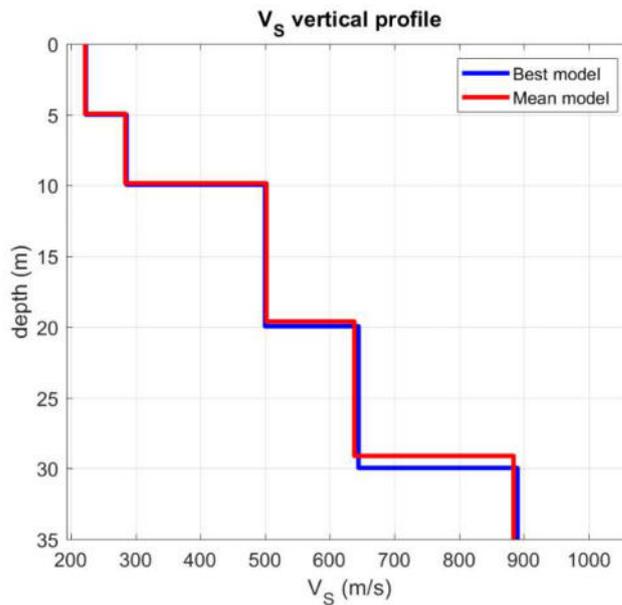
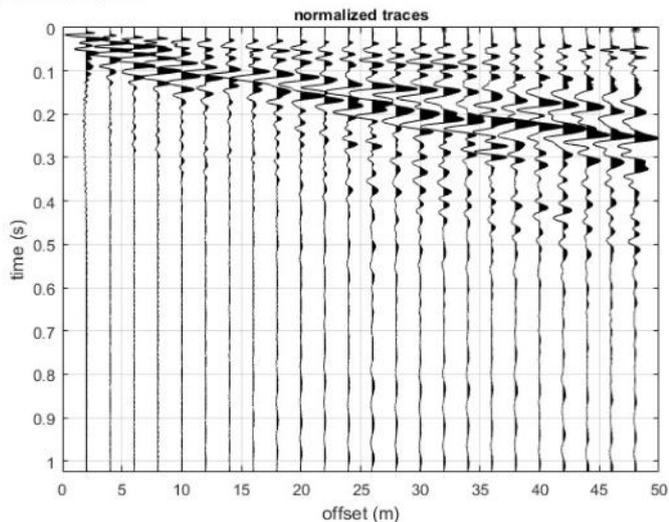


Tratta da Elementi Ctr n° 219141-219142 a scala 1:5.000



**SnapShot e modelli del profilo di velocità**

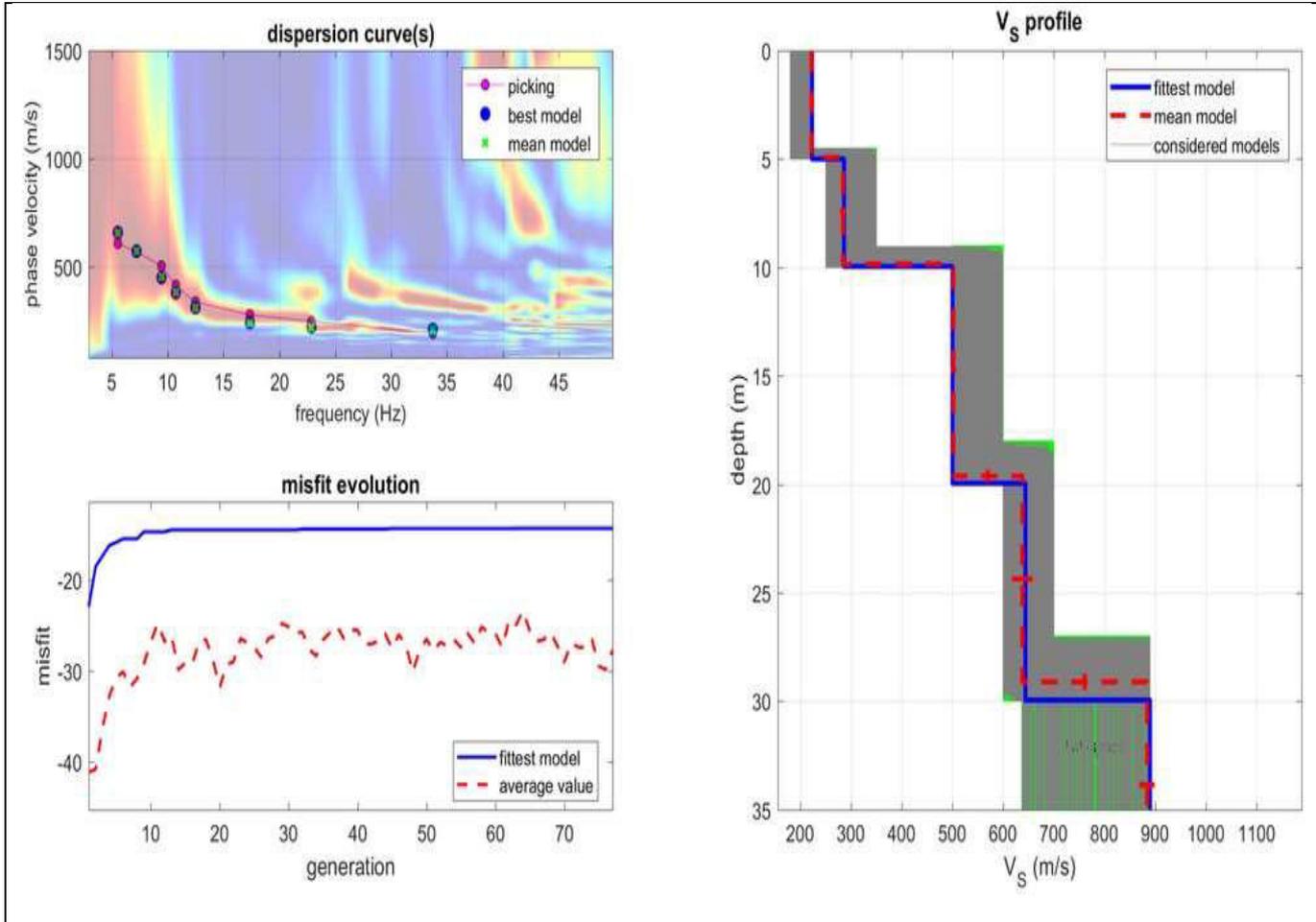
dataset: lama2-2m-a#1.DAT  
sampling: 0.125 ms  
minimum offset: 2 m  
geophone spacing: 2 m



**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

**MASW 2**



**MASW 2**

Profondità (m)		Spessore (m)	Vs (m/s)
da	a		
0.0	5.0	5.0	223
5.0	10.0	5.0	286
10.0	20.0	10.0	500
20.0	30.0	10.0	644
30.0			890

**V<sub>s</sub>H (10 m) = 254 m/s  
CATEGORIA DI SUOLO: C (Ntc18)**

**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**  
**MASW 3**

Committente: Comune di Lama Mocogno  
Località: Lama Mocogno (Mo)  
Data prova: 27/05/2020

**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 7.3

**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 NTC 2018

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 del sottosuolo è stata svolta sulla base del valore della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio,  $V_{S,eq}$  (in m/s), definita dall'espressione:

$$V_{S,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{S,i}}} \quad \text{m/s}$$

$h_i$  = spessore dello strato i-esimo

$V_{S,i}$  = velocità delle onde di taglio nello strato i-esimo

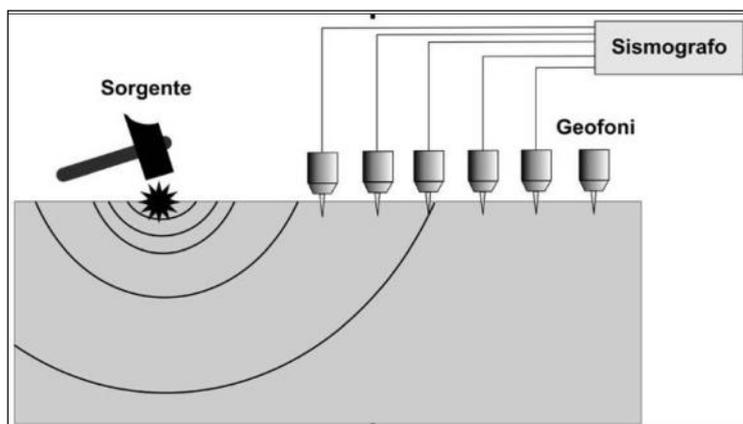
N = numero strati considerati

H = profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da VS non inferiore a 800 m/s

**Metodologia ed elaborazione d'indagine**

Lunghezza stendimento: 69 m  
N° geofoni: 24  
Spaziatura geofoni: 3 m  
Offset energizzazione: 1 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

**MASW - UBICAZIONE**

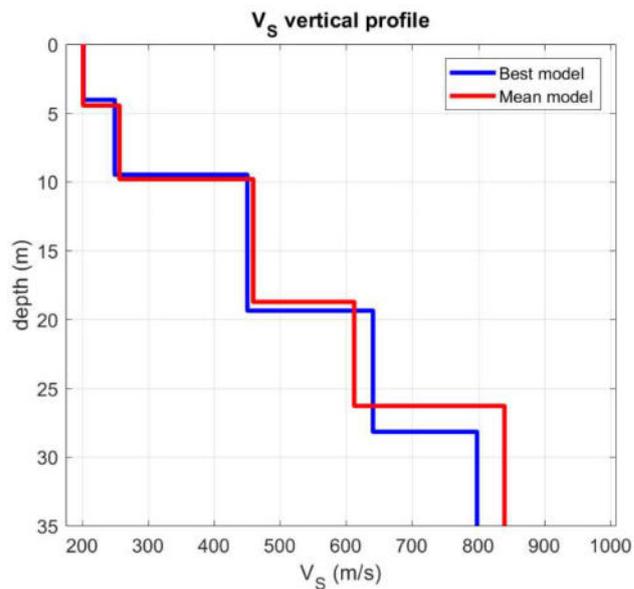
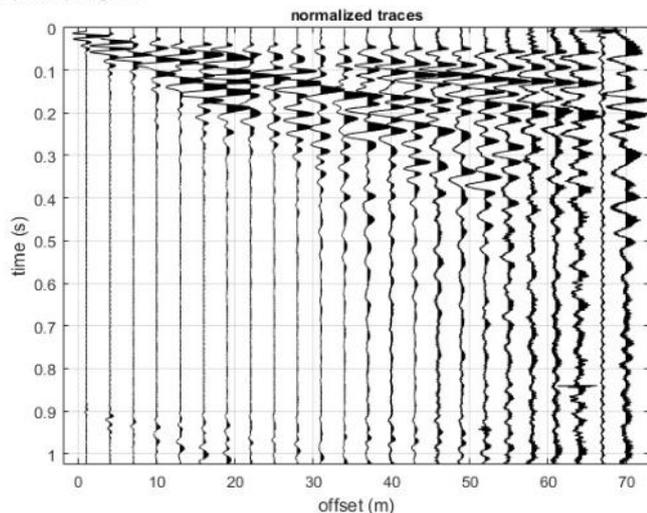


Tratta da Elementi Ctr n° 219141-219142 a scala 1:5.000



**SnapShot e modelli del profilo di velocità**

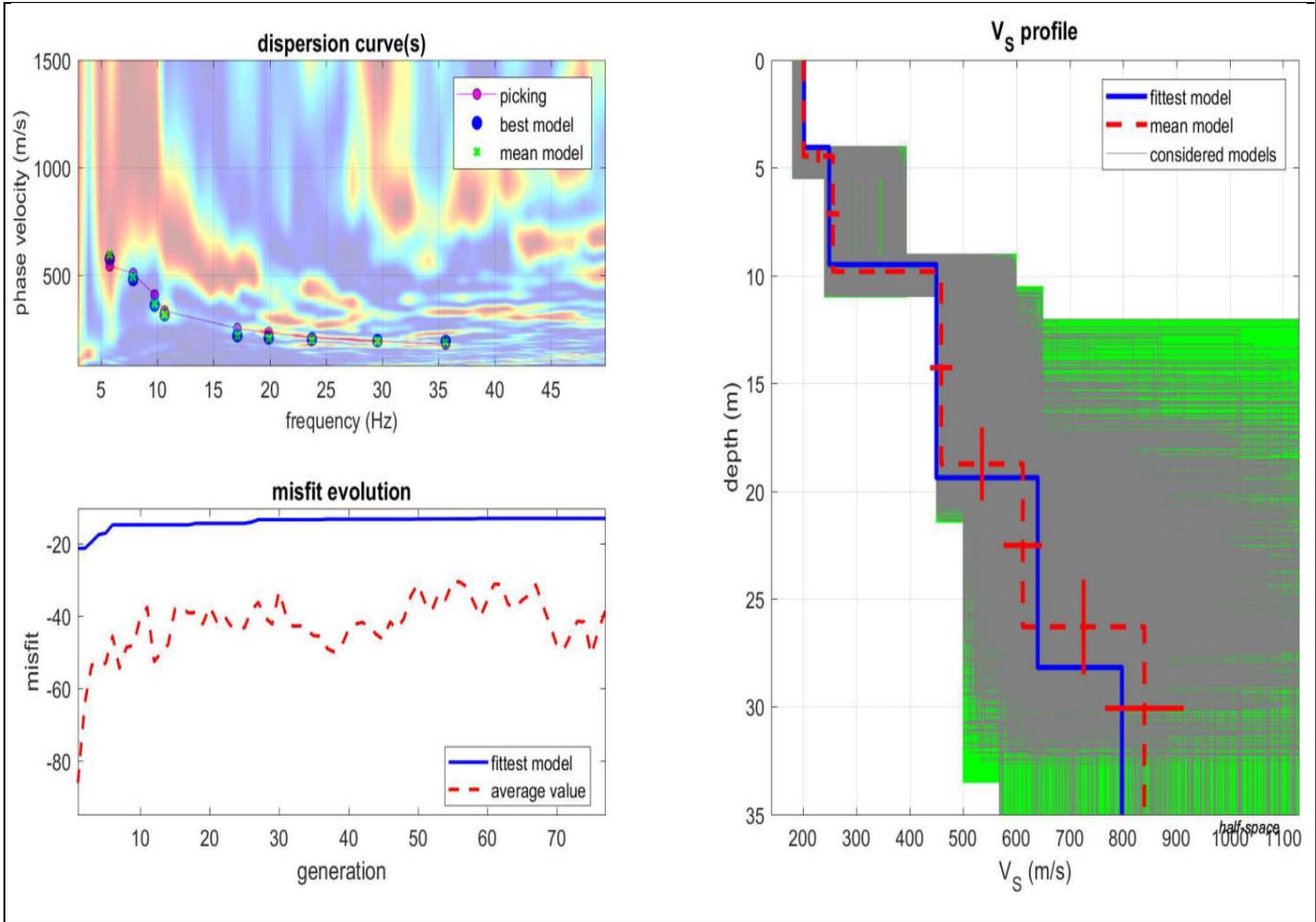
dataset: lama-r-3m#1.DAT  
sampling: 0.125 ms  
minimum offset: 1 m  
geophone spacing: 3 m



**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

**MASW 3**



**MASW 3**

Profondità (m)		Spessore (m)	V <sub>s</sub>
da	a	(m)	(m/s)
0.0	4.0	4.0	202
4.0	9.4	5.4	249
9.4	19.3	9.9	450
19.3	28.1	8.8	640
28.1			798

**V<sub>sH</sub> (9.4 m) = 227 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**  
**MASW**

Committente: Comune di Lama Mocogno  
Località: Via Monte Sabotino – Lama Mocogno (Mo)  
Data prova: 06/07/2018

**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 7.3

**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 NTC 2018

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 del sottosuolo è stata svolta sulla base del valore della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio,  $V_{S,eq}$  (in m/s), definita dall'espressione:

$$V_{S,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{S,i}}} \quad \text{m/s}$$

$h_i$  = spessore dello strato i-esimo

$V_{S,i}$  = velocità delle onde di taglio nello strato i-esimo

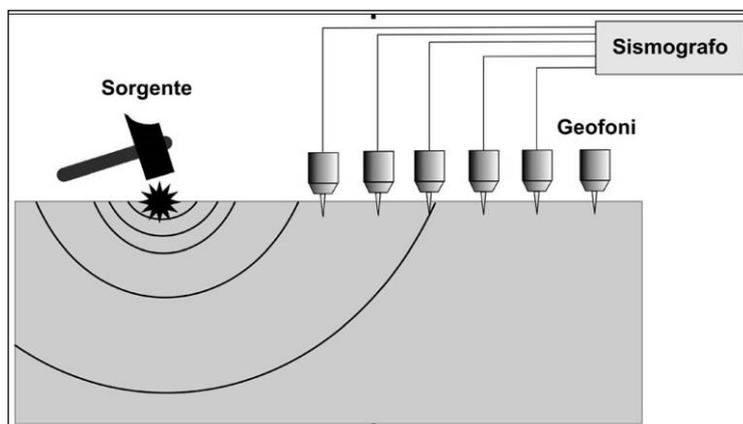
N = numero strati considerati

H = profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da VS non inferiore a 800 m/s

**Metodologia ed elaborazione d'indagine**

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

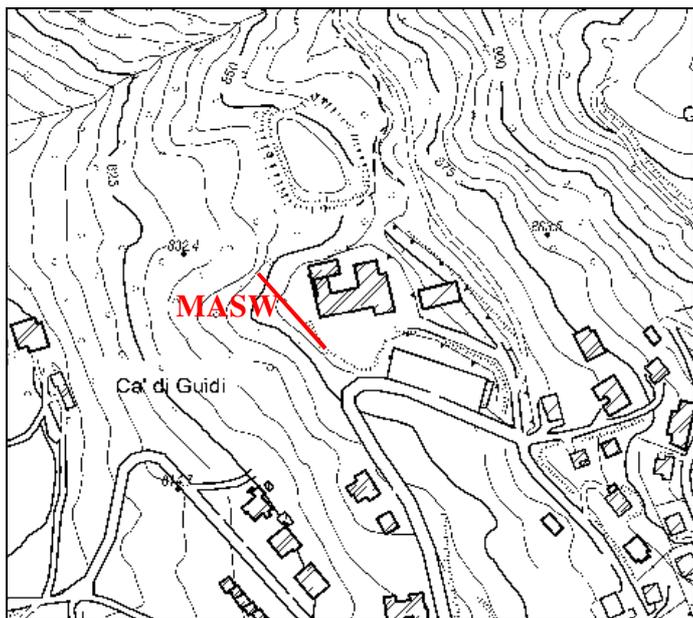
Per ricostruire il profilo verticale della velocità delle onde di taglio (VS), i dati acquisiti sono stati elaborati tramite i seguenti passaggi: determinazione spettro di velocità, identificazione curve di dispersione, inversione/modellazione di queste ultime.



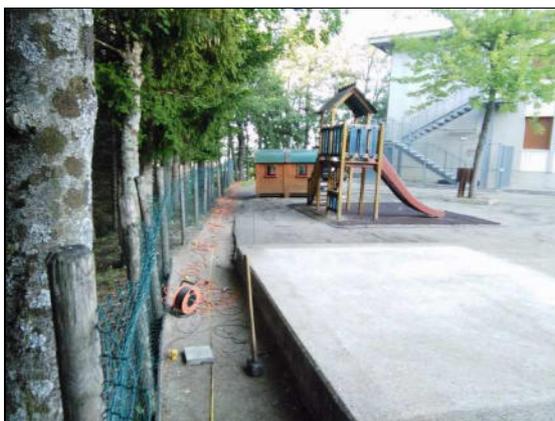
**DOTT. SANTI BORTOLOTTI MARCO**  
**GEOLOGO**

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

**MASW - UBICAZIONE**

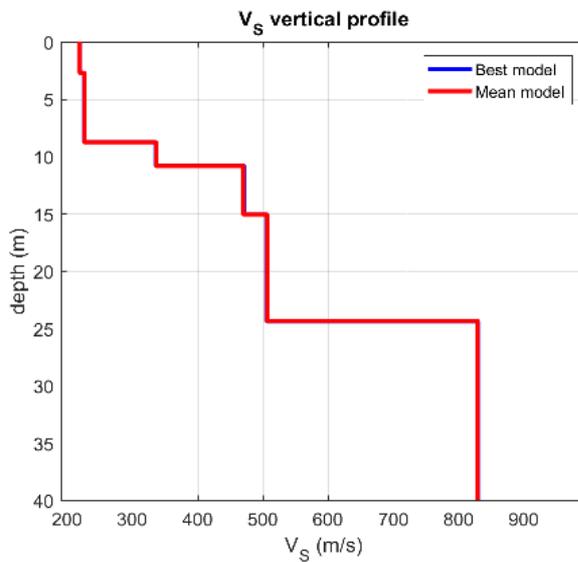
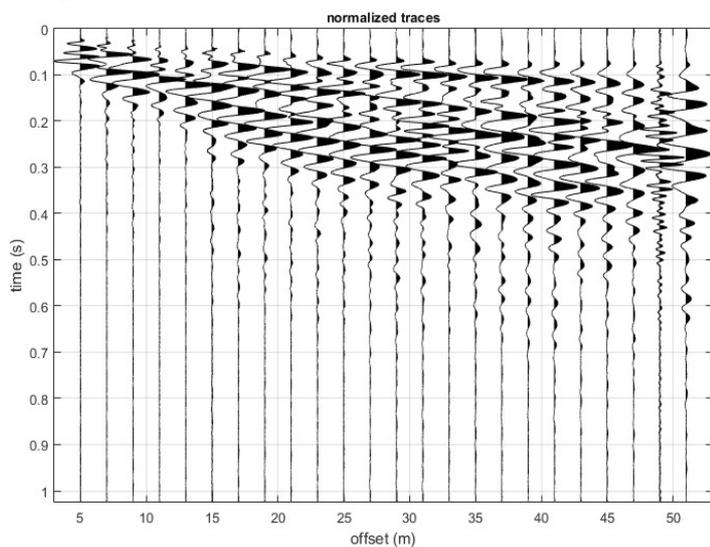


Tratta da Elementi Ctr n° 219141-219142 a scala 1:5.000



**SnapShot e modelli del profilo di velocità**

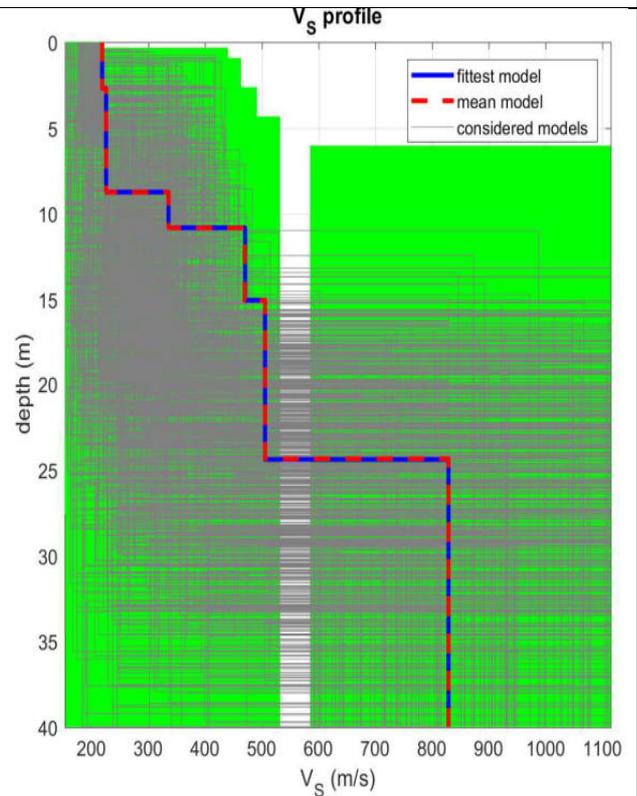
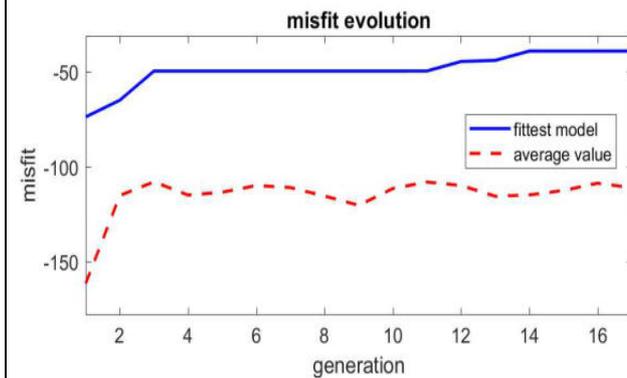
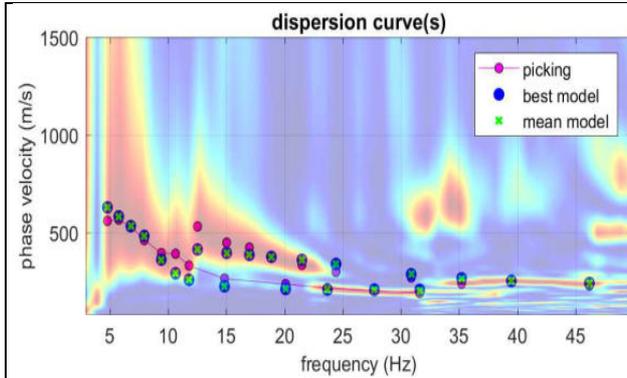
dataset: lama1-5m-a#1.DAT  
sampling: 0.125 ms  
minimum offset: 5 m  
geophone spacing: 2 m



**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

**MASW**



[www.winmasw.com](http://www.winmasw.com)

dataset: lama1-5m-a#1.DAT  
dispersion curve: Lama111.cdp  
Vs30 (best model): 378 m/s  
Vs30 (mean model): 378 m/s

**MASW**

Profondità (m)		Spessore (m)	Vs
da	a	(m)	(m/s)
0.0	2.7	2.7	219
2.7	8.8	6.1	226
8.8	10.9	2.1	336
10.9	15.1	4.2	471
15.1	24.4	9.3	506
24.4			829

**CATEGORIA DI SUOLO: E (Ntc18)**

(Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 30 m, posti sul substrato di riferimento con  $V_s > 800$  m/s)

## **ALLEGATO - 2 -**

### **INDAGINI SISMICHE HVSR DI NUOVA REALIZZAZIONE**

## LAMA MOCOGNO, LAMA2

Instrument: TRZ-0162/01-11

Start recording: 06/07/18 08:15:13 End recording: 06/07/18 08:35:13

Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

GPS data not available

Trace length: 0h20'00". Analyzed 92% trace (manual window selection)

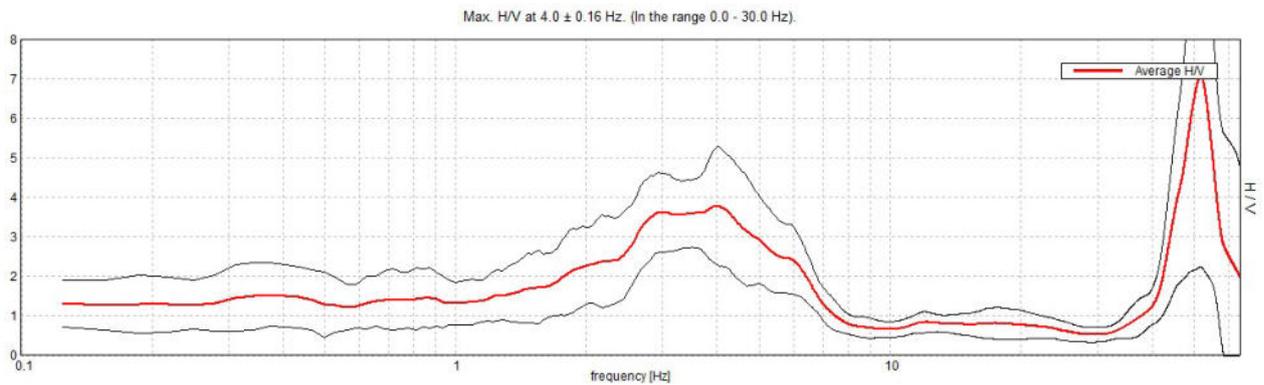
Sampling rate: 128 Hz

Window size: 20 s

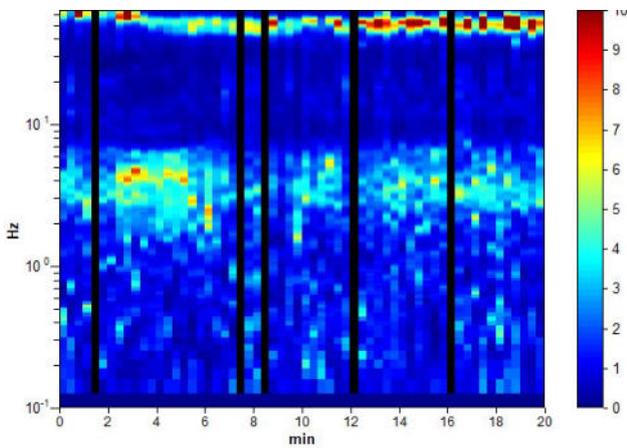
Smoothing type: Triangular window

Smoothing: 10%

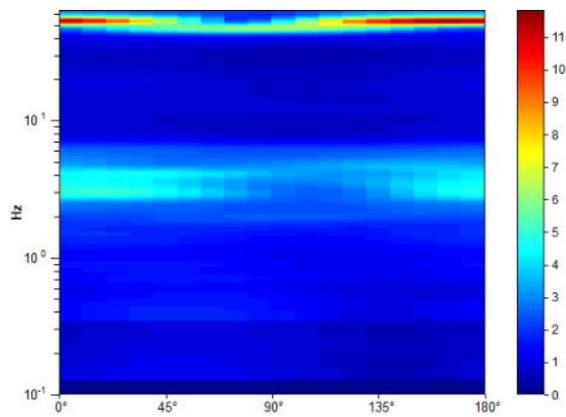
### HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO



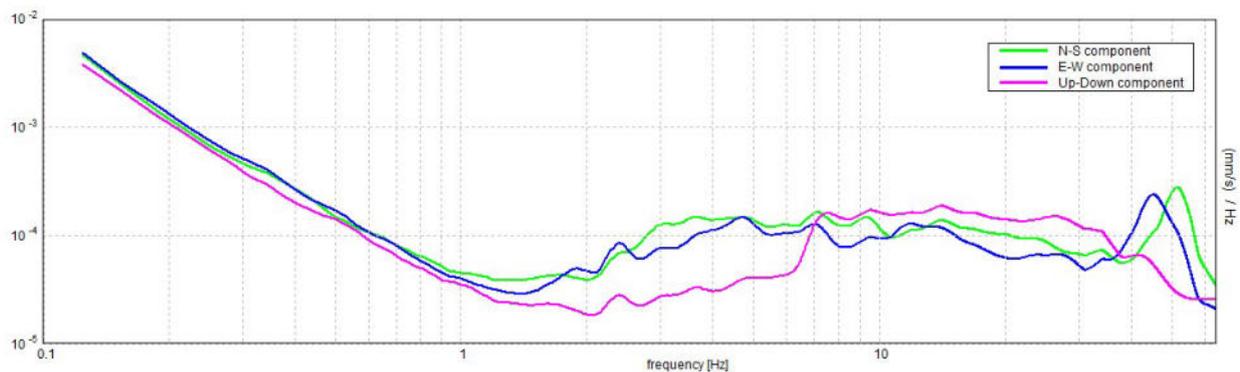
### H/V TIME HISTORY



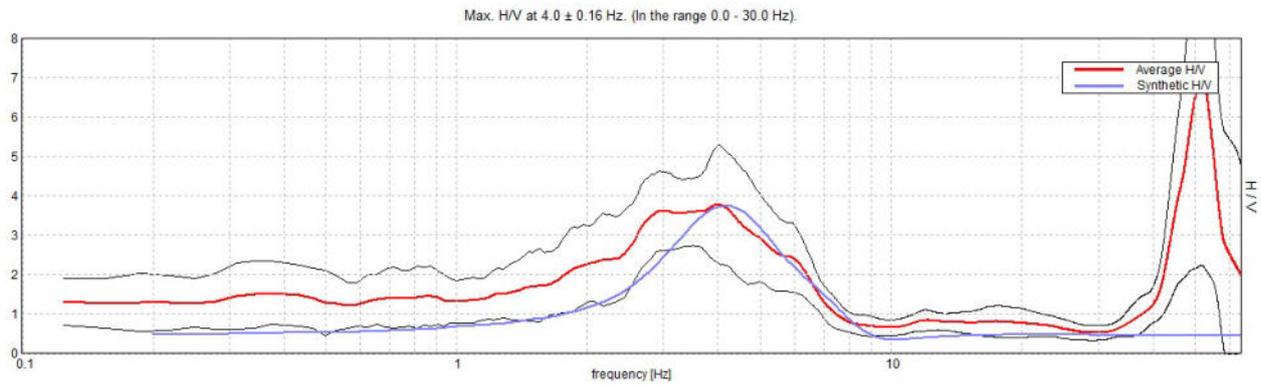
### DIRECTIONAL H/V



### SINGLE COMPONENT SPECTRA

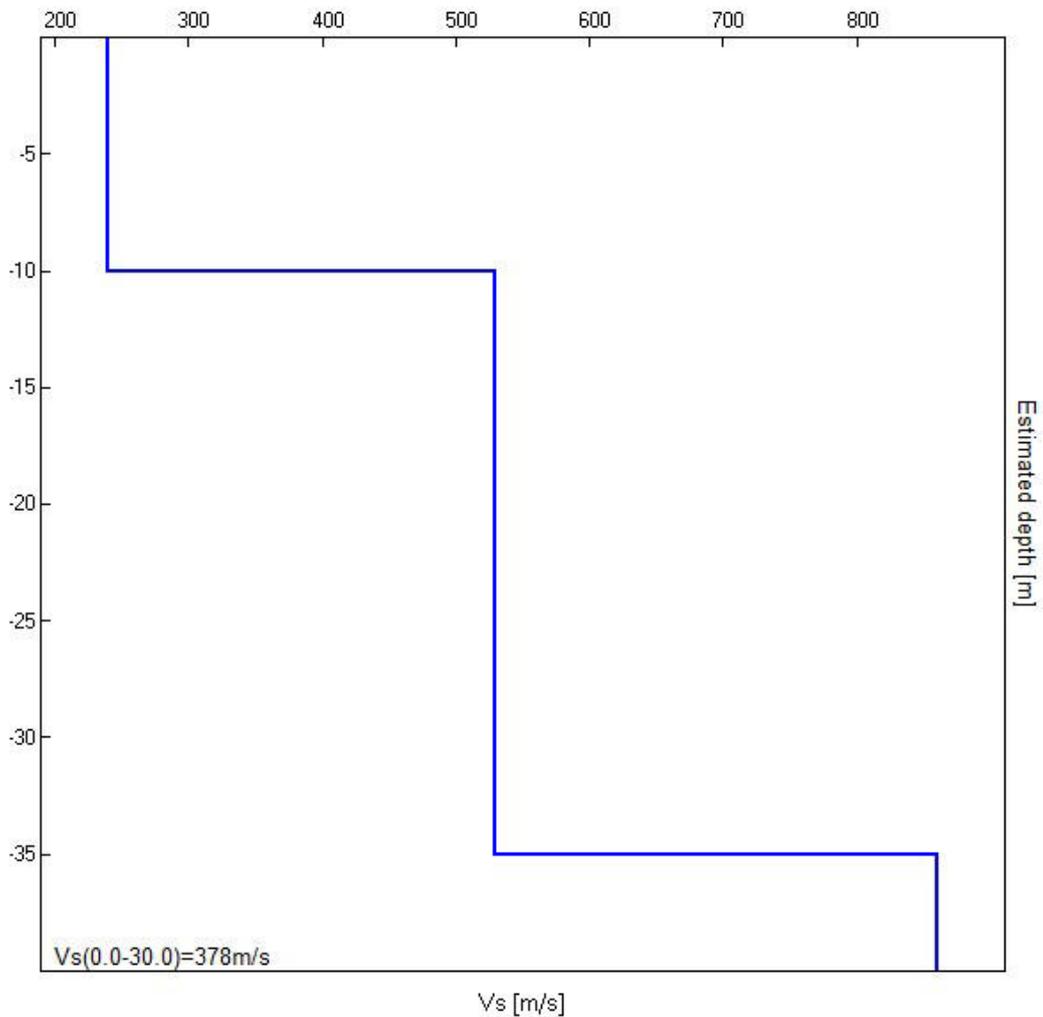


EXPERIMENTAL vs. SYNTHETIC H/V



Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
10.00	10.00	240	0.35
35.00	25.00	530	0.35
inf.	inf.	860	0.35

**VsH(10 m)=240m/s**



[According to the SESAME, 2005 guidelines. Please read carefully the *Grilla* manual before interpreting the following tables.]

**Max. H/V at  $4.0 \pm 0.16$  Hz (in the range 0.0 - 30.0 Hz).**

**Criteria for a reliable H/V curve**

[All 3 should be fulfilled]

$f_0 > 10 / L_w$	$4.00 > 0.50$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$4400.0 > 200$	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Exceeded 0 out of 193 times	OK	

**Criteria for a clear H/V peak**

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

Exists $f^-$ in $[f_0/4, f_0]$   $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	1.719 Hz	OK	
Exists $f^+$ in $[f_0, 4f_0]$   $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	6.531 Hz	OK	
$A_0 > 2$	$3.78 > 2$	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.01941  < 0.05$	OK	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.07764 < 0.2$	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.7327 < 1.58$	OK	

$L_w$	window length
$n_w$	number of windows used in the analysis
$n_c = L_w n_w f_0$	number of significant cycles
$f$	current frequency
$f_0$	H/V peak frequency
$\sigma_f$	standard deviation of H/V peak frequency
$\varepsilon(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
$A_0$	H/V peak amplitude at frequency $f_0$
$A_{H/V}(f)$	H/V curve amplitude at frequency $f$
$f^-$	frequency between $f_0/4$ and $f_0$ for which $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
$f^+$	frequency between $f_0$ and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	standard deviation of $A_{H/V}(f)$ , $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided
$\sigma_{\log H/V}(f)$	standard deviation of $\log A_{H/V}(f)$ curve
$\theta(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

**Threshold values for  $\sigma_f$  and  $\sigma_A(f_0)$**

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

## LAMA MOCOGNO, LAMA3

Instrument: TRZ-0162/01-11

Start recording: 10/07/18 09:09:01 End recording: 10/07/18 09:29:01

Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

GPS data not available

Trace length: 0h20'00". Analyzed 80% trace (manual window selection)

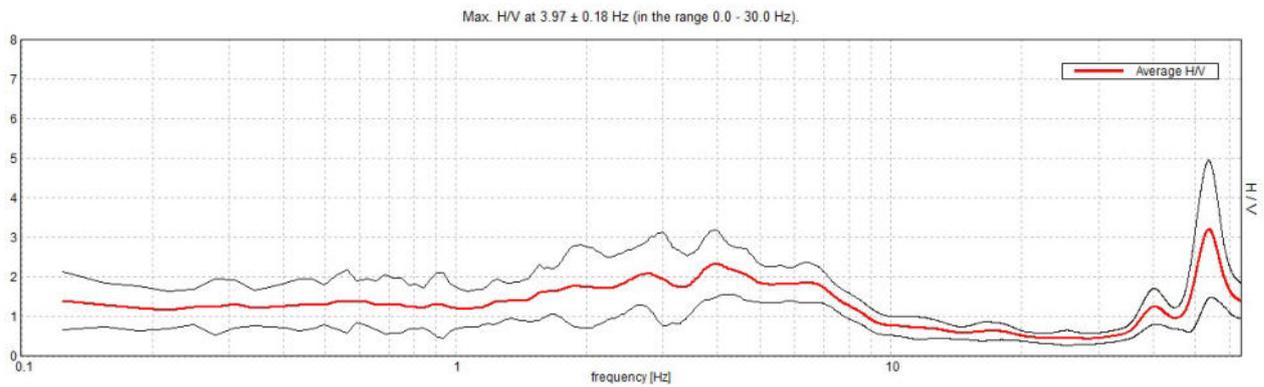
Sampling rate: 128 Hz

Window size: 20 s

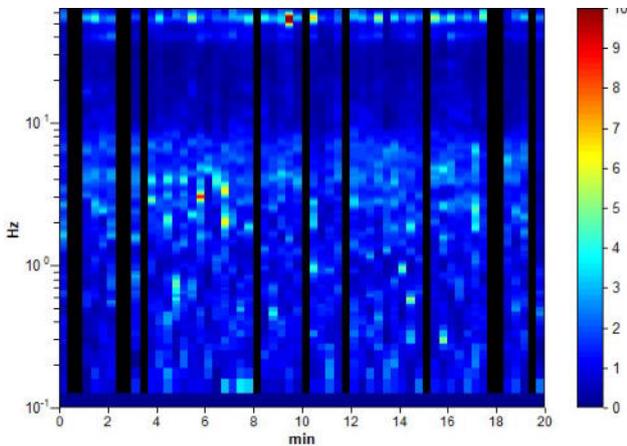
Smoothing type: Triangular window

Smoothing: 10%

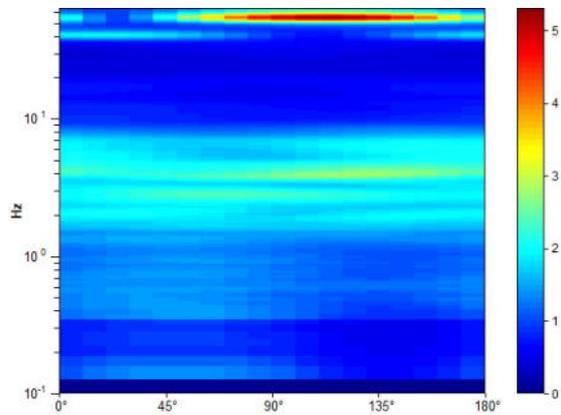
### HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO



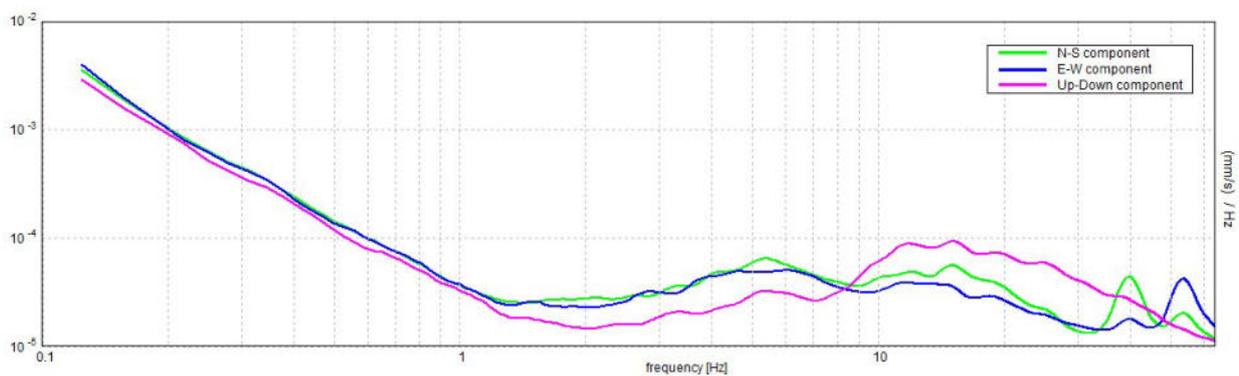
### H/V TIME HISTORY



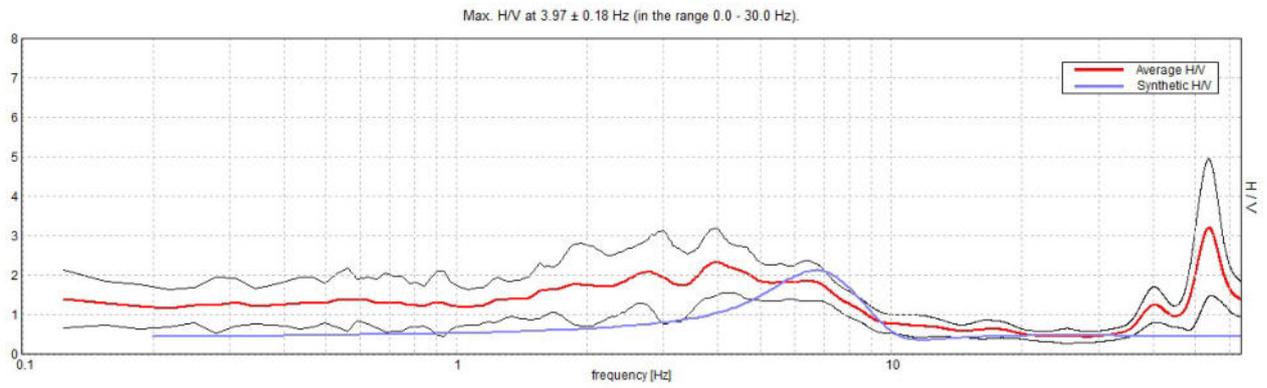
### DIRECTIONAL H/V



### SINGLE COMPONENT SPECTRA

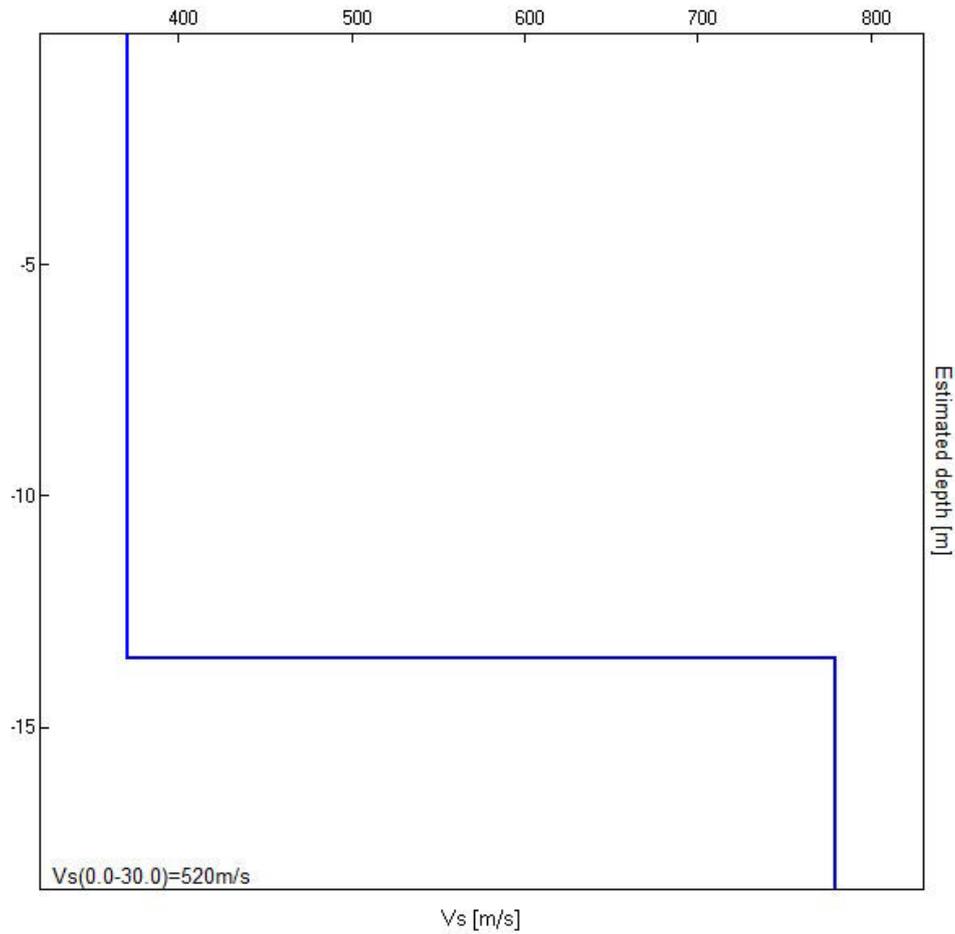


EXPERIMENTAL vs. SYNTHETIC H/V



Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
13.50	13.50	370	0.35
inf.	inf.	780	0.35

Vs(0.0-30.0)=520m/s



[According to the SESAME, 2005 guidelines. Please read carefully the *Grilla* manual before interpreting the following tables.]

**Max. H/V at  $3.97 \pm 0.18$  Hz (in the range 0.0 - 30.0 Hz).**

**Criteria for a reliable H/V curve**

[All 3 should be fulfilled]

$f_0 > 10 / L_w$	$3.97 > 0.50$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$3810.0 > 200$	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Exceeded 0 out of 192 times	OK	

**Criteria for a clear H/V peak**

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

Exists $f^-$ in $[f_0/4, f_0]$   $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$			<b>NO</b>
Exists $f^+$ in $[f_0, 4f_0]$   $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	8.375 Hz	OK	
$A_0 > 2$	$2.34 > 2$	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.02193  < 0.05$	OK	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.08704 < 0.19844$	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.4163 < 1.58$	OK	

$L_w$	window length
$n_w$	number of windows used in the analysis
$n_c = L_w n_w f_0$	number of significant cycles
$f$	current frequency
$f_0$	H/V peak frequency
$\sigma_f$	standard deviation of H/V peak frequency
$\varepsilon(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
$A_0$	H/V peak amplitude at frequency $f_0$
$A_{H/V}(f)$	H/V curve amplitude at frequency $f$
$f^-$	frequency between $f_0/4$ and $f_0$ for which $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
$f^+$	frequency between $f_0$ and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	standard deviation of $A_{H/V}(f)$ , $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided
$\sigma_{\log H/V}(f)$	standard deviation of $\log A_{H/V}(f)$ curve
$\theta(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Threshold values for  $\sigma_f$  and  $\sigma_A(f_0)$

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

## LAMA MOCOGNO, LAMA4

Instrument: TRZ-0162/01-11

Start recording: 27/05/20 12:32:00 End recording: 27/05/20 12:52:00

Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

GPS data not available

Trace length: 0h20'00". Analyzed 70% trace (manual window selection)

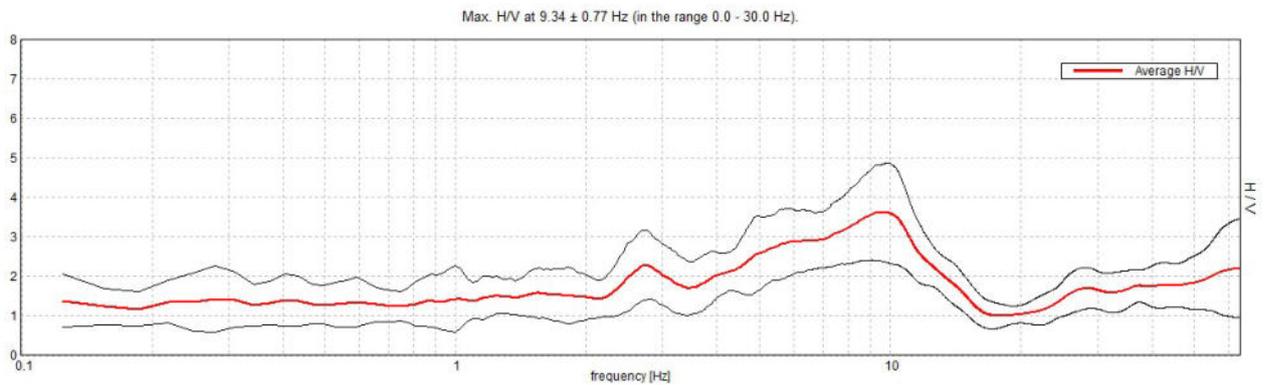
Sampling rate: 128 Hz

Window size: 20 s

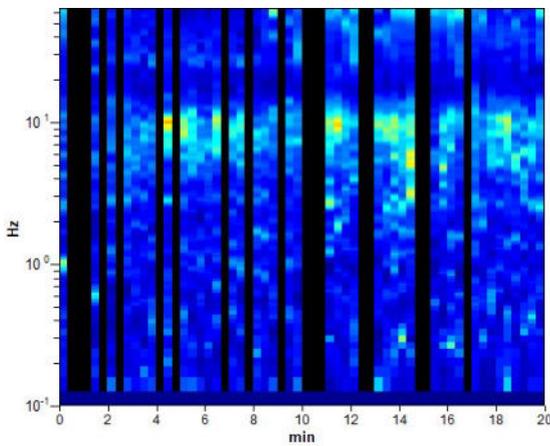
Smoothing type: Triangular window

Smoothing: 10%

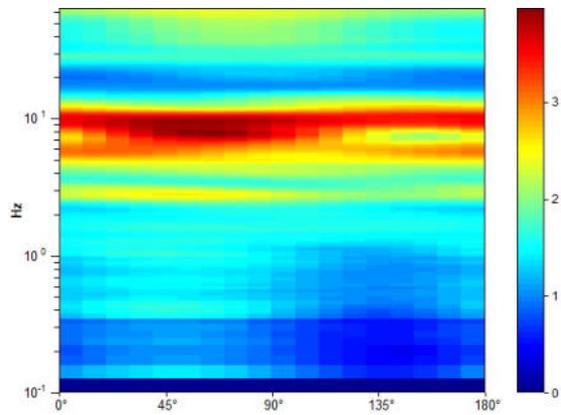
### HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO



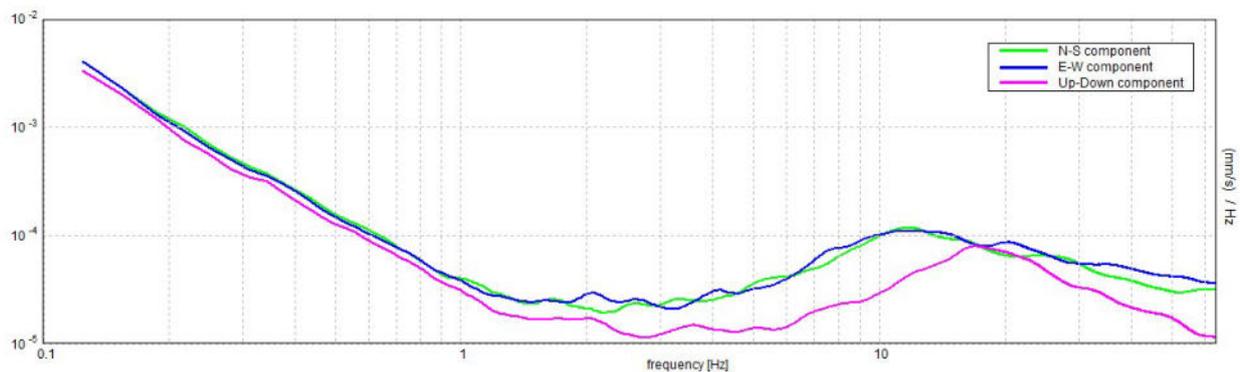
### H/V TIME HISTORY



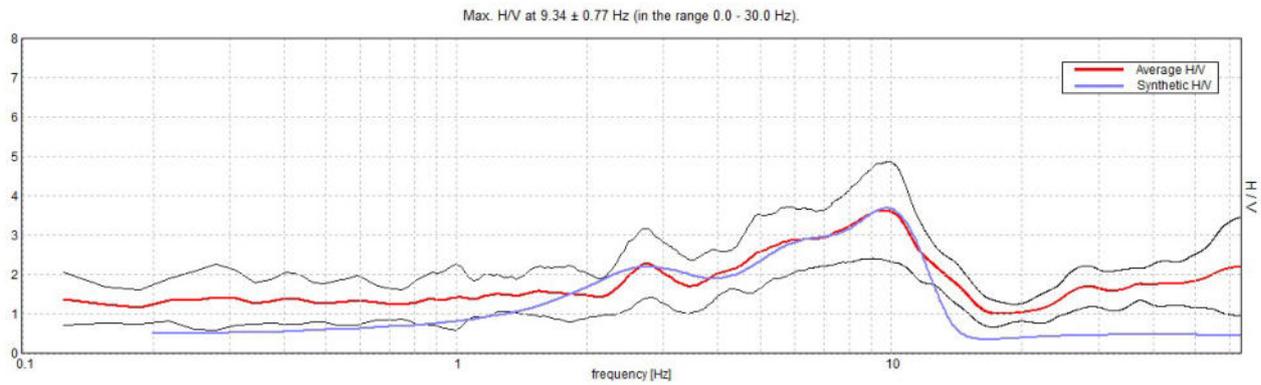
### DIRECTIONAL H/V



### SINGLE COMPONENT SPECTRA

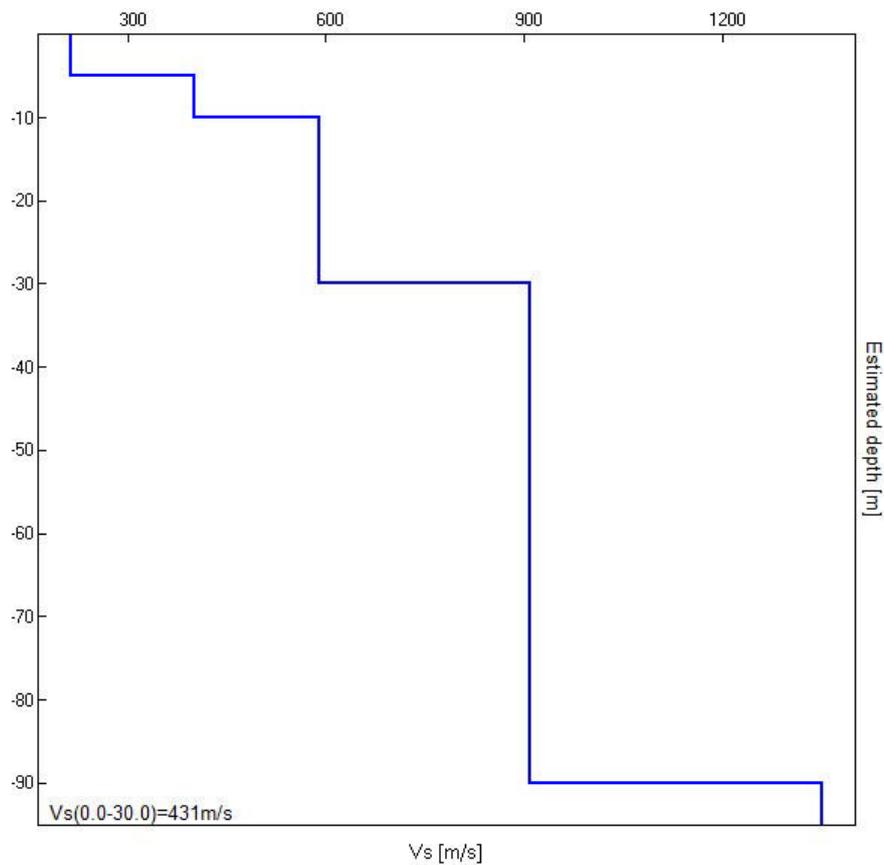


EXPERIMENTAL vs. SYNTHETIC H/V



Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
5.00	5.00	215	0.35
10.00	5.00	400	0.35
30.00	20.00	590	0.35
90.00	60.00	910	0.35
inf.	inf.	1350	0.35

**VsH(10 m)=307 m/s**



[According to the SESAME, 2005 guidelines. Please read carefully the *Grilla* manual before interpreting the following tables.]

**Max. H/V at  $9.34 \pm 0.77$  Hz (in the range 0.0 - 30.0 Hz).**

**Criteria for a reliable H/V curve**

[All 3 should be fulfilled]

$f_0 > 10 / L_w$	$9.34 > 0.50$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$7848.8 > 200$	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Exceeded 0 out of 450 times	OK	

**Criteria for a clear H/V peak**

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

Exists $f^-$ in $[f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	3.656 Hz	OK	
Exists $f^+$ in $[f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	14.031 Hz	OK	
$A_0 > 2$	$3.61 > 2$	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.0404  < 0.05$	OK	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.3775 < 0.46719$	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.5898 < 1.58$	OK	

$L_w$	window length
$n_w$	number of windows used in the analysis
$n_c = L_w n_w f_0$	number of significant cycles
$f$	current frequency
$f_0$	H/V peak frequency
$\sigma_f$	standard deviation of H/V peak frequency
$\varepsilon(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
$A_0$	H/V peak amplitude at frequency $f_0$
$A_{H/V}(f)$	H/V curve amplitude at frequency $f$
$f^-$	frequency between $f_0/4$ and $f_0$ for which $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
$f^+$	frequency between $f_0$ and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	standard deviation of $A_{H/V}(f)$ , $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided
$\sigma_{\log H/V}(f)$	standard deviation of $\log A_{H/V}(f)$ curve
$\theta(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Threshold values for  $\sigma_f$  and  $\sigma_A(f_0)$

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

## INDAGINE SISMICA - HVSR

### Via Monte Sabotino - Istituto Comprensivo "Giuseppe Dossetti" – Lama Mocogno

Instrument: TRZ-0162/01-11

Start recording: 06/07/18 06:53:29      End recording: 06/07/18 07:13:29

Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

GPS data not available

Trace length: 0h20'00".      Analyzed 92% trace (manual window selection)

Sampling rate: 128 Hz

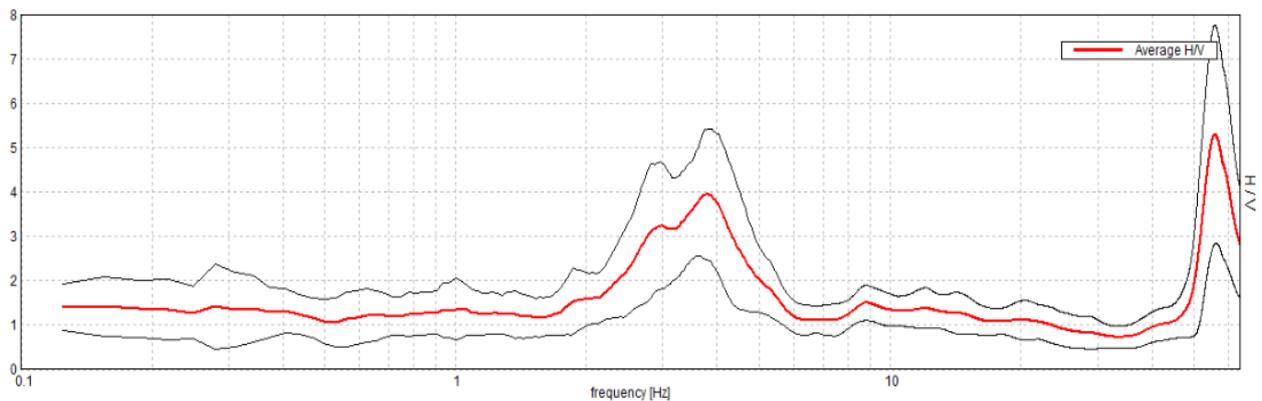
Window size: 20 s

Smoothing type: Triangular window

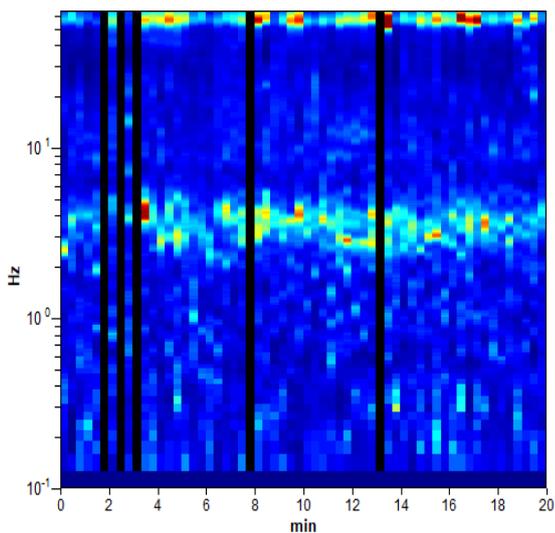
Smoothing: 10%

### HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

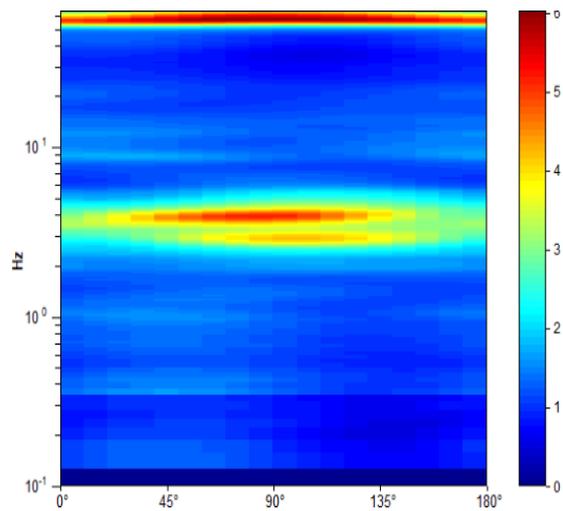
Max. H/V at  $3.75 \pm 0.08$  Hz (in the range 0.0 - 30.0 Hz).



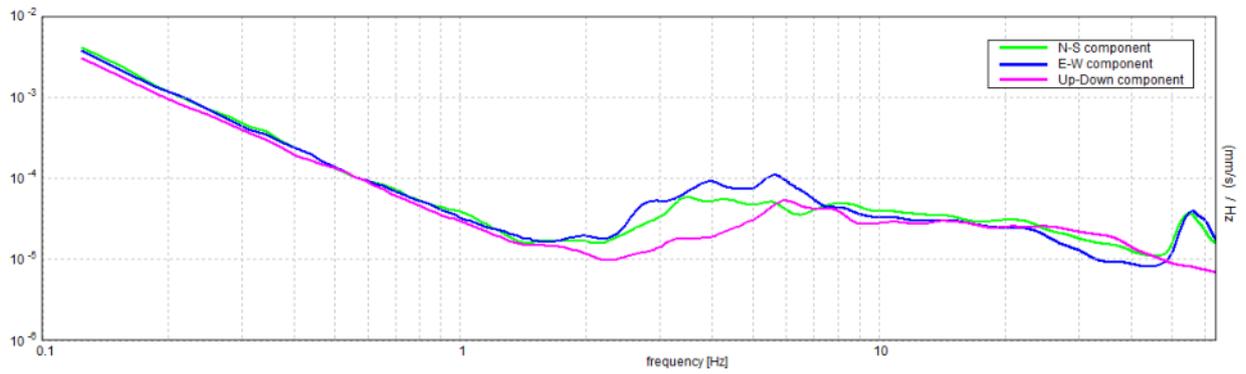
### H/V TIME HISTORY



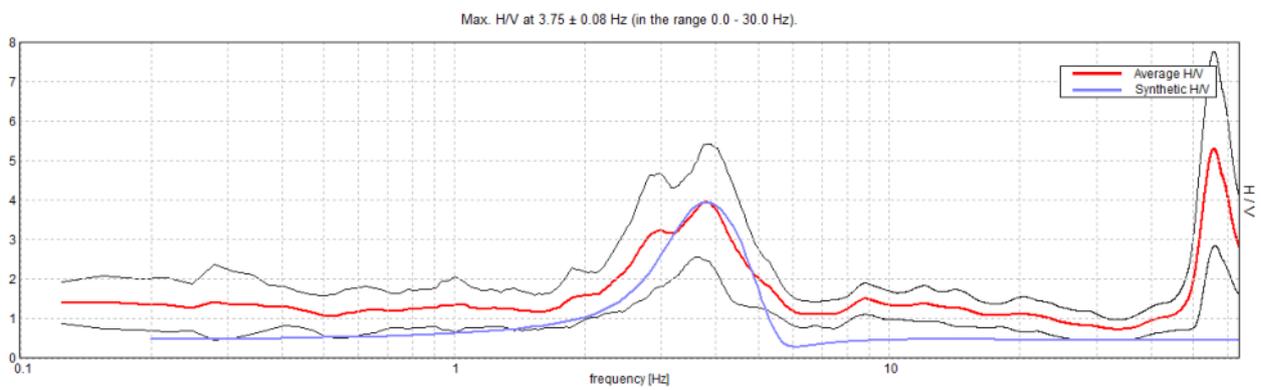
### DIRECTIONAL H/V



SINGLE COMPONENT SPECTRA



EXPERIMENTAL vs. SYNTHETIC H/V



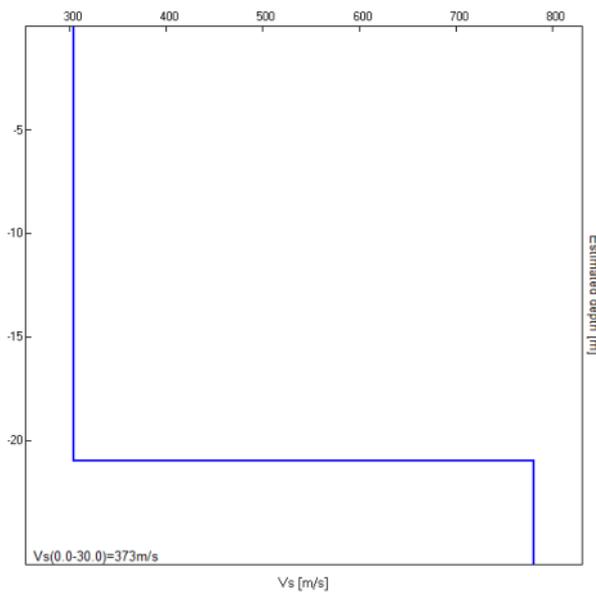
**Depth at the bottom of the layer [m]**  
21.00  
inf.

**Thickness [m]**  
21.00  
inf.

**Vs [m/s]**  
305  
780

**Poisson ratio**  
0.35  
0.35

Vs(0.0-30.0)=373m/s



[According to the SESAME, 2005 guidelines. Please read carefully the *Grilla* manual before interpreting the following tables.]

**Max. H/V at 3.75 ± 0.08 Hz (in the range 0.0 - 30.0 Hz).**

**Criteria for a reliable H/V curve**

[All 3 should be fulfilled]

$f_0 > 10 / L_w$	3.75 > 0.50	OK	
$n_c(f_0) > 200$	4125.0 > 200	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Exceeded 0 out of 181 times	OK	

**Criteria for a clear H/V peak**

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

Exists $f^-$ in $[f_0/4, f_0]$   $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	2.313 Hz	OK	
Exists $f^+$ in $[f_0, 4f_0]$   $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	5.094 Hz	OK	
$A_0 > 2$	3.94 > 2	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.00989  < 0.05$	OK	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	0.03708 < 0.1875	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	0.7247 < 1.58	OK	

$L_w$	window length
$n_w$	number of windows used in the analysis
$n_c = L_w n_w f_0$	number of significant cycles
$f$	current frequency
$f_0$	H/V peak frequency
$\sigma_f$	standard deviation of H/V peak frequency
$\varepsilon(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
$A_0$	H/V peak amplitude at frequency $f_0$
$A_{H/V}(f)$	H/V curve amplitude at frequency $f$
$f^-$	frequency between $f_0/4$ and $f_0$ for which $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
$f^+$	frequency between $f_0$ and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	standard deviation of $A_{H/V}(f)$ , $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided
$\sigma_{\log H/V}(f)$	standard deviation of $\log A_{H/V}(f)$ curve
$\theta(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Threshold values for  $\sigma_f$  and  $\sigma_A(f_0)$

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

**ALLEGATO - 3 -**

**SONDAGGI A CAROTAGGIO CONTINUO  
DI NUOVA REALIZZAZIONE**



via A. Ascari 6 - 44019 Gualdo di Voghiera (FE)  
tel. 0532 773136-815683 Fax 0532 776455

E mail [info@songeo.it](mailto:info@songeo.it) - [www.songeo.it](http://www.songeo.it)

Decreto di concessione n° 56718 del 17.09.2007, per il rilascio dei certificati relativi alle prove geotecniche in sito (settore c), ai sensi del D.P.R. 06.06.2001 n° 380 e della Circolare n° 349/STC del 16.12.1999

## CERTIFICATO DI PROVA

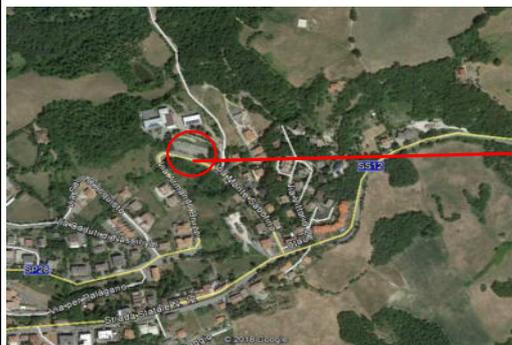
CERTIFICATO N°	105	data	23/07/18	N° Commessa	62/18	data	03/07/18
----------------	-----	------	----------	-------------	-------	------	----------

<b>COMMITTENTE:</b>	Dott. Geol. Marco Santi Bortolotti
<b>LOCALITA':</b>	Lama Mocogno (MO)
<b>CANTIERE:</b>	via Monte Sabotino
<b>Sondaggio N°:</b>	S1
<b>Specifiche di prova:</b>	ASTM D 2488-90; AGI 1977
<b>Attrezzatura:</b>	Hydra Joy 4
<b>Metodo perforazione:</b>	Carotaggio Continuo; PRO E01; PRO E02; PRO E03; PRO E06; PRO E08; PRO E12
<b>Attrezzi:</b>	Carotiere semplice Ø 101 mm; carot. doppio; rivestimenti Ø 127 mm

<b>QUOTA INIZIO</b>	p.c.
<b>PROFONDITA' DEL SONDAGGIO</b>	19,00 m
<b>PROFONDITA' DELLA FALDA</b>	Non rilevata

### ANNOTAZIONI:

### COROGRAFIA E PLANIMETRIA:



IL PRESENTE CERTIFICATO SI COMPONE DI:

2 Pagine

Sperimentatore

Direttore



<b>SONGEO SRL</b> Via A. Ascarì 6 - 44019 Gualdo di Voghiera (FE) tel. 0532 773136 - 0532 815683 fax 0532 776455 E mail info@songeo.it Sito www.songeo.it Laboratorio autorizzato con decreto N° 56718 del 17/09/07 per indagini geognostiche, prelievo di campioni e prove in sito ai sensi dell'art. 59 del DPR 380/2001 e Circ. Min. 7619/STC	<b>DATA ESECUZIONE</b> DAL 03/07/18 AL 04/07/18	<b>METODO PERFOR.</b> Carotaggio continuo	<b>SONDAGGIO</b> N. 1	pag. 2 di 2
	<b>QUOTA</b> p.c.	<b>ATTREZZI:</b> Carotiere semplice e doppio diam. 101 mm. Rivestimento diam. 127 mm	<b>SONDA IDRAULICA</b> Hydra Joy 4	
<b>COMMITTENTE</b> Dott. Geol. Marco Santi Bortolotti		<b>INCLINOMETRO</b> Tubo inclinometro in alluminio a 4 guide		
<b>LOCALITA'</b> Lama Mocogno, via Monte Sabotino (MO)		<b>LIVELLO ACQUA</b> DATA MT. dal P.C.	<b>PROF. FORO</b> 19,00 m	<b>PROF. RIVEST.</b> 18,00 m
<b>NOTE</b> Da 10 m a 13 m si è utilizzata corona diamantata per carotiere diam 101 mm	<b>CAMPIONI</b> ● SPT ○ CAMPIONI RIMANEGGIATI ■ CAMPIONI INDISTURBATI		<b>ASSISTENTI</b> A. Fini	<b>OPERATORI</b> G. Rossi

mt.	QUOTA da P.C.	SIMBOLOGIA	CAMPIONI			DESCRIZIONE STRATIGRAFICA	POCKET kg/cm <sup>2</sup>	TORVANE kg/cm <sup>2</sup>	INCLINOMETRO
			TIPO	NUM.	PROF.				
1	0,05 0,40					Asfalto Materiale di riporto costituito da misto stabilizzato			Riempimento con malta cementizia Inclinometro
2						Terreni di copertura derivanti dall'alterazione delle litologie di substrato composti da: argille e limi a tratti debolmente sabbiosi, da compatti a molto compatti ( consistenti tra 4.4 - 5.8) di colore da grigio/nocciola fino a 6.1 m, a grigio verdognolo con inclusi clasti litoidi angolari eterometrici di natura arenacea			
3									
4									
5									
6									
7	7,50								
8						Sfasciame di arenarie alterate fortemente fratturate giallastre nocciola chiaro, breccette di arenaria giallastra sfatta, immerse in una matrice siltoso sabbiosa			
9	9,10								
10						Substrato. Livello di arenarie calcareo marnose grigio chiare a tratti biancastre			
11									
12	12,40								
13						Substrato eterogeneo di natura flyscioide. Alternanze di argilliti e peliti marnose di colore variegato da nocciola grigio-verdognolo scheggiose/scagliettate più o meno alterate e livelli litoidi fratturati di calcari marnosi grigio-grigio chiari fratturati (13,1-13,4; 17-17,2; 17,5-17,6; 18,2-18,4; 18,5-18,6 m)			
14									
15									
16									
17									
18									
19	19,00								
20									

<b>Certificato n°</b>	105	<b>data</b>	23/07/18	<b>N° Commessa</b>	62/18	<b>data</b>	03/07/18	
<b>Procedure di riferimento</b>	ASTM D 2488-90; AGI 1977							
<b>responsabili</b>	Dr. Andrea Finetti		<b>revisione</b>	0	<b>inizio lavori</b>	3 luglio 2018	<b>fine lavori</b>	13 luglio 2018
<b>elaborazione</b>	Dr. Renato Sacchetti		<b>responsabile cantiere</b>		Geom. Giulio Rossi			
<b>verifica</b>			<b>direzione lavori</b>		Dott. Geol. Marco Santi Bortolotti			
<b>SPERIMENTATORE</b>				<b>DIRETTORE</b>				

# SONGEO SRL

via A. Ascari 6 - 44019 Gualdo di Voghiera (FE)  
tel. 0532 773136-815683 Fax 0532 776455

E mail [info@songeo.it](mailto:info@songeo.it) - [www.songeo.it](http://www.songeo.it)

Decreto di concessione n° 56718 del 17.09.2007, per il rilascio dei certificati relativi alle prove geotecniche in sito (settore c), ai sensi del D.P.R. 06.06.2001 n° 380 e della Circolare n° 349/STC del 16.12.1999

## CERTIFICATO DI PROVA

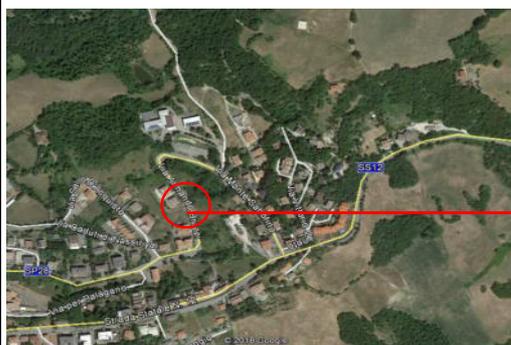
CERTIFICATO N°	107	data	23/07/18	N° Commessa	62/18	data	03/07/18
----------------	-----	------	----------	-------------	-------	------	----------

<b>COMMITTENTE:</b>	Dott. Geol. Marco Santi Bortolotti
<b>LOCALITA':</b>	Lama Mocogno (MO)
<b>CANTIERE:</b>	via Armando Bruzzi
<b>Sondaggio N°:</b>	S3
<b>Specifiche di prova:</b>	ASTM D 2488-90; AGI 1977
<b>Attrezzatura:</b>	Hydra Joy 4
<b>Metodo perforazione:</b>	Carotaggio Continuo; PRO E01; PRO E02; PRO E03; PRO E06; PRO E08; PRO E12
<b>Attrezzi:</b>	Carotiere semplice Ø 101 mm; carot. doppio; rivestimenti Ø 127 mm

<b>QUOTA INIZIO</b>	p.c.
<b>PROFONDITA' DEL SONDAGGIO</b>	20,50 m
<b>PROFONDITA' DELLA FALDA</b>	Non rilevata

### ANNOTAZIONI:

### COROGRAFIA E PLANIMETRIA:



IL PRESENTE CERTIFICATO SI COMPONE DI:

2 Pagine

Sperimentatore

Direttore



<b>SONGEO SRL</b> Via A. Ascarì 6 - 44019 Gualdo di Voghiera (FE) tel. 0532 773136 - 0532 815683 fax 0532 776455 E mail info@songeo.it Sito www.songeo.it Laboratorio autorizzato con decreto N° 56718 del 17/09/07 per indagini geognostiche, prelievo di campioni e prove in sito ai sensi dell'art. 59 del DPR 380/2001 e Circ. Min. 7619/STC	<b>DATA ESECUZIONE</b> DAL 06/07/18 AL 13/07/18	<b>METODO PERFOR.</b> Carotaggio continuo	<b>SONDAGGIO</b> N. 3	pag. 2 di 2
	<b>QUOTA</b> p.c.	<b>ATTREZZI:</b> Carotiere semplice e Doppio diam. 101 mm. Rivestimento diam. 127 mm	<b>SONDA IDRAULICA</b> Hydra Joy 4	
<b>COMMITTENTE</b> Dott. Geol. Marco Santi Bortolotti		<b>INCLINOMETRO</b> Tubo inclinometro in alluminio a 4 guide		
<b>LOCALITA'</b> Lama Mocogno, via Armando Bruzzi (MO)				
<b>NOTE</b> Eseguiti ultimi 9m con corona diamantata per carotiere diam 101 mm	<b>CAMPIONI</b> ● SPT ○ CAMPIONI RIMANEGGIATI ■ CAMPIONI INDISTURBATI		<b>LIVELLO ACQUA</b> DATA MT. dal P.C.	<b>PROF. FORO</b> 20,50 m
		<b>PROF. RIVEST.</b> 18,00 m	<b>ASSISTENTI</b> A. Fini; M. Rolfini <b>OPERATORI</b> G. Rossi	

mt.	QUOTA da P.C.	SIMBOLOGIA	CAMPIONI			DESCRIZIONE STRATIGRAFICA	POCKET kg/cm <sup>2</sup>	TORVANE kg/cm <sup>2</sup>	INCLINOMETRO
			TIPO	NUM.	PROF.				
1	0,10 0,60					Asfalto Misto stabilizzato			Riempimento con malta cementizia Inclinometro
2						Argille limose, limi argillosi, colore prevalente nocciola chiaro passante a marrone e bruno verdognolo tra 4-5 m da molto compatti a consistenti. PP: > 6 fino a 2.5 m 2.6 - 4 m: 3.8-4.5-4.5-3.9-4.2-3.2 (3.9 m) >6 tra 4-5 m			
3									
4									
5	5,00								
6						Alternanze di calcari, calcari marnosi di colore grigio chiaro alterati e fratturati e argilliti marnose da marroni a grigio verdognole			
7									
8									
9									
10	10,50								
11						Substrato eterogeneo di natura flyscioide. Alternanze di calcari marnosi talora arenacei fratturati di colore grigio e marne argillitiche scheggie/scagliettate grigio scure consistenti. All'interno dei calcari arenacei sono presenti a luoghi vene di calcite risedimentata. Si tratta di calcari molto fratturati talora brecciati: sono evidenti e molto frequenti fratture anche subverticali marcate da patine argillose di colore grigio			
12									
13									
14									
15									
16									
17									
18									
19									
20	20,50								

<b>Certificato n°</b>	107	<b>data</b>	23/07/18	<b>N° Commessa</b>	62/18	<b>data</b>	03/07/18
<b>Procedure di riferimento</b>	ASTM D 2488-90; AGI 1977						
<b>elaborazione</b>	Dr. Andrea Finetti	<b>revisione</b>	0	<b>inizio lavori</b>	3 luglio 2018	<b>fine lavori</b>	13 luglio 2018
<b>verifica</b>	Dr. Renato Sacchetti			<b>responsabile cantiere</b>	Geom. Giulio Rossi		
				<b>direzione lavori</b>	Dott. Geol. Marco Santi Bortolotti		
<b>SPERIMENTATORE</b>				<b>DIRETTORE</b>			



via A. Ascari 6 - 44019 Gualdo di Voghiera (FE)  
tel. 0532 773136-815683 Fax 0532 776455

E mail [info@songeo.it](mailto:info@songeo.it) - [www.songeo.it](http://www.songeo.it)

Decreto di concessione n° 56718 del 17.09.2007, per il rilascio dei certificati relativi alle prove geotecniche in sito (settore c), ai sensi del D.P.R. 06.06.2001 n° 380 e della Circolare n° 349/STC del 16.12.1999

## CERTIFICATO DI PROVA

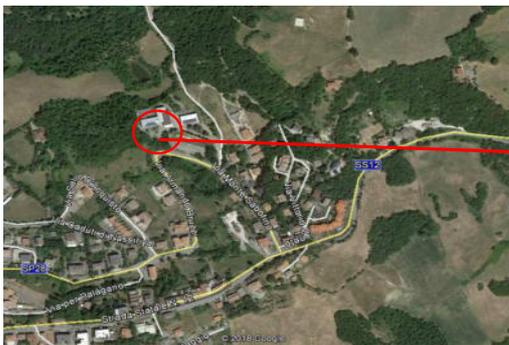
CERTIFICATO N°	106	data	23/07/18	N° Commessa	62/18	data	03/07/18
----------------	-----	------	----------	-------------	-------	------	----------

<b>COMMITTENTE:</b>	Dott. Geol. Marco Santi Bortolotti
<b>LOCALITA':</b>	Lama Mocogno (MO)
<b>CANTIERE:</b>	via Monte Sabotino
<b>Sondaggio N°:</b>	S2
<b>Specifiche di prova:</b>	ASTM D 2488-90; AGI 1977
<b>Attrezzatura:</b>	Hydra Joy 4
<b>Metodo perforazione:</b>	Carotaggio Continuo; PRO E01; PRO E02; PRO E03; PRO E06; PRO E08; PRO E12
<b>Attrezzi:</b>	Carotiere semplice Ø 101 mm; carot. Doppio

<b>QUOTA INIZIO</b>	p.c.
<b>PROFONDITA' DEL SONDAGGIO</b>	19,00 m
<b>PROFONDITA' DELLA FALDA</b>	Non rilevata

### ANNOTAZIONI:

### COROGRAFIA E PLANIMETRIA:



IL PRESENTE CERTIFICATO SI COMPONE DI:

2 Pagine

Sperimentatore

Direttore



 Via A. Ascarì 6 - 44019 Gualdo di Voghiera (FE) tel. 0532 773136 - 0532 815683 fax 0532 776455 E mail info@songeo.it Sito www.songeo.it Laboratorio autorizzato con decreto N° 56718 del 17/09/07 per indagini geognostiche, prelievo di campioni e prove in sito ai sensi dell'art. 59 del DPR 380/2001 e Circ. Min. 7619/STC	<b>DATA ESECUZIONE</b> DAL 05/07/18 AL 05/07/18	<b>METODO PERFOR.</b> Carotaggio continuo	<b>SONDAGGIO</b> N. 2	pag. 2 di 2
	<b>QUOTA</b> p.c.	<b>ATTREZZI:</b> Carotiere semplice diam. 101 mm. Carotiere doppio	<b>SONDA IDRAULICA</b> Hydra Joy 4	
<b>COMMITTENTE</b> Dott. Geol. Marco Santi Bortolotti		<b>PIEZOMETRO</b> Assente		
<b>LOCALITA'</b> Lama Mocogno, via Monte Sabotino (MO)				
<b>NOTE</b> Da 10 m a 13 m si è utilizzata corona diamantata per carotiere diam 101 mm	<b>CAMPIONI</b> ● SPT ○ CAMPIONI RIMANEGGIATI ■ CAMPIONI INDISTURBATI		<b>LIVELLO ACQUA</b> DATA MT. dal P.C.	<b>PROF. FORO</b> 19,00 m
		<b>PROF. RIVEST.</b>	<b>ASSISTENTI</b> A. Fini <b>OPERATORI</b> G. Rossi	

mt.	QUOTA da P.C.	SIMBOLOGIA	CAMPIONI			DESCRIZIONE STRATIGRAFICA	POCKET kg/cm <sup>2</sup>	TORVANE kg/cm <sup>2</sup>	PIEZOMETRO
			TIPO	NUM.	PROF.				
1	0,10					Asfalto			
	0,40					Materiale di riporto costituito da misto stabilizzato			
2	1,10					Blocco di arenaria grigia con venature di calcite			
	3,00					Terreni di copertura derivanti dall'alterazione delle litologie di substrato composti da argille limose nocciola marroni, da compatte a molto compatte con rari inclusi litoidi			
4	4,40					Terreni di copertura come peliti siltose nocciola chiare, con inclusi clasti litoidi angolari di natura arenacea eterometrici ma per lo più delle dimensioni delle ghiaie			
	5,80					Arenarie marnoso-calcaree grigie alterate			
7	7,80					Peliti marnose variegata dal marrone al verde scuro			
	8,30					Livello calcareo-marnoso grigio chiaro			
9	10,80					Peliti siltose debolmente sabbiose marroni con rari inclusi litoidi calcareo marnosi			
	19,00					Substrato eterogeneo di natura flyscioide. Alternanze di argilliti marnose variegata da marroni a grigio verdognolo scheggiose/scagliettate consistenti più o meno alterate e livelli litoidi fratturati di calcari marnosi e arenarie calcaree (10,8-12,1;13-14,1;14,6-15;15,6-17,1)			

<b>Certificato n°</b>	106	<b>data</b>	23/07/18	<b>N° Commessa</b>	62/18	<b>data</b>	03/07/18
<b>Procedure di riferimento</b>	ASTM D 2488-90; AGI 1977						
<b>elaborazione</b>	Dr. Andrea Finetti	<b>revisione</b>	0	<b>inizio lavori</b>	3 luglio 2018	<b>fine lavori</b>	13 luglio 2018
<b>verifica</b>	Dr. Renato Sacchetti	<b>responsabile cantiere</b>		<b>direzione lavori</b>	Geom. Giulio Rossi		
<b>SPERIMENTATORE</b>				<b>DIRETTORE</b>			

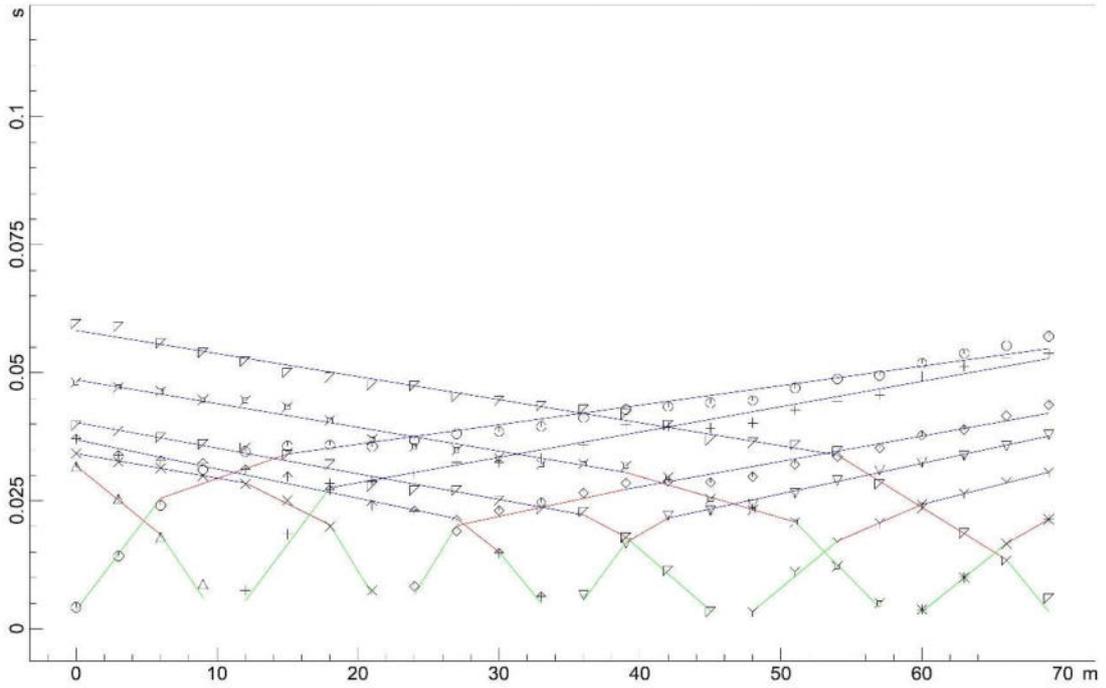
**ALLEGATO - 4 -**

**SISMICA A RIFRAZIONE  
DI NUOVA REALIZZAZIONE**

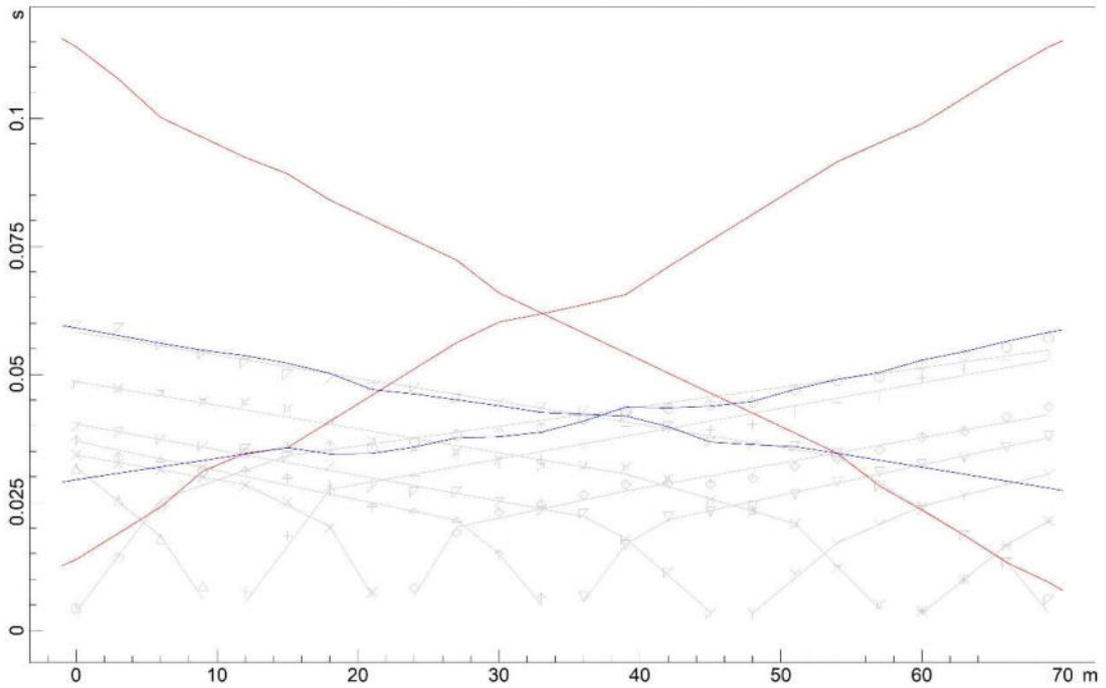
# SISMICA A RIFAZIONE – SR N° 3

## ANALISI SISMICA A RIFRAZIONE

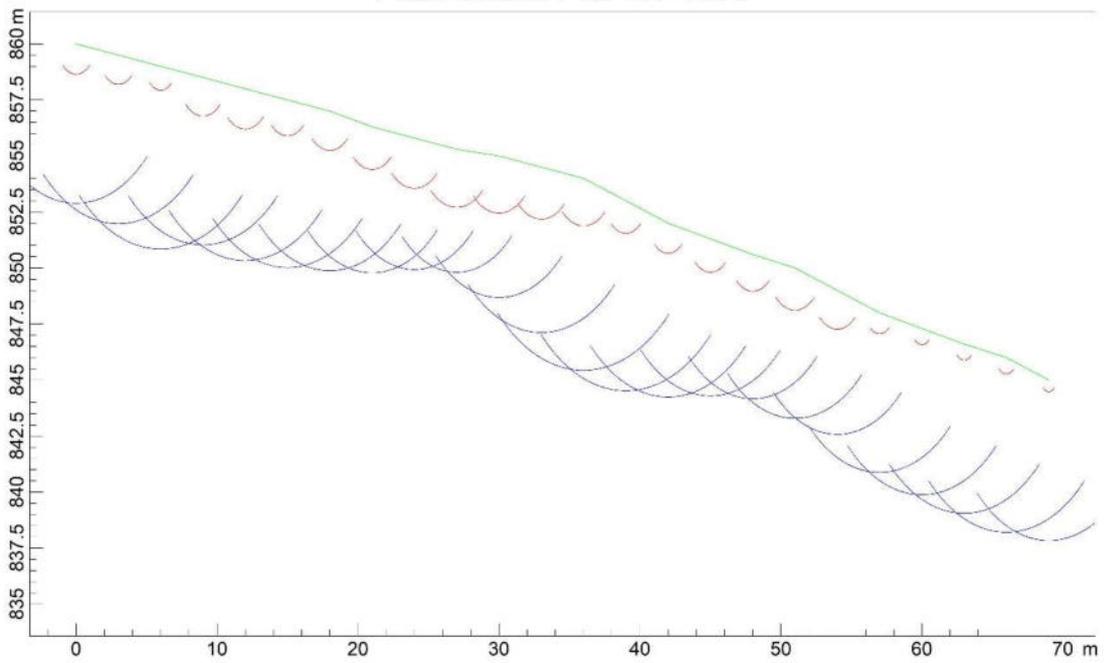
### DROMOCRONE ORIGINALI



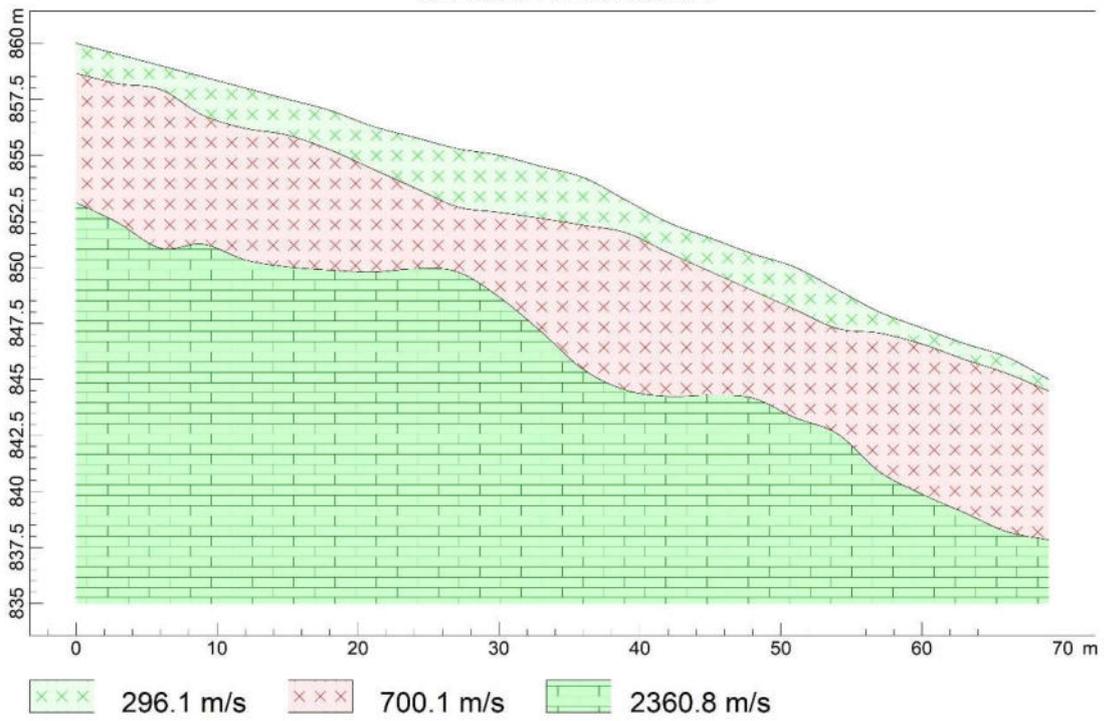
### DROMOCRONE TRASLATE



### PROFONDITA' RIFRATTORI



### SEZIONE VERTICALE



POSIZIONE DEGLI SPARI

Ascissa [m]	Quota [m]	Nome File
-1.00	860.00	lama-a-3m#1.dat
10.50	858.00	lama-4-3m#1.dat
22.50	856.00	lama-8-3m#1.dat
34.50	854.00	lama-12-3m#1.dat
46.50	851.00	lama-16-3m#1.dat
58.50	847.50	lama-20-3m#1.dat
70.00	845.00	lama-r1-3m#1.dat

POSIZIONE DEI GEOFONI E PRIMI ARRIVI

N.	Ascissa [m]	Quota [m]	FBP da -1 [ms]	FBP da 10.5 [ms]	FBP da 22.5 [ms]	FBP da 34.5 [ms]	FBP da 46.5 [ms]	FBP da 58.5 [ms]	FBP da 70 [ms]
1	0.00	860.00	4.20	31.70	34.30	37.10	39.70	48.10	59.50
2	3.00	859.50	14.20	25.40	32.60	33.90	38.60	47.20	59.00
3	6.00	859.00	24.10	17.90	31.40	32.90	37.30	46.40	55.70
4	9.00	858.50	31.10	8.70	29.90	32.30	36.00	44.70	53.90
5	12.00	858.00	34.60	7.50	28.30	31.10	35.40	44.60	52.20
6	15.00	857.50	35.70	18.50	25.10	29.70	34.00	43.30	50.00
7	18.00	857.00	35.90	28.40	20.00	27.20	32.10	40.70	49.10
8	21.00	856.30	35.60	28.90	7.50	24.10	27.80	37.00	47.50
9	24.00	855.80	36.80	30.20	8.30	23.00	27.00	35.60	47.40
10	27.00	855.30	38.10	32.50	19.10	21.20	27.00	34.90	45.30
11	30.00	855.00	38.50	32.50	23.10	14.80	25.00	33.30	44.50
12	33.00	854.50	39.50	33.30	24.70	6.30	23.30	32.10	43.50
13	36.00	854.00	41.20	35.90	26.50	6.60	22.80	32.20	42.80
14	39.00	853.00	42.80	39.90	28.50	16.70	17.80	31.80	41.90
15	42.00	852.00	43.40	39.50	28.80	22.10	11.30	29.60	39.80
16	45.00	851.30	44.10	39.20	28.60	23.10	3.30	25.30	36.80
17	48.00	850.60	44.60	40.20	29.70	24.30	3.30	23.20	36.30
18	51.00	850.00	47.00	42.70	32.10	26.50	11.10	20.80	35.90
19	54.00	849.00	48.80	44.50	33.60	29.00	16.90	12.20	34.60
20	57.00	848.00	49.50	45.60	35.30	31.00	20.60	5.00	28.20
21	60.00	847.30	51.90	49.30	37.80	32.50	24.30	3.80	23.50
22	63.00	846.60	53.80	51.20	38.90	33.80	26.40	10.00	18.60
23	66.00	846.00	55.30	52.90	41.60	35.70	28.60	16.60	13.30
24	69.00	845.00	57.10	53.80	43.70	37.90	30.50	21.40	5.90

### DISTANZA DEI RIFRATTORI DAI GEOFONI

N. Geof.	Dist. Rifr. 1 [m]	Dist. Rifr. 2 [m]
1	1.4	7.1
2	1.3	7.5
3	1.1	8.2
4	1.7	7.5
5	1.8	7.7
6	1.6	7.5
7	1.8	7.1
8	1.9	6.5
9	2.2	5.9
10	2.6	5.5
11	2.5	6.3
12	2.3	7.4
13	2.1	8.6
14	1.5	8.5
15	1.3	7.8
16	1.5	7.0
17	1.6	6.4
18	1.9	6.7
19	1.7	6.4
20	0.9	7.1
21	0.7	7.4
22	0.7	7.5
23	0.7	7.8
24	0.5	7.2

### VELOCITA' DEGLI STRATI

N. Strato	Velocità [m/s]
1	296.1
2	700.1
3	2360.8

## **ALLEGATO - 5 -**

### **MISURE INCLINOMETRICHE**

# ELABORAZIONE IN DIFFERENZIALE

Committente Comune di Lama Mocogno

Pozzo n° : **S1**

Passo (cm): 50

Cantiere : -

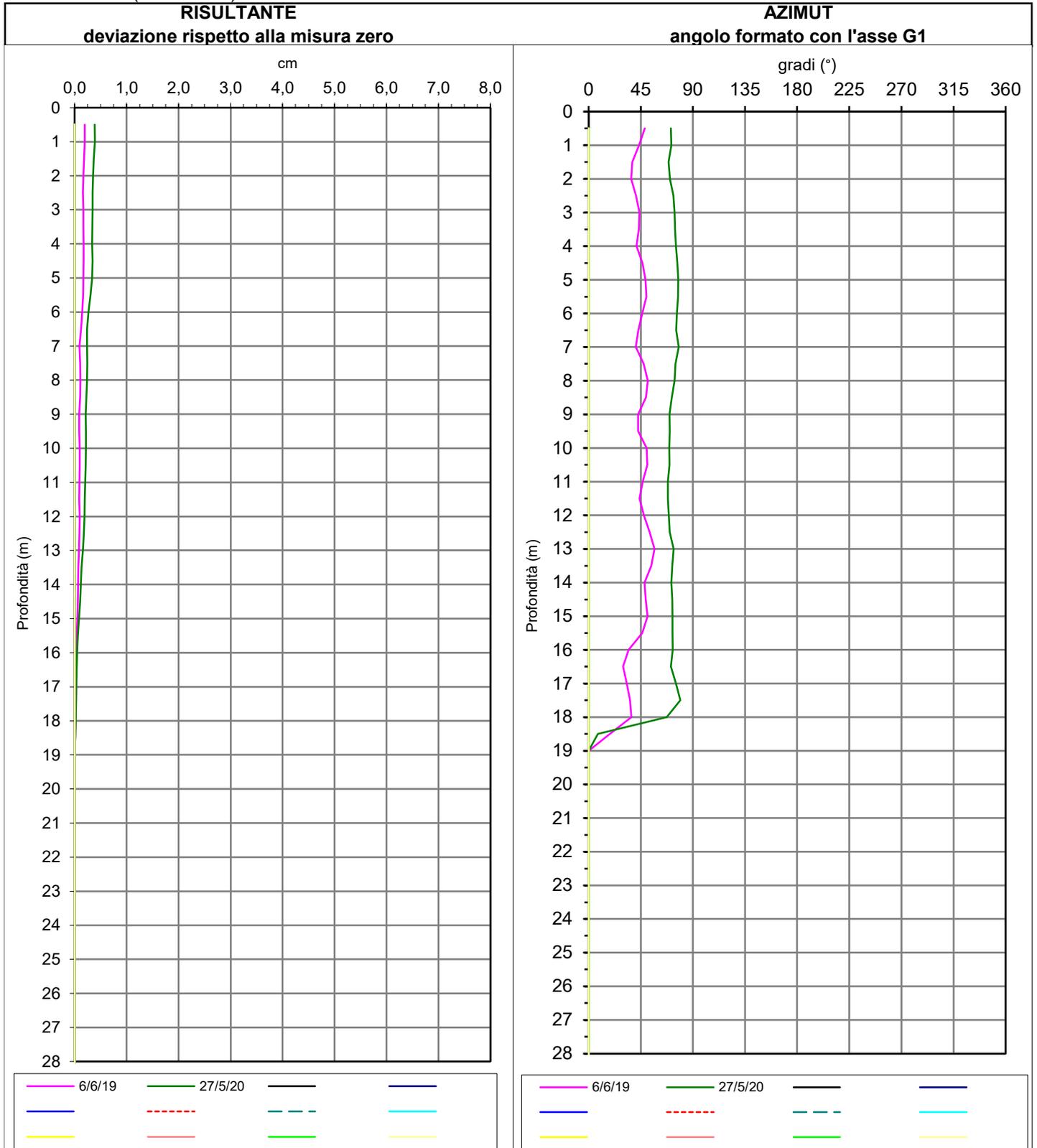
Misura n° : **3**

Costante: 20000

Data : 27/05/2020

Azimut G1 : 30

Letture 0 (08/10/2018)







# ELABORAZIONE IN DIFFERENZIALE

Committente Comune di Lama Mocogno

Pozzo n° : **S3**

Passo (cm): 50

Cantiere : -

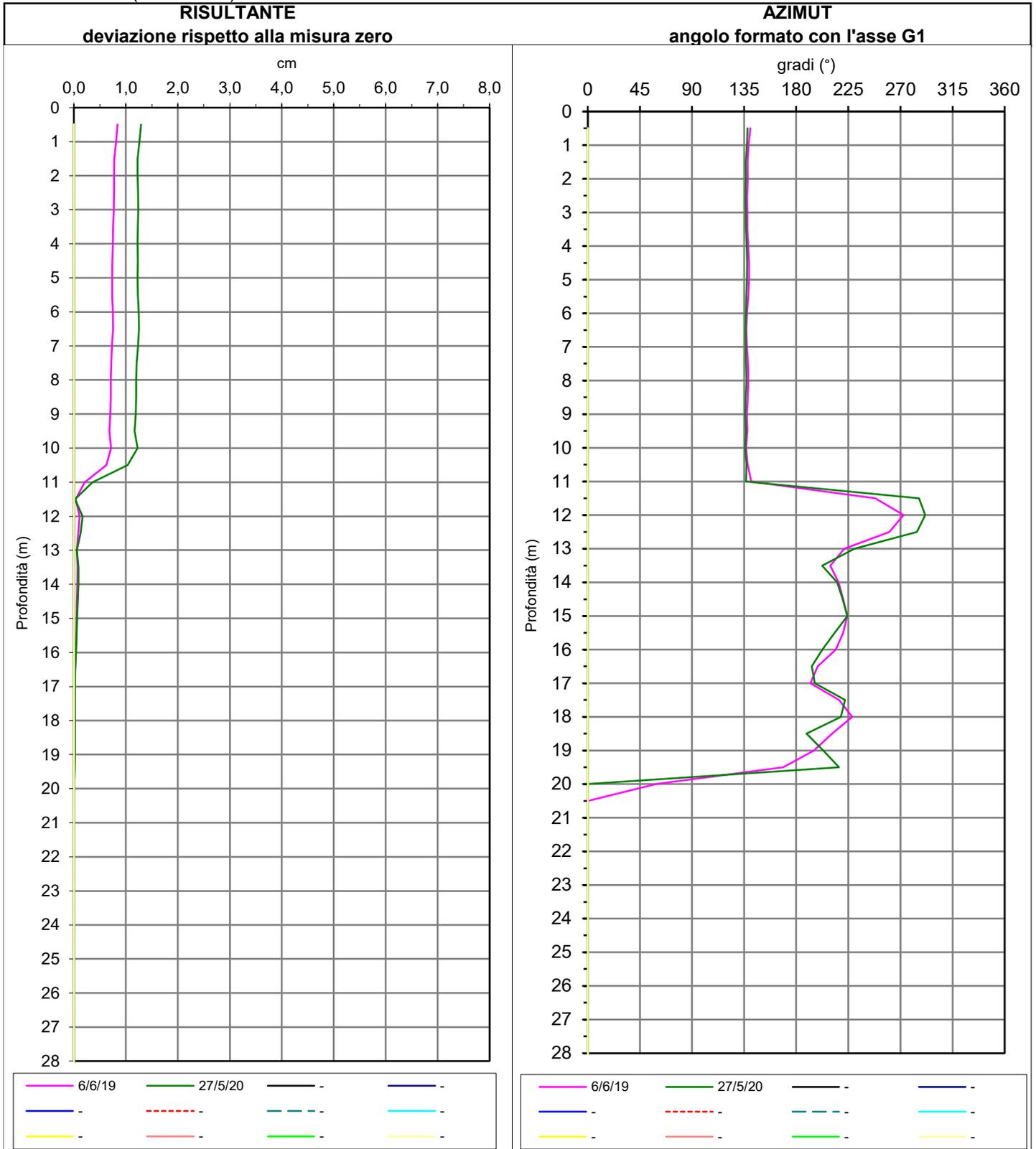
Misura n° : **3**

Costante: 20000

Data : 27/05/2020

Azimet G1 : 90

Lettura 0 (08/10/2018)







## **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.

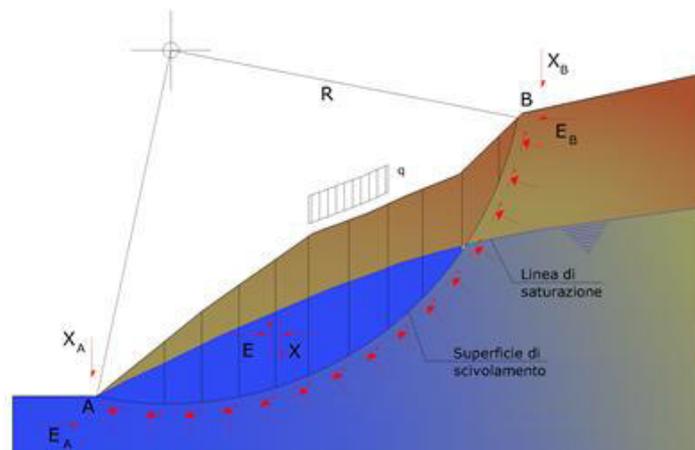
### Metodo equilibrio limite (LEM)

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  $N_j$  agenti sulla base di ciascun concio;
- n valori delle forze di taglio alla base del concio  $T_j$ ;
- (n-1) forze normali  $E_j$  agenti sull'interfaccia dei conci;
- (n-1) forze tangenziali  $X_j$  agenti sull'interfaccia dei conci;
- n valori della coordinata a che individua il punto di applicazione delle  $E_j$ ;
- (n-1) valori della coordinata che individua il punto di applicazione delle  $X_j$ ;
- 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  $N_j$  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 Fellenius (1927)

Con questo metodo (valido solo per superfici di scorrimento di forma circolare) vengono trascurate le forze di interstriscia pertanto le incognite si riducono a:

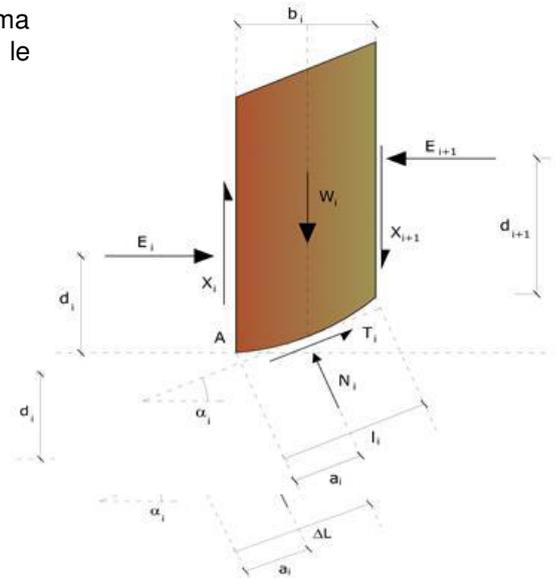
- n valori delle forze normali  $N_j$ ;
- n valori delle forze da taglio  $T_j$ ;
- 1 fattore di sicurezza.

Incognite  $(2n+1)$ .

Le equazioni a disposizione sono:

- n equazioni di equilibrio alla traslazione verticale;
- n equazioni relative al criterio di rottura;
- equazione di equilibrio dei momenti globale.

$$F = \frac{\sum \{ c_i \times l_i + (W_i \times \cos \alpha_i - u_i \times l_i) \times \tan \phi_i \}}{\sum W_i \times \sin \alpha_i}$$



Questa equazione è semplice da risolvere ma si è trovato che fornisce risultati conservativi (fattori di sicurezza bassi) soprattutto per superfici profonde.

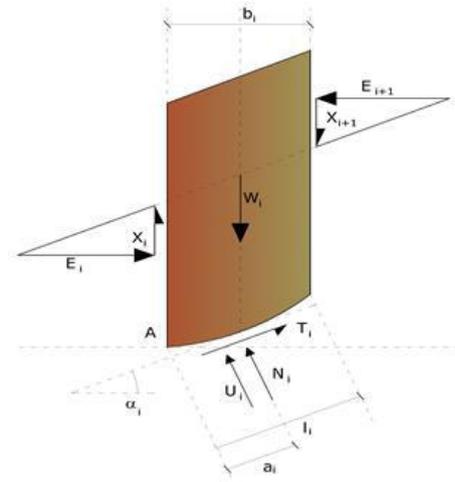
### Metodo di Bishop (1955)

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:

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

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

I valori di F e di ΔX per ogni elemento che soddisfano questa equazione danno una soluzione rigorosa al problema. Come prima approssimazione conviene porre ΔX = 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 %.

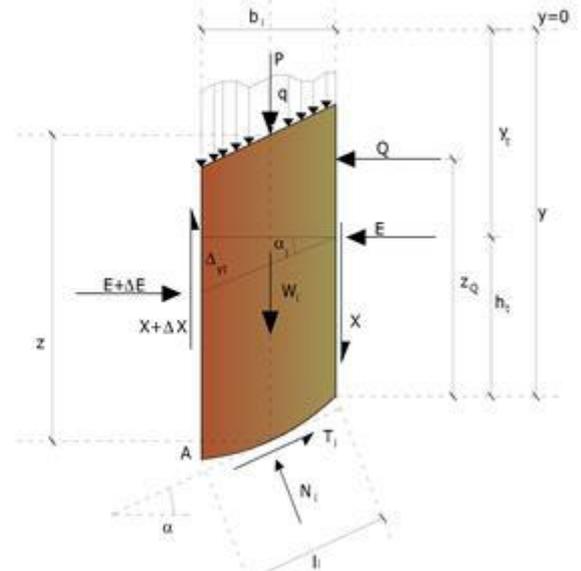
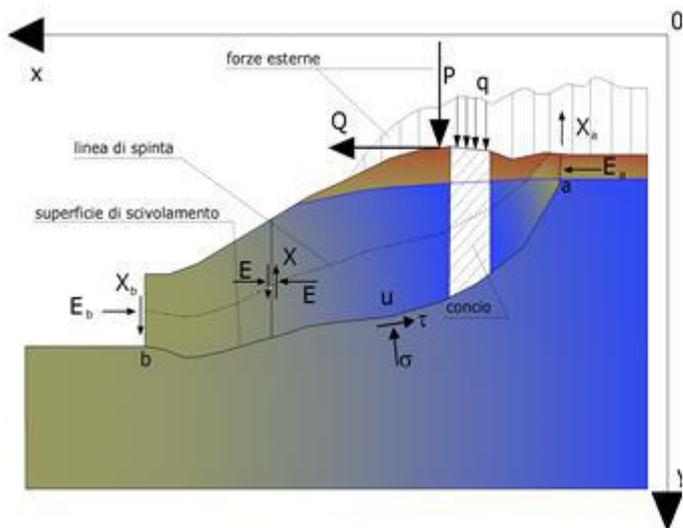


**Metodo di Janbu (1967)**

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.

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

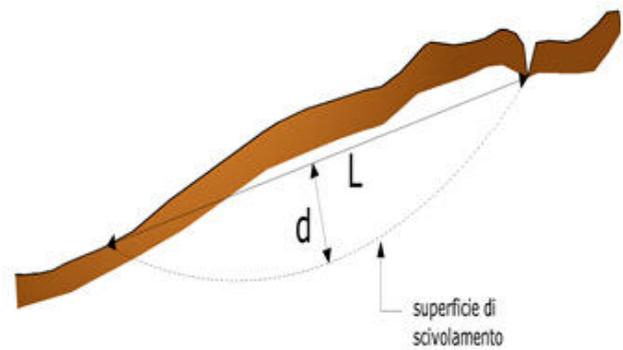
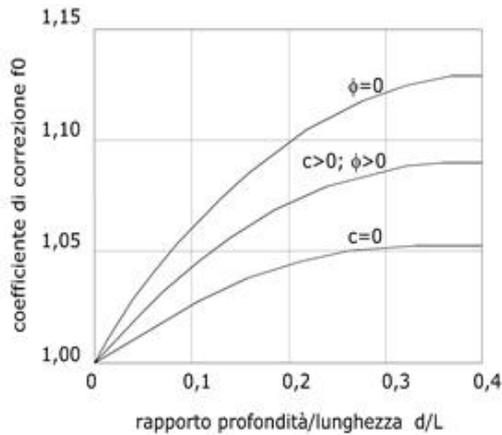


Azioni sul concio i-esimo secondo le ipotesi di Janbu e rappresentazione d'insieme dell'ammasso

Assumendo ΔX<sub>i</sub> = 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<sub>0</sub> è riportato in grafici funzione di geometria e parametri geotecnici. Tale correzione è molto attendibile per pendii poco inclinati.



**Metodo di Bell (1968)**

Le forze agenti sul corpo che scivola includono il peso effettivo del terreno, W, le forze sismiche pseudostatiche orizzontali e verticali  $K_x W$  e  $K_z W$ , le forze orizzontali e verticali X e Z applicate esternamente al profilo del pendio, infine, la risultante degli sforzi totali normali e di taglio  $\sigma$  e  $\tau$  agenti sulla superficie potenziale di scivolamento.

Lo sforzo totale normale può includere un eccesso di pressione dei pori u che deve essere specificata con l'introduzione dei parametri di forza efficace.

In pratica questo metodo può essere considerato come un'estensione del metodo del cerchio di attrito per sezioni omogenee precedentemente descritto da Taylor.

In accordo con la legge della resistenza di Mohr-Coulomb in termini di tensione efficace, la forza di taglio agente sulla base dell'i-esimo concio è data da:

$$T_i = \frac{c_i L_i + (N_i - u_{ci} L_i) \tan \Phi_i}{F}$$

in cui:

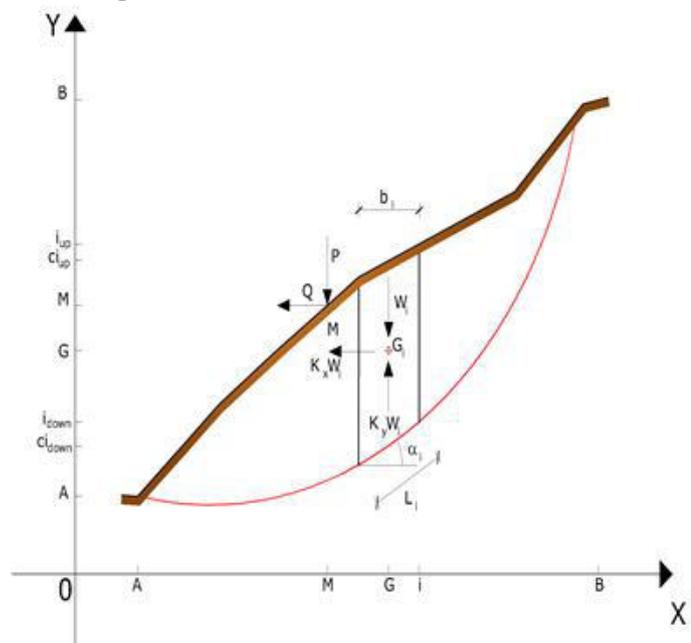
**F** = il fattore di sicurezza;

**$c_i$**  = la coesione efficace (o totale) alla base dell'i-esimo concio;

**$\phi_i$**  = l'angolo di attrito efficace (= 0 con la coesione totale) alla base dell'i-esimo concio;

**$L_i$**  = la lunghezza della base dell'i-esimo concio;

**$u_{ci}$**  = la pressione dei pori al centro della base dell'i-esimo concio.



L'equilibrio risulta uguagliando a zero la somma delle forze orizzontali, la somma delle forze verticali e la

somma dei momenti rispetto all'origine.

Viene adottata la seguente assunzione sulla variazione della tensione normale agente sulla potenziale superficie di scorrimento:

$$\sigma_{ci} = \left[ C_1(1 - K_z) \frac{W_i \cos \alpha_i}{L_i} \right] + C_2 f(x_{ci}, y_{ci}, z_{ci})$$

in cui il primo termine dell'equazione include l'espressione:

$$W_i \cos \alpha_i / L_i = \text{valore dello sforzo normale totale associato con il metodo ordinario dei concii}$$

Il secondo termine dell'equazione include la funzione:

$$f = \sin 2\pi \left( \frac{x_n - x_{ci}}{x_n - x_0} \right)$$

dove  $x_0$  ed  $x_n$  sono rispettivamente le ascisse del primo e dell'ultimo punto della superficie di scorrimento, mentre  $x_{ci}$  rappresenta l'ascissa del punto medio della base del concio i-esimo.

Una parte sensibile di riduzione del peso associata con una accelerazione verticale del terreno  $K_z$  g può essere trasmessa direttamente alla base e ciò è incluso nel fattore  $(1 - K_z)$ .

Lo sforzo normale totale alla base di un concio è dato da:

$$N_i = \sigma_{ci} L_i$$

La soluzione delle equazioni di equilibrio si ricava risolvendo un sistema lineare di tre equazioni ottenute moltiplicando le equazioni di equilibrio per il fattore di sicurezza  $F$ , sostituendo l'espressione di  $N_i$  e moltiplicando ciascun termine della coesione per un coefficiente arbitrario  $C_3$ . Qualsiasi coppia di valori del fattore di sicurezza nell'intorno di una stima fisicamente ragionevole può essere usata per iniziare una soluzione iterativa.

Il numero necessario di iterazioni dipende sia dalla stima iniziale sia dalla desiderata precisione della soluzione; normalmente, il processo converge rapidamente.

### Metodo di Sarma (1973)

Il metodo di Sarma è un semplice, ma accurato metodo per l'analisi di stabilità dei pendii, che permette di determinare l'accelerazione sismica orizzontale richiesta affinché l'ammasso di terreno, delimitato dalla superficie di scivolamento e dal profilo topografico, raggiunga lo stato di equilibrio limite (accelerazione critica  $K_C$ ) e, nello stesso tempo, consente di ricavare l'usuale fattore di sicurezza ottenuto come per gli altri metodi più comuni della geotecnica.

Si tratta di un metodo basato sul principio dell'equilibrio limite e delle strisce, pertanto viene considerato l'equilibrio di una potenziale massa di terreno in scivolamento suddivisa in  $n$  strisce verticali di spessore sufficientemente piccolo da ritenere ammissibile l'assunzione che lo sforzo normale  $N_i$  agisce nel punto medio della base della striscia.

Le equazioni da prendere in considerazione sono:

- L'equazione di equilibrio alla traslazione orizzontale del singolo concio;
- L'equazione di equilibrio alla traslazione verticale del singolo concio;
- L'equazione di equilibrio dei momenti.

Condizioni di equilibrio alla traslazione orizzontale e verticale:

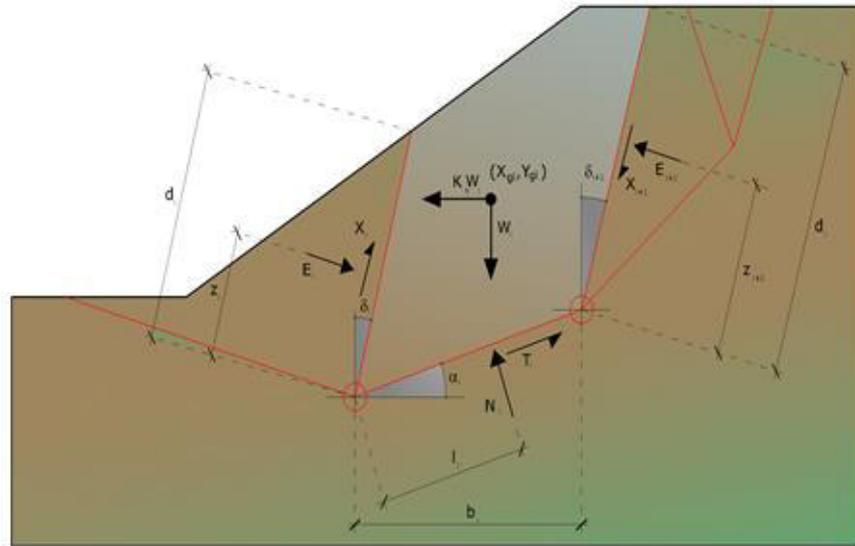
$$\begin{aligned} N_i \cos \alpha_i + T_i \sin \alpha_i &= W_i - \Delta X_i \\ T_i \cos \alpha_i - N_i \sin \alpha_i &= KW_i + \Delta E_i \end{aligned}$$

Viene, inoltre, assunto che in assenza di forze esterne sulla superficie libera dell'ammasso si ha:

$$\begin{aligned} \sum \Delta E_i &= 0 \\ \sum \Delta X_i &= 0 \end{aligned}$$

dove  $E_i$  e  $X_i$  rappresentano, rispettivamente, le forze orizzontale e verticale sulla faccia i-esima del concio generico  $i$ .

L'equazione di equilibrio dei momenti viene scritta scegliendo come punto di riferimento il baricentro dell'intero ammasso; sicché, dopo aver eseguito una serie di posizioni e trasformazioni trigonometriche ed algebriche, nel **metodo di Sarma** la soluzione del problema passa attraverso la risoluzione di due equazioni:



Azioni sull'iesimo concio, metodo di Sarma

$$\sum \Delta X_i \cdot \operatorname{tg}(\psi'_i - \alpha_i) + \sum \Delta E_i = \sum \Delta_i - K \cdot \sum W_i$$

$$\sum \Delta X_i \cdot [(y_{mi} - y_G) \cdot \operatorname{tg}(\psi'_i - \alpha'_i) + (x'_i - x_G)] = \sum W_i \cdot (x_{mi} - x_G) + \sum \Delta_i \cdot (y_{mi} - y_G)$$

Ma l'approccio risolutivo, in questo caso, è completamente capovolto: il problema infatti impone di trovare un valore di **K** (accelerazione sismica) corrispondente ad un determinato fattore di sicurezza; ed in particolare, trovare il valore dell'accelerazione **K** corrispondente al fattore di sicurezza **F = 1**, ossia l'accelerazione critica.

Si ha pertanto:

$$K=K_c \quad \text{Accelerazione critica se } F=1$$

$$F=F_s \quad \text{Fattore di sicurezza in condizioni statiche se } K=0$$

La seconda parte del problema del Metodo di Sarma è quella di trovare una distribuzione di forze interne  $X_i$  ed  $E_i$  tale da verificare l'equilibrio del concio e quello globale dell'intero ammasso, senza violazione del criterio di rottura. E' stato trovato che una soluzione accettabile del problema si può ottenere assumendo la seguente distribuzione per le forze  $X_i$ :

$$\Delta X_i = \lambda \cdot \Delta Q_i = \lambda \cdot (Q_{i+1} - Q_i)$$

dove  $Q_i$  è una funzione nota, in cui vengono presi in considerazione i parametri geotecnici medi sulla  $i$ -esima faccia del concio  $i$ , e  $\lambda$  rappresenta un'incognita.

La soluzione completa del problema si ottiene pertanto, dopo alcune iterazioni, con i valori di  $K_c$ ,  $\lambda$  e  $F$ , che permettono di ottenere anche la distribuzione delle forze di interstriscia.

### Metodo di Spencer (1967)

Il metodo è basato sull'assunzione:

1. le forze d'interfaccia lungo le superfici di divisione dei singoli conci sono orientate parallelamente fra loro ed inclinate rispetto all'orizzontale di un angolo  $\theta$ ;
2. tutti i momenti sono nulli  $M_i = 0$  con  $i=1, \dots, n$ .

Sostanzialmente il metodo soddisfa tutte le equazioni della statica ed equivale al metodo di Morgenstern e Price quando la funzione  $f(x) = 1$ . Imponendo l'equilibrio dei momenti rispetto al centro dell'arco descritto dalla superficie di scivolamento si ha:

$$1) \quad \sum Q_i R \cos(\alpha - \theta) = 0$$

dove:

$$Q_i = \frac{\frac{c}{F_s} (W \cos \alpha - \gamma_w h l \sec \alpha) \frac{\operatorname{tg} \alpha}{F_s} - W \operatorname{sen} \alpha}{\cos(\alpha - \theta) \left[ \frac{F_s + \operatorname{tg} \phi \operatorname{tg}(\alpha - \theta)}{F_s} \right]}$$

forza d'interazione fra i conci;

$R$  = raggio dell'arco di cerchio;

$\theta$  = angolo d'inclinazione della forza  $Q_i$  rispetto all'orizzontale.

Imponendo l'equilibrio delle forze orizzontali e verticali si ha rispettivamente:

$$\begin{aligned} \sum (Q_i \cos \theta) &= 0 \\ \sum (Q_i \operatorname{sen} \theta) &= 0 \end{aligned}$$

Con l'assunzione delle forze  $Q_i$  parallele fra loro, si può anche scrivere:

$$2) \quad \sum Q_i = 0$$

Il metodo propone di calcolare due coefficienti di sicurezza: il primo ( $F_{sm}$ ) ottenibile dalla 1), legato all'equilibrio dei momenti; il secondo ( $F_{sf}$ ) dalla 2) legato all'equilibrio delle forze. In pratica si procede risolvendo la 1) e la 2) per un dato intervallo di valori dell'angolo  $\theta$ , considerando come valore unico del coefficiente di sicurezza quello per cui si abbia:

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

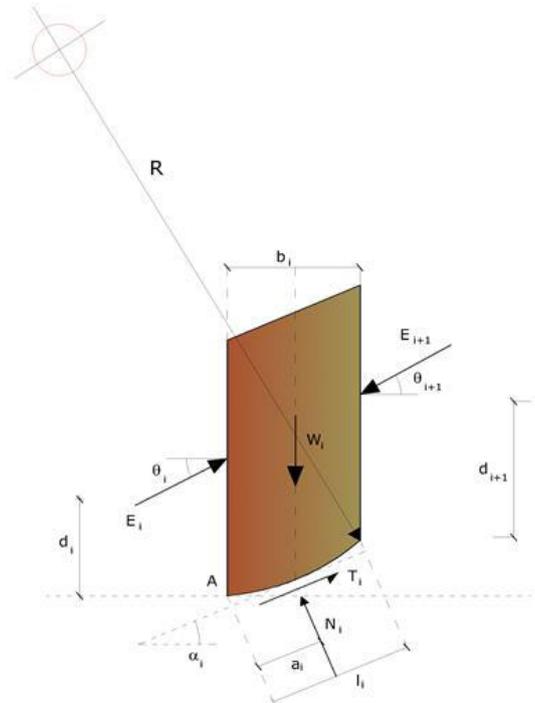
### Metodo di Morgenstern e Price (1965)

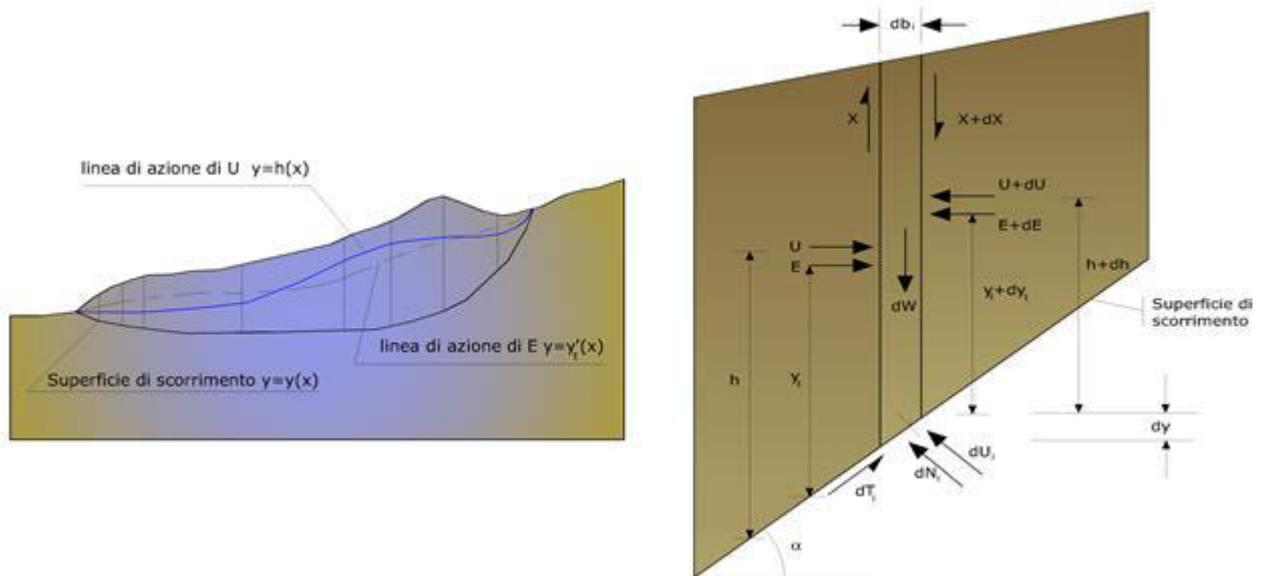
Si stabilisce una relazione tra le componenti delle forze di interfaccia del tipo  $X = \lambda f(x)E$ , dove  $\lambda$  è un fattore di scala e  $f(x)$ , funzione della posizione di  $E$  e di  $X$ , definisce una relazione tra la variazione della forza  $X$  e della forza  $E$  all'interno della massa scivolante. La funzione  $f(x)$  è scelta arbitrariamente (costante, sinusoidale, semisinusoidale, trapezia, spezzata...) e influenza poco il risultato, ma va verificato che i valori ricavati per le incognite siano fisicamente accettabili.

La particolarità del metodo è che la massa viene suddivisa in strisce infinitesime alle quali vengono imposte le equazioni di equilibrio alla traslazione orizzontale e verticale e di rottura sulla base delle strisce stesse. Si perviene ad una prima equazione differenziale che lega le forze d'interfaccia incognite  $E$ ,  $X$ , il coefficiente di sicurezza  $F_s$ , il peso della striscia infinitesima  $dW$  e la risultante delle pressioni neutra alla base  $dU$ .

Si ottiene la cosiddetta "equazione delle forze":

$$\begin{aligned} c' \sec^2 \frac{\alpha}{F_s} + \operatorname{tg} \phi \left( \frac{dW}{dx} - \frac{dX}{dx} - \operatorname{tg} \alpha \frac{dE}{dx} - \sec \alpha \frac{dU}{dx} \right) &= \\ &= \frac{dE}{dx} - \operatorname{tg} \alpha \left( \frac{dX}{dx} - \frac{dW}{dx} \right) \end{aligned}$$





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

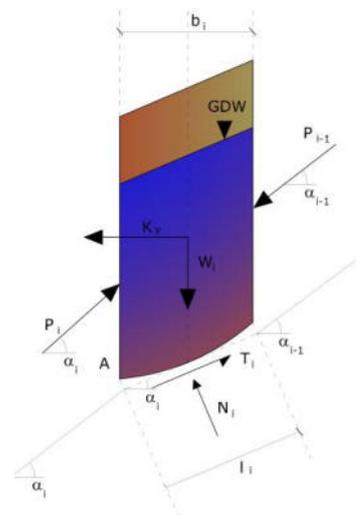
Una seconda equazione, detta "equazione dei momenti", viene scritta imponendo la condizione di equilibrio alla rotazione rispetto alla mezzeria della base:

$$X = \frac{d(E\gamma)}{dx} - \gamma \frac{dE}{dx}$$

queste due equazioni vengono estese per integrazione a tutta la massa interessata dallo scivolamento. Il metodo di calcolo soddisfa tutte le equazioni di equilibrio ed è applicabile a superfici di qualsiasi forma, ma implica necessariamente l'uso di un calcolatore.

**Metodo di Zeng e Liang (2002)**

Zeng e Liang hanno effettuato una serie di analisi parametriche su un modello bidimensionale sviluppato con codice agli elementi finiti, che riproduce il caso di pali immersi in un terreno in movimento (drilled shafts). Il modello bidimensionale riproduce un striscia di terreno di spessore unitario e ipotizza che il fenomeno avvenga in condizioni di deformazione piana nella direzione parallela all'asse dei pali. Il modello è stato utilizzato per indagare l'influenza sulla formazione dell'effetto arco di alcuni parametri come l'interasse fra i pali, il diametro e la forma dei pali, e le proprietà meccaniche del terreno. Gli autori individuano nel rapporto tra l'interasse e il diametro dei i pali (s/d) il parametro adimensionale determinante per la formazione dell'effetto arco. Il problema risulta essere staticamente indeterminato, con grado di indeterminatezza pari a (8n-4), ma nonostante ciò è possibile ottenere una soluzione riducendo il numero delle incognite e assumendo quindi delle ipotesi semplificative, in modo da rendere determinato il problema.



Le assunzioni che rendono il problema determinato sono:

- Ky sono assunte orizzontali per ridurre il numero totale delle incognite da (n-1) a (7n-3);
- Le forze normali alla base della striscia agiscono nel punto medio, riducendo le incognite da n a (6n-3);
- La posizione delle spinte laterali è ad un terzo dell'altezza media dell'inter-striscia e riduce le incognite da (n-1) a (5n-2);
- Le forze (Pi-1) e Pi si assumono parallele all'inclinazione della base della striscia (αi), riducendo il numero di incognite da (n-1) a (4n-1);
- Si assume un'unica costante di snervamento per tutte le strisce, riducendo le incognite da (n) a (3n-1);

Il numero totale di incognite quindi è ridotto a (3n), da calcolare utilizzando il fattore di trasferimento di carico. Inoltre si deve tener presente che la forza di stabilizzazione trasmessa sul terreno a valle dei pali risulta ridotta di una quantità R, chiamato fattore di riduzione, calcolabile come:

$$R = \frac{1}{s/d} + \left(1 - \frac{1}{s/d}\right) \cdot R_p$$

Il fattore R dipende quindi dal rapporto fra l'interasse presente fra i pali e il diametro dei pali stessi e dal fattore  $R_p$  che tiene conto dell'effetto arco.

### Valutazione dell'azione sismica

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

Ai fini della valutazione dell'azione sismica vengono considerate le seguenti forze:

$$F_H = K_x W$$

$$F_V = K_y W$$

Essendo:

- $F_H$  e  $F_V$  rispettivamente la componente orizzontale e verticale della forza d'inerzia applicata al baricentro del concio;
- $W$  peso concio;
- $K_x$  coefficiente sismico orizzontale;
- $K_y$  coefficiente sismico verticale.

### 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.

### Stabilizzazione di pendii con l'utilizzo di pali

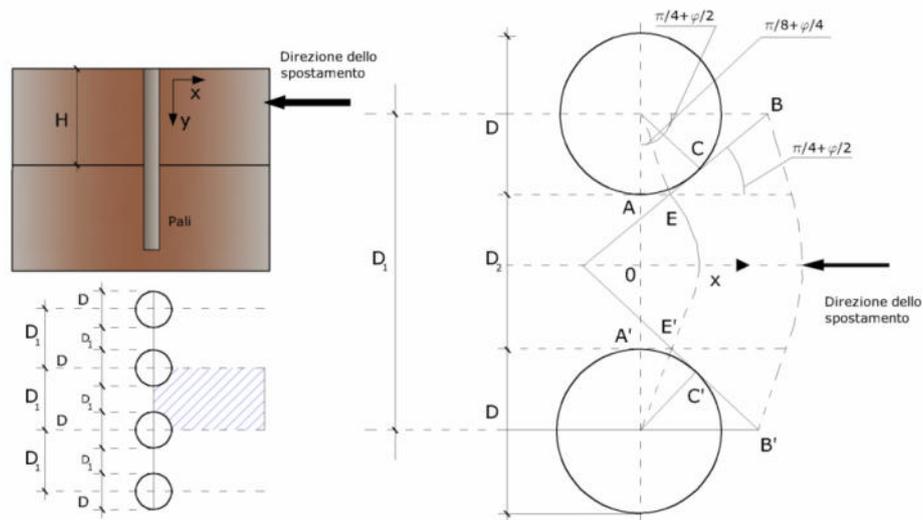
La realizzazione di una cortina di pali, su pendio, serve a fare aumentare la resistenza al taglio su determinate superfici di scorrimento. L'intervento può essere conseguente ad una stabilità già accertata, per la quale si conosce la superficie di scorrimento oppure, agendo preventivamente, viene progettato in relazione alle ipotetiche superfici di rottura che responsabilmente possono essere assunte come quelle più probabili. In ogni caso si opera considerando una massa di terreno in movimento su un ammasso stabile sul quale attestare, per una certa lunghezza, l'allineamento di pali.

Il terreno, nelle due zone, ha una influenza diversa sull'elemento monoassiale (palo): di tipo sollecitativo nella parte superiore (palo passivo – terreno attivo) e di tipo resistivo nella zona sottostante (palo attivo – terreno passivo). Da questa interferenza, fra "sbarramento" e massa in movimento, scaturiscono le azioni stabilizzanti che devono perseguire le seguenti finalità:

1. conferire al pendio un coefficiente di sicurezza maggiore di quello posseduto;
2. essere assorbite dal manufatto garantendone l'integrità (le tensioni interne, derivanti dalle sollecitazioni massime trasmesse sulle varie sezioni del singolo palo, devono risultare inferiori a quelle ammissibili del materiale) e risultare inferiori al carico limite sopportabile dal terreno, calcolato, lateralmente considerando l'interazione (palo-terreno).

### Carico limite relativo all'interazione fra i pali ed il terreno laterale

Nei vari tipi di terreno che non hanno un comportamento omogeneo, le deformazioni in corrispondenza della zona di contatto non sono legate fra di loro. Quindi, non potendo associare al materiale un modello di comportamento perfettamente elastico (ipotesi che potrebbe essere assunta per i materiali lapidei poco fratturati), generalmente si procede imponendo che il movimento di massa sia nello stato iniziale e che il terreno in adiacenza ai pali sia nella fase massima consentita di plasticizzazione, oltre la quale si potrebbe verificare l'effetto indesiderato che il materiale possa defluire, attraverso la cortina di pali, nello spazio intercorrente fra un elemento e l'altro.



Imponendo inoltre che il carico assorbito dal terreno sia uguale a quello associato alla condizione limite ipotizzata e che fra due pali consecutivi, a seguito della spinta attiva, si instauri una sorta di effetto arco, gli autori T. Ito e T. Matsui (1975) hanno ricavato la relazione che permette di determinare il carico limite. A questa si è pervenuto facendo riferimento allo schema statico, disegnato nella figura precedente e alle ipotesi anzidette, che schematicamente si ribadiscono.

- Sotto l'azione della spinte attiva del terreno si formano due superfici di scorrimento localizzate in corrispondenza delle linee AEB ed A'E'B';
- Le direzioni EB ed E'B' formano con l'asse x rispettivamente angoli  $+(45 + \varphi/2)$  e  $-(45 + \varphi/2)$ ;
- Il volume di terreno, compreso nella zona delimitata dai vertici AEBB'E'A' ha un comportamento plastico, e quindi è consentita l'applicazione del criterio di rottura di Mohr-coulomb;
- La pressione attiva del terreno agisce sul piano A-A';
- I pali sono dotati di elevata rigidezza a flessione e taglio.

Detta espressione, riferita alla generica profondità Z, relativamente ad un spessore di terreno unitario, è la seguente:

$$P(Z) = C \cdot D_1 (D_1/D_2)^{K_1} \left[ 1 / \left( N_\varphi \operatorname{tag} \varphi \left( e^{K_2} - 2(N_\varphi)^{1/2} \operatorname{tag} \varphi - 1 \right) + K_3 \right) \right] - C \left[ D_1 \cdot K_3 - D_2 / (N_\varphi)^{1/2} \right] + \gamma Z / N_\varphi \left[ D_1 (D_1/D_2)^{K_1} \cdot e^{K_2} - D_2 \right]$$

dove i simboli utilizzati assumono il significato che segue:

**C** = coesione terreno;

**φ** = angolo di attrito terreno;

**γ** = peso specifico terreno;

**D<sub>1</sub>** = interasse tra i pali;

**D<sub>2</sub>** = spazio libero fra due pali consecutivi;

**N<sub>φ</sub>** =  $\operatorname{tag}^2(\pi/4 + \varphi/2)$

$$K_1 = (N_\varphi)^{1/2} \operatorname{tag} \varphi + N_\varphi - 1$$

$$K_2 = (D_1 - D_2) / D_2 \cdot N_\varphi \operatorname{tag}(\pi/8 + \varphi/4)$$

$$K_3 = \left[ 2 \operatorname{tag} \varphi + 2(N_\varphi)^{1/2} + 1 / (N_\varphi)^{1/2} \right] / \left[ (N_\varphi)^{1/2} \operatorname{tag} \varphi + N_\varphi - 1 \right]$$

La forza totale, relativamente ad uno strato di terreno in movimento di spessore H, è stata ottenuta integrando l'espressione precedente.

In presenza di terreni granulari (condizione drenata), nei quali si può assumere  $c = 0$ , l'espressione diventa:

$$P = 1/2 \gamma \cdot H^2 / N_\varphi \left[ D_1 (D_1/D_2)^{K_1} \cdot e^{K_2} - D_2 \right]$$

Per terreni coesivi (condizioni non drenate), con  $\varphi = 0$  e  $C \neq 0$ , si ha:

$$P(z) = C \left[ D_1 (3 \ln(D_1/D_2) + (D_1 - D_2)/D_2 \tan \pi/8) - 2(D_1 - D_2) \right] + \gamma \cdot Z(D_1 - D_2)$$

$$P = \int_0^H P(Z) dZ$$

$$P = C \cdot H \left[ D_1 (3 \ln(D_1/D_2) + (D_1 - D_2)/D_2 \tan \pi/8) - 2(D_1 - D_2) \right] + 1/2 \gamma H^2 (D_1 - D_2)$$

Il dimensionamento della cortina di pali, che come già detto deve conferire al pendio un incremento del coefficiente di sicurezza e garantire l'integrità del meccanismo palo-terreno, è abbastanza problematica. Infatti tenuto conto della complessità dell'espressione del carico P, influenzata da diversi fattori legati sia alle caratteristiche meccaniche del terreno sia alla geometria del manufatto, non è facile con una sola elaborazione pervenire alla soluzione ottimale. Per raggiungere lo scopo è necessario pertanto eseguire diversi tentativi finalizzati:

- A trovare, sul profilo topografico del pendio, la posizione che garantisca, a parità di altre condizioni, una distribuzione dei coefficienti di sicurezza più confortante;
- A determinare la disposizione planimetrica dei pali, caratterizzata dal rapporto fra interasse e distanza fra i pali (D2/D1), che consenta di sfruttare al meglio la resistenza del complesso palo-terreno; sperimentalmente è stato riscontrato che, escludendo i casi limiti (D2 = 0 P → ∞ e D2 = D1 P → valore minimo), i valori più idonei allo scopo sono quelli per i quali tale rapporto risulta compreso fra 0,60 e 0,80;
- A valutare la possibilità di inserire più file di pali ed eventualmente, in caso affermativo, valutare, per le file successive, la posizione che dia più garanzie in termini di sicurezza e di spreco di materiali;
- Ad adottare il tipo di vincolo più idoneo che consente di ottenere una distribuzione più regolare delle sollecitazioni; sperimentalmente è stato constatato che quello che assolve, in maniera più soddisfacente, allo scopo è il vincolo che impedisce le rotazioni alla testa del palo.

**Metodo del carico limite di Broms**

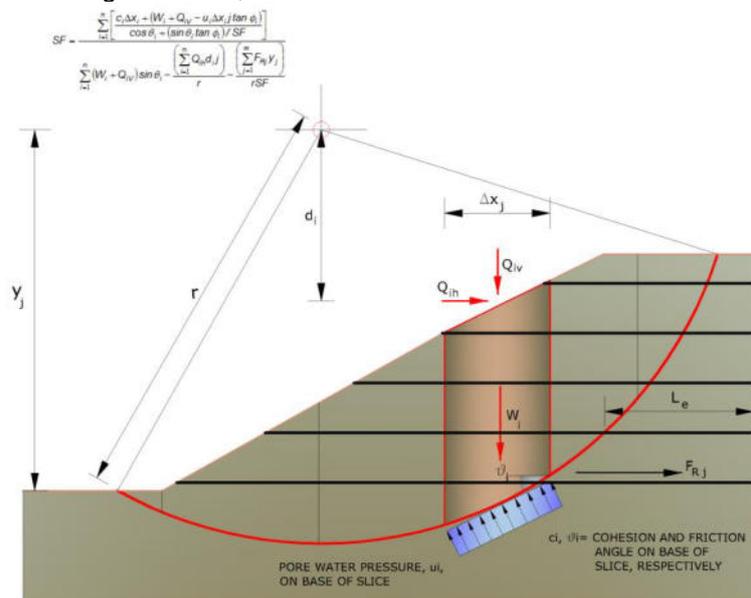
Nel caso in cui il palo sia caricato ortogonalmente all'asse, configurazione di carico presente se un palo inibisce il movimento di una massa in frana, la resistenza può essere affidata al suo carico limite orizzontale.

Il problema di calcolo del carico limite orizzontale è stato affrontato da Broms sia per il mezzo puramente coesivo che per il mezzo incoerente, il metodo di calcolo seguito è basato su alcune ipotesi semplificative per quanto attiene alla reazione esercitata dal terreno per unità di lunghezza di palo in condizioni limite e porta in conto anche la resistenza a rottura del palo (*Momento di plasticizzazione*).

**Elemento Rinforzo**

I Rinforzi sono degli elementi orizzontali, la loro messa in opera conferisce al terreno un incremento della resistenza allo scorrimento .

Se l'elemento di rinforzo interseca la superficie di scorrimento, la forza resistente sviluppata dall'elemento entra nell'equazione di equilibrio del singolo concio, in caso contrario l'elemento di rinforzo non ne influenza la stabilità.



Le verifiche di natura interna hanno lo scopo di valutare il livello di stabilità dell'ammasso rinforzato, quelle calcolate sono la verifica a rottura dell'elemento di rinforzo per trazione e la verifica a sfilamento (*Pullout*). Il parametro che

fornisce la resistenza a trazione del rinforzo,  $T_{Allow}$ , si calcola dalla resistenza nominale del materiale con cui è realizzato il rinforzo ridotto da opportuni coefficienti che tengono conto dell'aggressività del terreno, danneggiamento per effetto creep e danneggiamento per installazione.

L'altro parametro è la resistenza a sfilamento (*Pullout*) che viene calcolata attraverso la seguente relazione:

$$T_{Pullout} = 2 \cdot L_e \cdot \sigma'_v \cdot f_b \cdot \tan(\delta)$$

Per geosintetico a maglie chiuse:

$$f_b = \frac{\tan(\delta)}{\tan(\varphi)}$$

dove:

$\delta$  Rappresenta l'angolo di attrito tra terreno e rinforzo;

$T_{Pullout}$  Resistenza mobilitata da un rinforzo ancorato per una lunghezza  $L_e$  all'interno della parte stabile del terreno;

$L_e$  Lunghezza di ancoraggio del rinforzo all'interno della parte stabile;

$f_b$  Coefficiente di *Pullout*;

$\sigma'_v$  Tensione verticale, calcolata alla profondità media del tratto di rinforzo ancorato al terreno.

Ai fini della verifica si sceglie il valore minimo tra  $T_{Allow}$  e  $T_{Pullout}$ , la verifica interna verrà soddisfatta se la forza trasmessa dal rinforzo generata a tergo del tratto rinforzato non supera il valore della  $T$ .

### Ancoraggi

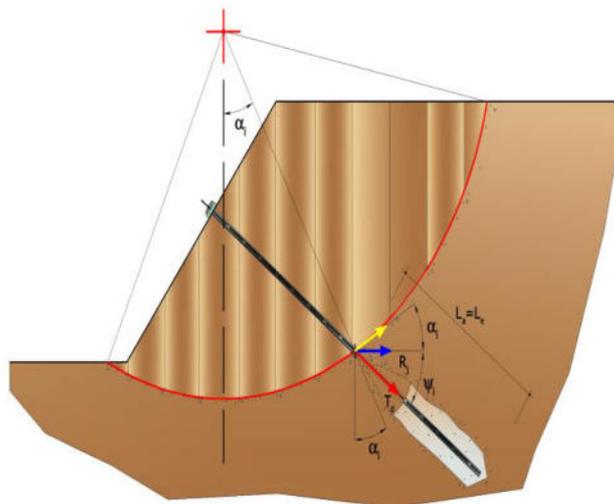
Gli ancoraggi, tiranti o chiodi, sono degli elementi strutturali in grado di sostenere forze di trazione in virtù di un'adeguata connessione al terreno.

Gli elementi caratterizzanti un tirante sono:

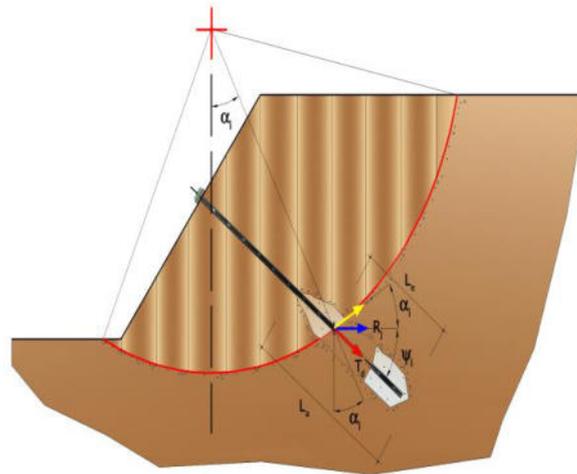
- **testata:** indica l'insieme degli elementi che hanno la funzione di trasmettere alla struttura ancorata la forza di trazione del tirante;
- **fondazione:** indica la parte del tirante che realizza la connessione con il terreno, trasmettendo al terreno stesso la forza di trazione del tirante.

Il tratto compreso tra la testata e la fondazione prende il nome di parte libera, mentre la fondazione (o bulbo) viene realizzata iniettando nel terreno, per un tratto terminale, tramite valvole a perdere, la malta, in genere cementizia. L'anima dell'ancoraggio è costituita da un'armatura, realizzata con barre, fili o trefoli.

Il tirante interviene nella stabilità in misura maggiore o minore efficacia a seconda se sarà totalmente o parzialmente (caso in cui è intercettato dalla superficie di scorrimento) ancorato alla parte stabile del terreno.



*Bulbo completamente ancorato*



*Bulbo parzialmente ancorato*

Le relazioni che esprimono la misura di sicurezza lungo una ipotetica superficie di scorrimento si modificheranno in presenza di ancoraggi (tirante attivo, passivo e chiodi) nel modo seguente:

- per i tiranti di *tipo attivo*, la loro resistenza si detrae dalle azioni (denominatore);

$$F_s = \frac{R_d}{E_d - \sum_{i,j} R_{i,j} \cdot \frac{1}{\cos \alpha_i}}$$

- per tiranti di *tipo passivo* e per *i chiodi*, il loro contributo si somma alle resistenze (numeratore)

$$F_s = \frac{R_d + \sum_{i,j} R_{i,j} \cdot \frac{1}{\cos \alpha_i}}{E_d}$$

Con  $R_j$  si indica la resistenza dell'ancoraggio e viene calcolata dalla seguente espressione:

$$R_j = T_d \cdot \cos \Psi_i \cdot \left( \frac{1}{i} \right) \cdot \left( \frac{L_e}{L_a} \right)$$

dove:

- $T_d$  tiro esercizio;
- $\Psi_i$  inclinazione del tirante rispetto all'orizzontale;
- $i$  interasse;
- $L_e$  lunghezza efficace;
- $L_a$  lunghezza d'ancoraggio.

I due indici (i, j) riportati in sommatoria rappresentano rispettivamente l'i-esimo concio e il j-esimo ancoraggio intercettato dalla superficie di scorrimento dell'i-esimo concio.

## NIL2-STATICA

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

Calcolo eseguito secondo	[A2+M2+R2]
Numero di strati	3.0
Numero dei conci	10.0
Grado di sicurezza ritenuto accettabile	1.0
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	43.04 m
Ordinata vertice sinistro inferiore yi	129.73 m
Ascissa vertice destro superiore xs	408.44 m
Ordinata vertice destro superiore ys	212.95 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	42.5
2	71.84	45.0
3	103.97	49.99
4	103.97	49.99
5	152.18	54.99
6	173.91	59.99
7	193.08	64.99
8	237.31	69.99
9	252.63	74.98
10	269.23	79.98
11	294.55	84.98
12	326.48	89.98
13	347.56	94.98
14	362.36	99.98
15	375.33	104.08
16	406.5	109.98
17	441.95	114.97
18	470.62	119.97

### Falda

Nr.	X (m)	y (m)
1	0.0	37.49
2	71.84	39.99
3	103.97	44.98
4	103.97	44.98
5	152.18	49.98
6	173.91	54.98
7	193.08	59.98
8	237.31	64.98
9	252.63	69.97

10	269.23	74.97
11	294.55	79.97
12	326.48	84.97
13	347.56	89.97
14	362.36	94.97
15	375.33	98.97
16	406.5	104.97
17	441.95	109.96
18	470.62	114.96

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

N	X (m)	y (m)
1	0.0	42.5
2	31.14	43.58
3	61.7	39.45
4	86.57	38.7
5	106.35	39.15
6	153.9	44.61
7	179.69	50.75
8	198.36	53.44
9	237.31	58.98
10	258.18	63.72
11	297.01	71.97
12	328.51	79.67
13	328.51	79.67
14	350.45	84.87
15	366.41	89.54
16	375.33	92.47
17	408.07	99.59
18	421.98	105.89
19	433.74	113.82
20	441.95	114.97
21	470.62	119.97

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

N	X (m)	y (m)
1	0.0	30.0
2	82.89	36.45
3	106.35	39.15
4	153.9	44.61
5	179.69	50.75
6	237.31	58.98
7	297.01	71.97
8	328.51	79.67
9	350.45	84.87
10	366.41	89.54
11	375.33	92.47
12	408.07	99.59
13	421.98	105.89
14	433.74	113.82
15	441.95	114.97
16	470.62	119.97

**Coefficienti parziali azioni**

Sfavorevoli: Permanenti, variabili	1.0	1.0
Favorevoli: Permanenti, variabili	1.0	1.0

**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	0.06		23	2000	2100	Frana quiescente	
2	0.06		23	2000	2100	Frana quiescente	
3	0.15		32	2100	2200	Substrato (MOV)	

**Risultati analisi pendio [[A2+M2+R2]]**

Fs minimo individuato	1.57
Ascissa centro superficie	344.5 m
Ordinata centro superficie	175.5 m
Raggio superficie	88.28 m

**Numero di superfici esaminate....(431)**

N°	Xo	Yo	Ro	Fs
1	43.0	129.7	94.6	9.36
2	52.2	133.9	98.8	6.44
3	61.3	129.7	91.1	5.85
4	70.4	133.9	97.5	4.21
5	79.6	129.7	91.6	3.76
6	88.7	133.9	91.8	3.76
7	97.9	129.7	88.5	3.63
8	107.0	133.9	91.9	3.85
9	116.1	129.7	87.0	3.81
10	125.3	133.9	90.3	3.36
11	134.4	129.7	85.4	2.96
12	143.5	133.9	88.8	2.37
13	152.7	129.7	76.7	2.48
14	161.8	133.9	79.9	2.32
15	170.9	129.7	74.9	2.34
16	180.1	133.9	78.1	2.57
17	189.2	129.7	73.1	2.86
18	198.3	133.9	76.3	3.26
19	207.5	129.7	71.3	3.20
20	216.6	133.9	74.6	2.58
21	225.7	129.7	69.5	2.11
22	234.9	133.9	72.8	1.80
23	244.0	129.7	67.7	2.02
24	253.1	133.9	71.0	2.42
25	262.3	129.7	66.0	2.79
26	271.4	133.9	60.3	2.30
27	280.6	129.7	55.2	2.52
28	289.7	133.9	58.3	2.72
29	298.8	129.7	53.1	2.71
30	308.0	133.9	56.2	2.52
31	317.1	129.7	50.5	2.40
32	326.2	133.9	52.7	1.96

33	335.4	129.7	46.5	1.75
34	344.5	133.9	47.4	1.60
35	353.6	129.7	49.7	3.25
36	362.8	133.9	47.9	2.87
37	371.9	129.7	40.3	3.19
38	381.0	133.9	46.0	4.07
39	390.2	129.7	38.0	4.49
40	399.3	133.9	41.6	5.30
41	408.4	129.7	33.3	5.46
42	43.0	138.0	102.2	9.36
43	52.2	142.2	106.3	6.46
44	61.3	138.0	102.3	4.98
45	70.4	142.2	104.8	4.27
46	79.6	138.0	98.9	3.83
47	88.7	142.2	99.2	3.93
48	97.9	138.0	96.8	3.71
49	107.0	142.2	100.1	3.78
50	116.1	138.0	95.2	3.68
51	125.3	142.2	98.6	3.19
52	134.4	138.0	93.7	2.81
53	143.5	142.2	97.1	2.33
54	152.7	138.0	84.9	2.43
55	161.8	142.2	88.2	2.33
56	170.9	138.0	83.1	2.38
57	180.1	142.2	86.4	2.60
58	189.2	138.0	81.4	2.88
59	198.3	142.2	84.6	3.13
60	207.5	138.0	79.6	2.98
61	216.6	142.2	82.8	2.40
62	225.7	138.0	77.8	2.03
63	234.9	142.2	81.0	1.79
64	244.0	138.0	76.0	2.04
65	253.1	142.2	70.6	2.03
66	262.3	138.0	65.5	2.13
67	271.4	142.2	68.6	2.31
68	280.6	138.0	63.4	2.49
69	289.7	142.2	66.5	2.65
70	298.8	138.0	61.4	2.61
71	308.0	142.2	64.5	2.40
72	317.1	138.0	58.6	2.25
73	326.2	142.2	60.8	1.85
74	335.4	138.0	54.5	1.66
75	344.5	142.2	53.9	1.63
76	353.6	138.0	55.5	2.94
77	362.8	142.2	53.9	2.72
78	371.9	138.0	46.2	2.62
79	381.0	142.2	51.4	3.65
80	390.2	138.0	43.4	4.08
81	399.3	142.2	46.6	4.78
82	408.4	138.0	38.2	4.86
83	43.0	146.4	109.9	9.35
84	52.2	150.5	113.9	6.49
85	61.3	146.4	109.7	5.03
86	70.4	150.5	112.2	4.34
87	79.6	146.4	106.3	3.90
88	88.7	150.5	112.2	3.51
89	97.9	146.4	104.6	3.70
90	107.0	150.5	108.4	3.70
91	116.1	146.4	103.5	3.55
92	125.3	150.5	106.9	3.04
93	134.4	146.4	102.0	2.67
94	143.5	150.5	105.3	2.30

95	152.7	146.4	93.2	2.42
96	161.8	150.5	96.4	2.35
97	170.9	146.4	91.4	2.42
98	180.1	150.5	94.7	2.63
99	189.2	146.4	89.6	2.90
100	198.3	150.5	92.9	3.02
101	207.5	146.4	87.8	2.78
102	216.6	150.5	91.1	2.28
103	225.7	146.4	86.1	1.98
104	234.9	150.5	89.3	1.77
105	244.0	146.4	84.3	2.16
106	253.1	150.5	78.9	2.04
107	262.3	146.4	73.7	2.14
108	271.4	150.5	76.8	2.30
109	280.6	146.4	71.7	2.48
110	289.7	150.5	74.8	2.56
111	298.8	146.4	69.6	2.52
112	308.0	150.5	72.6	2.26
113	317.1	146.4	66.7	2.10
114	326.2	150.5	68.7	1.79
115	335.4	146.4	61.3	1.67
116	344.5	150.5	60.6	1.68
117	353.6	146.4	61.5	2.73
118	362.8	150.5	60.0	2.16
119	371.9	146.4	52.3	1.97
120	381.0	150.5	57.1	3.05
121	390.2	146.4	49.0	2.54
122	399.3	150.5	52.0	3.93
123	408.4	146.4	48.3	4.86
124	43.0	154.7	115.1	13.05
125	52.2	158.9	124.6	6.29
126	61.3	154.7	117.2	5.08
127	70.4	158.9	119.7	4.41
128	79.6	154.7	113.7	3.99
129	88.7	158.9	119.5	3.57
130	97.9	154.7	112.0	3.87
131	107.0	158.9	116.7	3.63
132	116.1	154.7	111.8	3.43
133	125.3	158.9	115.1	2.94
134	134.4	154.7	110.2	2.59
135	143.5	158.9	113.6	2.70
136	152.7	154.7	101.5	2.41
137	161.8	158.9	104.7	2.38
138	170.9	154.7	99.7	2.45
139	180.1	158.9	102.9	2.67
140	189.2	154.7	97.9	2.93
141	198.3	158.9	101.1	2.86
142	207.5	154.7	96.1	2.60
143	216.6	158.9	99.3	2.20
144	225.7	154.7	94.3	1.94
145	234.9	158.9	97.6	1.75
146	244.0	154.7	92.5	2.14
147	253.1	158.9	87.1	2.06
148	262.3	154.7	82.0	2.16
149	271.4	158.9	85.1	2.31
150	280.6	154.7	79.9	2.47
151	289.7	158.9	83.0	2.52
152	298.8	154.7	77.9	2.45
153	308.0	158.9	80.7	2.18
154	317.1	154.7	74.8	2.00
155	326.2	158.9	75.4	1.78
156	335.4	154.7	68.0	1.70

157	344.5	158.9	67.4	1.77
158	353.6	154.7	67.7	2.18
159	362.8	158.9	66.3	1.78
160	371.9	154.7	58.5	2.11
161	381.0	158.9	63.0	2.26
162	390.2	154.7	54.9	2.73
163	399.3	158.9	57.7	3.40
164	408.4	154.7	53.7	4.53
165	43.0	163.0	123.0	13.21
166	52.2	167.2	132.3	5.61
167	61.3	163.0	124.9	5.14
168	70.4	167.2	127.3	4.47
169	79.6	163.0	125.9	3.74
170	88.7	167.2	127.0	3.65
171	97.9	163.0	119.5	4.06
172	107.0	167.2	124.8	3.59
173	116.1	163.0	120.0	3.32
174	125.3	167.2	123.4	2.83
175	134.4	163.0	118.5	2.54
176	143.5	167.2	114.8	2.65
177	152.7	163.0	109.7	2.43
178	161.8	167.2	113.0	2.40
179	170.9	163.0	107.9	2.48
180	180.1	167.2	111.2	2.70
181	189.2	163.0	106.2	2.91
182	198.3	167.2	109.4	2.75
183	207.5	163.0	104.4	2.48
184	216.6	167.2	107.6	2.13
185	225.7	163.0	102.6	1.91
186	234.9	167.2	105.8	1.74
187	244.0	163.0	92.3	2.01
188	253.1	167.2	95.4	2.08
189	262.3	163.0	90.2	2.17
190	271.4	167.2	93.3	2.31
191	280.6	163.0	88.2	2.45
192	289.7	167.2	91.3	2.47
193	298.8	163.0	86.1	2.35
194	308.0	167.2	88.8	2.08
195	317.1	163.0	82.7	1.92
196	326.2	167.2	82.2	1.82
197	335.4	163.0	74.8	1.74
198	344.5	167.2	81.8	2.14
199	353.6	163.0	74.0	1.79
200	362.8	167.2	72.8	1.89
201	371.9	163.0	65.0	2.33
202	381.0	167.2	69.2	2.38
203	390.2	163.0	66.1	3.52
204	399.3	167.2	63.8	3.30
205	408.4	163.0	59.5	4.33
206	43.0	171.3	133.4	9.39
207	52.2	175.5	140.0	5.61
208	61.3	171.3	135.9	4.67
209	70.4	175.5	138.9	4.14
210	79.6	171.3	133.4	3.79
211	88.7	175.5	134.6	3.73
212	97.9	171.3	132.8	4.10
213	107.0	175.5	132.3	3.71
214	116.1	171.3	128.3	3.20
215	125.3	175.5	131.7	2.72
216	134.4	171.3	126.8	2.49
217	143.5	175.5	123.0	2.62
218	152.7	171.3	118.0	2.45

219	161.8	175.5	121.2	2.43
220	170.9	171.3	116.2	2.51
221	180.1	175.5	119.4	2.73
222	189.2	171.3	114.4	2.86
223	198.3	175.5	117.7	2.62
224	207.5	171.3	112.6	2.36
225	216.6	175.5	115.9	2.07
226	225.7	171.3	110.9	1.88
227	234.9	175.5	114.1	1.75
228	244.0	171.3	100.5	2.02
229	253.1	175.5	103.6	2.09
230	262.3	171.3	98.5	2.18
231	271.4	175.5	101.6	2.31
232	280.6	171.3	96.4	2.42
233	289.7	175.5	99.6	2.42
234	298.8	171.3	94.4	2.26
235	308.0	175.5	96.7	2.03
236	317.1	171.3	89.7	1.95
237	326.2	175.5	89.1	1.87
238	335.4	171.3	81.7	1.81
239	344.5	175.5	88.3	1.57
240	353.6	171.3	80.5	1.67
241	362.8	175.5	79.4	2.07
242	371.9	171.3	77.3	1.95
243	381.0	175.5	75.6	2.64
244	390.2	171.3	72.2	2.69
245	399.3	175.5	74.2	3.63
246	408.4	171.3	69.4	4.37
247	43.0	179.7	141.4	9.34
248	52.2	183.8	145.0	6.64
249	61.3	179.7	143.6	4.70
250	70.4	183.8	146.5	4.18
251	79.6	179.7	141.0	3.84
252	88.7	183.8	142.2	3.80
253	97.9	179.7	140.3	3.28
254	107.0	183.8	139.9	3.82
255	116.1	179.7	136.6	3.07
256	125.3	183.8	140.0	2.65
257	134.4	179.7	135.1	2.45
258	143.5	183.8	131.3	2.59
259	152.7	179.7	126.3	2.46
260	161.8	183.8	129.5	2.45
261	170.9	179.7	124.5	2.55
262	180.1	183.8	127.7	2.76
263	189.2	179.7	122.7	2.80
264	198.3	183.8	125.9	2.51
265	207.5	179.7	120.9	2.28
266	216.6	183.8	124.1	2.04
267	225.7	179.7	119.1	1.86
268	234.9	183.8	122.4	1.75
269	244.0	179.7	108.8	2.03
270	253.1	183.8	111.9	2.10
271	262.3	179.7	106.7	2.19
272	271.4	183.8	109.9	2.32
273	280.6	179.7	104.7	2.39
274	289.7	183.8	107.8	2.36
275	298.8	179.7	102.7	2.18
276	308.0	183.8	103.7	2.06
277	317.1	179.7	96.6	1.97
278	326.2	183.8	96.1	1.92
279	335.4	179.7	88.6	1.86
280	344.5	183.8	94.9	1.62

281	353.6	179.7	87.1	1.76
282	362.8	183.8	91.7	1.79
283	371.9	179.7	83.6	2.10
284	381.0	183.8	86.8	2.31
285	390.2	179.7	78.5	2.86
286	399.3	183.8	80.6	3.61
287	408.4	179.7	79.2	4.20
288	43.0	188.0	149.3	9.28
289	52.2	192.1	153.0	6.63
290	61.3	188.0	151.4	4.73
291	70.4	192.1	154.3	4.23
292	79.6	188.0	148.7	3.90
293	88.7	192.1	149.8	3.88
294	97.9	188.0	147.8	3.32
295	107.0	192.1	153.6	3.86
296	116.1	188.0	144.9	2.98
297	125.3	192.1	148.2	2.61
298	134.4	188.0	143.3	2.42
299	143.5	192.1	139.5	2.58
300	152.7	188.0	134.5	2.47
301	161.8	192.1	137.8	2.48
302	170.9	188.0	132.7	2.57
303	180.1	192.1	136.0	2.77
304	189.2	188.0	131.0	2.71
305	198.3	192.1	134.2	2.42
306	207.5	188.0	129.2	2.21
307	216.6	192.1	132.4	1.99
308	225.7	188.0	127.4	1.89
309	234.9	192.1	130.6	1.74
310	244.0	188.0	117.0	2.04
311	253.1	192.1	120.1	2.11
312	262.3	188.0	115.0	2.20
313	271.4	192.1	118.1	2.31
314	280.6	188.0	113.0	2.37
315	289.7	192.1	116.1	2.28
316	298.8	188.0	110.8	2.11
317	308.0	192.1	110.8	2.10
318	317.1	188.0	103.5	2.02
319	326.2	192.1	103.1	1.92
320	335.4	188.0	102.6	1.58
321	344.5	192.1	101.6	1.70
322	353.6	188.0	93.9	1.90
323	362.8	192.1	98.2	1.88
324	371.9	188.0	90.2	2.29
325	381.0	192.1	93.3	2.47
326	390.2	188.0	85.0	3.14
327	399.3	192.1	87.2	3.74
328	408.4	188.0	85.5	4.31
329	43.0	196.3	157.4	9.18
330	52.2	200.5	160.9	6.58
331	61.3	196.3	159.2	4.76
332	70.4	200.5	162.0	4.27
333	79.6	196.3	156.4	3.94
334	88.7	200.5	162.3	3.44
335	97.9	196.3	155.4	3.38
336	107.0	200.5	161.1	3.88
337	116.1	196.3	152.7	2.97
338	125.3	200.5	156.5	2.57
339	134.4	196.3	151.6	2.40
340	143.5	200.5	147.8	2.58
341	152.7	196.3	142.8	2.49
342	161.8	200.5	146.0	2.50

343	170.9	196.3	141.0	2.60
344	180.1	200.5	144.2	2.74
345	189.2	196.3	139.2	2.64
346	198.3	200.5	142.5	2.34
347	207.5	196.3	137.4	2.14
348	216.6	200.5	140.7	1.97
349	225.7	196.3	135.6	1.87
350	234.9	200.5	138.9	1.99
351	244.0	196.3	125.3	2.06
352	253.1	200.5	128.4	2.13
353	262.3	196.3	123.3	2.22
354	271.4	200.5	126.4	2.30
355	280.6	196.3	121.2	2.34
356	289.7	200.5	124.3	2.21
357	298.8	196.3	117.9	2.16
358	308.0	200.5	118.0	2.17
359	317.1	196.3	110.6	2.06
360	326.2	200.5	117.1	1.63
361	335.4	196.3	109.4	1.63
362	344.5	200.5	108.4	1.80
363	353.6	196.3	106.3	1.92
364	362.8	200.5	104.9	2.03
365	371.9	196.3	101.6	2.00
366	381.0	200.5	99.9	2.74
367	390.2	196.3	95.6	2.99
368	399.3	200.5	97.4	3.80
369	408.4	196.3	95.3	4.11
370	43.0	204.6	165.4	9.03
371	52.2	208.8	171.6	5.65
372	61.3	204.6	167.1	4.80
373	70.4	208.8	169.8	4.31
374	79.6	204.6	164.1	3.99
375	88.7	208.8	170.0	3.45
376	97.9	204.6	163.1	3.45
377	107.0	208.8	168.7	3.14
378	116.1	204.6	160.3	3.01
379	125.3	208.8	164.8	2.54
380	134.4	204.6	159.9	2.39
381	143.5	208.8	156.1	2.59
382	152.7	204.6	151.1	2.50
383	161.8	208.8	154.3	2.53
384	170.9	204.6	149.3	2.63
385	180.1	208.8	152.5	2.70
386	189.2	204.6	147.5	2.56
387	198.3	208.8	150.7	2.28
388	207.5	204.6	145.7	2.10
389	216.6	208.8	148.9	1.94
390	225.7	204.6	143.9	1.86
391	234.9	208.8	147.2	1.96
392	244.0	204.6	133.6	2.08
393	253.1	208.8	136.7	2.14
394	262.3	204.6	131.5	2.23
395	271.4	208.8	134.6	2.29
396	280.6	204.6	129.5	2.31
397	289.7	208.8	131.6	2.27
398	298.8	204.6	125.1	2.20
399	308.0	208.8	125.1	2.25
400	317.1	204.6	117.7	2.05
401	326.2	208.8	123.9	1.67
402	335.4	204.6	116.2	1.69
403	344.5	208.8	115.4	1.92
404	353.6	204.6	112.9	1.73

405	362.8	208.8	116.4	2.08
406	371.9	204.6	108.1	2.16
407	381.0	208.8	110.6	2.60
408	390.2	204.6	102.3	3.31
409	399.3	208.8	104.2	3.85
410	408.4	204.6	102.0	4.22
411	43.0	212.9	173.5	8.86
412	61.3	212.9	174.9	4.83
413	79.6	212.9	176.0	4.03
414	97.9	212.9	170.8	3.53
415	116.1	212.9	168.0	3.05
416	134.4	212.9	168.2	2.38
417	152.7	212.9	159.3	2.51
418	170.9	212.9	157.5	2.65
419	189.2	212.9	155.7	2.53
420	207.5	212.9	154.0	2.06
421	225.7	212.9	152.2	1.86
422	244.0	212.9	141.8	2.09
423	262.3	212.9	139.8	2.27
424	280.6	212.9	137.7	2.26
425	298.8	212.9	132.3	2.29
426	317.1	212.9	131.7	1.69
427	335.4	212.9	123.1	1.75
428	353.6	212.9	119.7	1.85
429	371.9	212.9	114.9	2.37
430	390.2	212.9	112.6	3.37
431	408.4	212.9	106.0	4.76

## NIL2-PSEUDOSTATICA

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

Calcolo eseguito secondo	[A2+M2+R2]
Numero di strati	3.0
Numero dei conci	10.0
Grado di sicurezza ritenuto accettabile	1.0
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	43.04 m
Ordinata vertice sinistro inferiore yi	129.73 m
Ascissa vertice destro superiore xs	408.44 m
Ordinata vertice destro superiore ys	212.95 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	0.07
Coefficiente azione sismica verticale	0.035

### Vertici profilo

Nr	X (m)	y (m)
1	0.0	42.5
2	71.84	45.0
3	103.97	49.99
4	103.97	49.99
5	152.18	54.99
6	173.91	59.99
7	193.08	64.99
8	237.31	69.99
9	252.63	74.98
10	269.23	79.98
11	294.55	84.98
12	326.48	89.98
13	347.56	94.98
14	362.36	99.98
15	375.33	104.08
16	406.5	109.98
17	441.95	114.97
18	470.62	119.97

**Falda**

Nr.	X (m)	y (m)
1	0.0	37.49
2	71.84	39.99
3	103.97	44.98
4	103.97	44.98
5	152.18	49.98
6	173.91	54.98
7	193.08	59.98
8	237.31	64.98
9	252.63	69.97
10	269.23	74.97
11	294.55	79.97
12	326.48	84.97
13	347.56	89.97
14	362.36	94.97
15	375.33	98.97
16	406.5	104.97
17	441.95	109.96
18	470.62	114.96

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

N	X (m)	y (m)
1	0.0	42.5
2	31.14	43.58
3	61.7	39.45
4	86.57	38.7
5	106.35	39.15
6	153.9	44.61
7	179.69	50.75
8	198.36	53.44
9	237.31	58.98
10	258.18	63.72
11	297.01	71.97
12	328.51	79.67
13	328.51	79.67
14	350.45	84.87
15	366.41	89.54
16	375.33	92.47

17	408.07	99.59
18	421.98	105.89
19	433.74	113.82
20	441.95	114.97
21	470.62	119.97

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

N	X (m)	y (m)
1	0.0	30.0
2	82.89	36.45
3	106.35	39.15
4	153.9	44.61
5	179.69	50.75
6	237.31	58.98
7	297.01	71.97
8	328.51	79.67
9	350.45	84.87
10	366.41	89.54
11	375.33	92.47
12	408.07	99.59
13	421.98	105.89
14	433.74	113.82
15	441.95	114.97
16	470.62	119.97

**Coefficienti parziali azioni**

Sfavorevoli: Permanenti, variabili	1.0	1.0
Favorevoli: Permanenti, variabili	1.0	1.0

**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	0.06		23	2000	2100	Frana quiescente
2	0.06		23	2000	2100	Frana quiescente
3	0.15		32	2100	2200	Substrato (MOV)

**Risultati analisi pendio [[A2+M2+R2]]**

Fs minimo individuato	1.17
Ascissa centro superficie	344.5 m
Ordinata centro superficie	175.5 m
Raggio superficie	88.28 m

**Numero di superfici esaminate....(431)**

N°	Xo	Yo	Ro	Fs
1	43.0	129.7	94.6	3.68
2	52.2	133.9	98.8	3.07
3	61.3	129.7	91.1	3.13
4	70.4	133.9	97.5	2.41
5	79.6	129.7	91.6	2.27
6	88.7	133.9	91.8	2.36
7	97.9	129.7	88.5	2.23
8	107.0	133.9	91.9	2.30
9	116.1	129.7	87.0	2.29
10	125.3	133.9	90.3	2.11
11	134.4	129.7	85.4	1.93
12	143.5	133.9	88.8	1.63
13	152.7	129.7	76.7	1.82
14	161.8	133.9	79.9	1.70
15	170.9	129.7	74.9	1.68
16	180.1	133.9	78.1	1.77
17	189.2	129.7	73.1	1.90
18	198.3	133.9	76.3	2.08
19	207.5	129.7	71.3	2.06
20	216.6	133.9	74.6	1.77
21	225.7	129.7	69.5	1.51
22	234.9	133.9	72.8	1.31
23	244.0	129.7	67.7	1.49
24	253.1	133.9	71.0	1.77
25	262.3	129.7	66.0	2.01
26	271.4	133.9	60.3	1.63
27	280.6	129.7	55.2	1.74
28	289.7	133.9	58.3	1.83
29	298.8	129.7	53.1	1.82
30	308.0	133.9	56.2	1.72
31	317.1	129.7	50.5	1.67
32	326.2	133.9	52.7	1.43
33	335.4	129.7	46.5	1.31
34	344.5	133.9	47.4	1.21
35	353.6	129.7	49.7	2.38
36	362.8	133.9	47.9	2.10
37	371.9	129.7	40.3	2.29
38	381.0	133.9	46.0	2.82
39	390.2	129.7	38.0	2.99
40	399.3	133.9	41.6	3.44
41	408.4	129.7	33.3	3.47
42	43.0	138.0	102.2	3.73
43	52.2	142.2	106.3	3.12
44	61.3	138.0	102.3	2.67
45	70.4	142.2	104.8	2.47
46	79.6	138.0	98.9	2.33
47	88.7	142.2	99.2	2.47
48	97.9	138.0	96.8	2.26
49	107.0	142.2	100.1	2.28
50	116.1	138.0	95.2	2.24
51	125.3	142.2	98.6	2.03
52	134.4	138.0	93.7	1.86
53	143.5	142.2	97.1	1.60
54	152.7	138.0	84.9	1.78
55	161.8	142.2	88.2	1.69
56	170.9	138.0	83.1	1.70
57	180.1	142.2	86.4	1.79
58	189.2	138.0	81.4	1.91
59	198.3	142.2	84.6	2.02
60	207.5	138.0	79.6	1.96

61	216.6	142.2	82.8	1.67
62	225.7	138.0	77.8	1.46
63	234.9	142.2	81.0	1.30
64	244.0	138.0	76.0	1.49
65	253.1	142.2	70.6	1.51
66	262.3	138.0	65.5	1.55
67	271.4	142.2	68.6	1.63
68	280.6	138.0	63.4	1.72
69	289.7	142.2	66.5	1.79
70	298.8	138.0	61.4	1.77
71	308.0	142.2	64.5	1.65
72	317.1	138.0	58.6	1.58
73	326.2	142.2	60.8	1.36
74	335.4	138.0	54.5	1.25
75	344.5	142.2	53.9	1.24
76	353.6	138.0	55.5	2.18
77	362.8	142.2	53.9	2.00
78	371.9	138.0	46.2	1.89
79	381.0	142.2	51.4	2.54
80	390.2	138.0	43.4	2.75
81	399.3	142.2	46.6	3.13
82	408.4	138.0	38.2	3.14
83	43.0	146.4	109.9	3.79
84	52.2	150.5	113.9	3.17
85	61.3	146.4	109.7	2.72
86	70.4	150.5	112.2	2.53
87	79.6	146.4	106.3	2.39
88	88.7	150.5	112.2	2.13
89	97.9	146.4	104.6	2.27
90	107.0	150.5	108.4	2.25
91	116.1	146.4	103.5	2.19
92	125.3	150.5	106.9	1.96
93	134.4	146.4	102.0	1.79
94	143.5	150.5	105.3	1.58
95	152.7	146.4	93.2	1.77
96	161.8	150.5	96.4	1.70
97	170.9	146.4	91.4	1.71
98	180.1	150.5	94.7	1.80
99	189.2	146.4	89.6	1.91
100	198.3	150.5	92.9	1.97
101	207.5	146.4	87.8	1.86
102	216.6	150.5	91.1	1.60
103	225.7	146.4	86.1	1.42
104	234.9	150.5	89.3	1.29
105	244.0	146.4	84.3	1.58
106	253.1	150.5	78.9	1.51
107	262.3	146.4	73.7	1.55
108	271.4	150.5	76.8	1.62
109	280.6	146.4	71.7	1.71
110	289.7	150.5	74.8	1.74
111	298.8	146.4	69.6	1.72
112	308.0	150.5	72.6	1.58
113	317.1	146.4	66.7	1.50
114	326.2	150.5	68.7	1.32
115	335.4	146.4	61.3	1.26
116	344.5	150.5	60.6	1.29
117	353.6	146.4	61.5	2.03
118	362.8	150.5	60.0	1.60
119	371.9	146.4	52.3	1.42
120	381.0	150.5	57.1	2.13
121	390.2	146.4	49.0	1.72
122	399.3	150.5	52.0	2.59

123	408.4	146.4	48.3	3.16
124	43.0	154.7	115.1	4.76
125	52.2	158.9	124.6	3.13
126	61.3	154.7	117.2	2.78
127	70.4	158.9	119.7	2.59
128	79.6	154.7	113.7	2.46
129	88.7	158.9	119.5	2.17
130	97.9	154.7	112.0	2.37
131	107.0	158.9	116.7	2.22
132	116.1	154.7	111.8	2.14
133	125.3	158.9	115.1	1.91
134	134.4	154.7	110.2	1.74
135	143.5	158.9	113.6	1.85
136	152.7	154.7	101.5	1.77
137	161.8	158.9	104.7	1.71
138	170.9	154.7	99.7	1.72
139	180.1	158.9	102.9	1.82
140	189.2	154.7	97.9	1.93
141	198.3	158.9	101.1	1.90
142	207.5	154.7	96.1	1.77
143	216.6	158.9	99.3	1.55
144	225.7	154.7	94.3	1.40
145	234.9	158.9	97.6	1.28
146	244.0	154.7	92.5	1.56
147	253.1	158.9	87.1	1.52
148	262.3	154.7	82.0	1.56
149	271.4	158.9	85.1	1.62
150	280.6	154.7	79.9	1.70
151	289.7	158.9	83.0	1.72
152	298.8	154.7	77.9	1.68
153	308.0	158.9	80.7	1.53
154	317.1	154.7	74.8	1.44
155	326.2	158.9	75.4	1.33
156	335.4	154.7	68.0	1.29
157	344.5	158.9	67.4	1.36
158	353.6	154.7	67.7	1.62
159	362.8	158.9	66.3	1.31
160	371.9	154.7	58.5	1.52
161	381.0	158.9	63.0	1.58
162	390.2	154.7	54.9	1.86
163	399.3	158.9	57.7	2.25
164	408.4	154.7	53.7	2.95
165	43.0	163.0	123.0	4.84
166	52.2	167.2	132.3	2.82
167	61.3	163.0	124.9	2.84
168	70.4	167.2	131.3	2.63
169	79.6	163.0	125.9	2.21
170	88.7	167.2	127.0	2.23
171	97.9	163.0	119.5	2.48
172	107.0	167.2	124.8	2.21
173	116.1	163.0	120.0	2.09
174	125.3	167.2	123.4	1.86
175	134.4	163.0	118.5	1.71
176	143.5	167.2	114.8	1.92
177	152.7	163.0	109.7	1.77
178	161.8	167.2	113.0	1.72
179	170.9	163.0	107.9	1.73
180	180.1	167.2	111.2	1.83
181	189.2	163.0	106.2	1.92
182	198.3	167.2	109.4	1.84
183	207.5	163.0	104.4	1.71
184	216.6	167.2	107.6	1.51

185	225.7	163.0	102.6	1.37
186	234.9	167.2	105.8	1.27
187	244.0	163.0	92.3	1.51
188	253.1	167.2	95.4	1.53
189	262.3	163.0	90.2	1.56
190	271.4	167.2	93.3	1.62
191	280.6	163.0	88.2	1.68
192	289.7	167.2	91.3	1.69
193	298.8	163.0	86.1	1.63
194	308.0	167.2	88.8	1.48
195	317.1	163.0	82.7	1.39
196	326.2	167.2	82.2	1.36
197	335.4	163.0	74.8	1.33
198	344.5	167.2	81.8	1.60
199	353.6	163.0	74.0	1.33
200	362.8	167.2	72.8	1.39
201	371.9	163.0	65.0	1.68
202	381.0	167.2	69.2	1.66
203	390.2	163.0	66.1	2.37
204	399.3	167.2	63.8	2.20
205	408.4	163.0	59.5	2.83
206	43.0	171.3	133.4	3.97
207	52.2	175.5	140.0	2.85
208	61.3	171.3	135.9	2.53
209	70.4	175.5	138.9	2.37
210	79.6	171.3	133.4	2.25
211	88.7	175.5	134.6	2.28
212	97.9	171.3	132.8	2.52
213	107.0	175.5	132.3	2.28
214	116.1	171.3	128.3	2.04
215	125.3	175.5	131.7	1.81
216	134.4	171.3	126.8	1.68
217	143.5	175.5	123.0	1.90
218	152.7	171.3	118.0	1.78
219	161.8	175.5	121.2	1.73
220	170.9	171.3	116.2	1.75
221	180.1	175.5	119.4	1.84
222	189.2	171.3	114.4	1.90
223	198.3	175.5	117.7	1.78
224	207.5	171.3	112.6	1.64
225	216.6	175.5	115.9	1.47
226	225.7	171.3	110.9	1.36
227	234.9	175.5	114.1	1.27
228	244.0	171.3	100.5	1.52
229	253.1	175.5	103.6	1.53
230	262.3	171.3	98.5	1.56
231	271.4	175.5	101.6	1.62
232	280.6	171.3	96.4	1.67
233	289.7	175.5	99.6	1.66
234	298.8	171.3	94.4	1.57
235	308.0	175.5	96.7	1.45
236	317.1	171.3	89.7	1.43
237	326.2	175.5	89.1	1.41
238	335.4	171.3	81.7	1.39
239	344.5	175.5	88.3	1.17
240	353.6	171.3	80.5	1.24
241	362.8	175.5	79.4	1.53
242	371.9	171.3	77.3	1.39
243	381.0	175.5	75.6	1.84
244	390.2	171.3	72.2	1.82
245	399.3	175.5	74.2	2.41
246	408.4	171.3	69.4	2.88

247	43.0	179.7	141.4	4.00
248	52.2	183.8	145.0	3.39
249	61.3	179.7	143.6	2.57
250	70.4	183.8	146.5	2.40
251	79.6	179.7	141.0	2.29
252	88.7	183.8	142.2	2.34
253	97.9	179.7	140.3	2.02
254	107.0	183.8	139.9	2.36
255	116.1	179.7	136.6	1.98
256	125.3	183.8	140.0	1.77
257	134.4	179.7	135.1	1.66
258	143.5	183.8	131.3	1.88
259	152.7	179.7	126.3	1.78
260	161.8	183.8	129.5	1.74
261	170.9	179.7	124.5	1.77
262	180.1	183.8	127.7	1.86
263	189.2	179.7	122.7	1.87
264	198.3	183.8	125.9	1.73
265	207.5	179.7	120.9	1.60
266	216.6	183.8	124.1	1.45
267	225.7	179.7	119.1	1.34
268	234.9	183.8	122.4	1.27
269	244.0	179.7	108.8	1.52
270	253.1	183.8	111.9	1.53
271	262.3	179.7	106.7	1.56
272	271.4	183.8	109.9	1.62
273	280.6	179.7	104.7	1.65
274	289.7	183.8	107.8	1.63
275	298.8	179.7	102.7	1.53
276	308.0	183.8	103.7	1.49
277	317.1	179.7	96.6	1.46
278	326.2	183.8	96.1	1.46
279	335.4	179.7	88.6	1.43
280	344.5	183.8	94.9	1.22
281	353.6	179.7	87.1	1.31
282	362.8	183.8	91.7	1.30
283	371.9	179.7	83.6	1.50
284	381.0	183.8	86.8	1.60
285	390.2	179.7	78.5	1.94
286	399.3	183.8	80.6	2.40
287	408.4	179.7	79.2	2.77
288	43.0	188.0	149.3	4.03
289	52.2	192.1	153.0	3.42
290	61.3	188.0	151.4	2.60
291	70.4	192.1	154.3	2.44
292	79.6	188.0	148.7	2.34
293	88.7	192.1	149.8	2.40
294	97.9	188.0	147.8	2.06
295	107.0	192.1	147.5	2.45
296	116.1	188.0	144.9	1.94
297	125.3	192.1	148.2	1.75
298	134.4	188.0	143.3	1.64
299	143.5	192.1	139.5	1.87
300	152.7	188.0	134.5	1.78
301	161.8	192.1	137.8	1.75
302	170.9	188.0	132.7	1.78
303	180.1	192.1	136.0	1.86
304	189.2	188.0	131.0	1.83
305	198.3	192.1	134.2	1.67
306	207.5	188.0	129.2	1.55
307	216.6	192.1	132.4	1.42
308	225.7	188.0	127.4	1.35

309	234.9	192.1	130.6	1.26
310	244.0	188.0	117.0	1.52
311	253.1	192.1	120.1	1.54
312	262.3	188.0	115.0	1.57
313	271.4	192.1	118.1	1.62
314	280.6	188.0	113.0	1.64
315	289.7	192.1	116.1	1.59
316	298.8	188.0	110.8	1.49
317	308.0	192.1	110.8	1.53
318	317.1	188.0	103.5	1.51
319	326.2	192.1	103.1	1.47
320	335.4	188.0	102.6	1.18
321	344.5	192.1	101.6	1.28
322	353.6	188.0	93.9	1.42
323	362.8	192.1	98.2	1.37
324	371.9	188.0	90.2	1.63
325	381.0	192.1	93.3	1.71
326	390.2	188.0	85.0	2.13
327	399.3	192.1	87.2	2.49
328	408.4	188.0	82.2	2.83
329	43.0	196.3	157.4	4.04
330	52.2	200.5	160.9	3.42
331	61.3	196.3	159.2	2.63
332	70.4	200.5	162.0	2.48
333	79.6	196.3	156.4	2.37
334	88.7	200.5	162.3	2.09
335	97.9	196.3	155.4	2.10
336	107.0	200.5	161.1	2.52
337	116.1	196.3	152.7	1.94
338	125.3	200.5	156.5	1.73
339	134.4	196.3	151.6	1.63
340	143.5	200.5	147.8	1.87
341	152.7	196.3	142.8	1.79
342	161.8	200.5	146.0	1.76
343	170.9	196.3	141.0	1.79
344	180.1	200.5	144.2	1.85
345	189.2	196.3	139.2	1.80
346	198.3	200.5	142.5	1.63
347	207.5	196.3	137.4	1.52
348	216.6	200.5	140.7	1.41
349	225.7	196.3	135.6	1.34
350	234.9	200.5	138.9	1.44
351	244.0	196.3	125.3	1.52
352	253.1	200.5	128.4	1.54
353	262.3	196.3	123.3	1.58
354	271.4	200.5	126.4	1.61
355	280.6	196.3	121.2	1.62
356	289.7	200.5	124.3	1.55
357	298.8	196.3	117.9	1.54
358	308.0	200.5	118.0	1.59
359	317.1	196.3	110.6	1.55
360	326.2	200.5	117.1	1.21
361	335.4	196.3	109.4	1.22
362	344.5	200.5	108.4	1.35
363	353.6	196.3	106.3	1.41
364	362.8	200.5	104.9	1.47
365	371.9	196.3	101.6	1.42
366	381.0	200.5	99.9	1.89
367	390.2	196.3	95.6	2.02
368	399.3	200.5	97.4	2.52
369	408.4	196.3	95.3	2.73
370	43.0	204.6	165.4	4.03

371	52.2	208.8	171.6	2.95
372	61.3	204.6	167.1	2.66
373	70.4	208.8	169.8	2.51
374	79.6	204.6	164.1	2.41
375	88.7	208.8	170.0	2.10
376	97.9	204.6	163.1	2.14
377	107.0	208.8	168.7	2.04
378	116.1	204.6	160.3	1.98
379	125.3	208.8	164.8	1.71
380	134.4	204.6	159.9	1.62
381	143.5	208.8	156.1	1.87
382	152.7	204.6	151.1	1.79
383	161.8	208.8	154.3	1.77
384	170.9	204.6	149.3	1.80
385	180.1	208.8	152.5	1.83
386	189.2	204.6	147.5	1.76
387	198.3	208.8	150.7	1.60
388	207.5	204.6	145.7	1.49
389	216.6	208.8	148.9	1.39
390	225.7	204.6	143.9	1.33
391	234.9	208.8	147.2	1.41
392	244.0	204.6	133.6	1.53
393	253.1	208.8	136.7	1.55
394	262.3	204.6	131.5	1.58
395	271.4	208.8	134.6	1.60
396	280.6	204.6	129.5	1.60
397	289.7	208.8	131.6	1.60
398	298.8	204.6	125.1	1.58
399	308.0	208.8	125.1	1.65
400	317.1	204.6	117.7	1.55
401	326.2	208.8	123.9	1.24
402	335.4	204.6	116.2	1.27
403	344.5	208.8	115.4	1.44
404	353.6	204.6	112.9	1.28
405	362.8	208.8	116.4	1.50
406	371.9	204.6	108.1	1.53
407	381.0	208.8	110.6	1.79
408	390.2	204.6	102.3	2.23
409	399.3	208.8	104.2	2.56
410	408.4	204.6	102.0	2.80
411	43.0	212.9	173.5	4.01
412	61.3	212.9	174.9	2.69
413	79.6	212.9	176.0	2.37
414	97.9	212.9	170.8	2.20
415	116.1	212.9	168.0	2.02
416	134.4	212.9	168.2	1.61
417	152.7	212.9	159.3	1.79
418	170.9	212.9	157.5	1.81
419	189.2	212.9	155.7	1.74
420	207.5	212.9	154.0	1.47
421	225.7	212.9	152.2	1.33
422	244.0	212.9	141.8	1.54
423	262.3	212.9	139.8	1.60
424	280.6	212.9	137.7	1.58
425	298.8	212.9	132.3	1.65
426	317.1	212.9	131.7	1.25
427	335.4	212.9	123.1	1.32
428	353.6	212.9	119.7	1.36
429	371.9	212.9	114.9	1.67
430	390.2	212.9	112.6	2.27
431	408.4	212.9	106.0	3.13

**NIL3-STATICA****Analisi di stabilità dei pendii con: BISHOP (1955)**

Calcolo eseguito secondo	[A2+M2+R2]
Numero di strati	3.0
Numero dei conci	10.0
Grado di sicurezza ritenuto accettabile	1.0
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	22.29 m
Ordinata vertice sinistro inferiore yi	148.0 m
Ascissa vertice destro superiore xs	386.27 m
Ordinata vertice destro superiore ys	233.78 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	42.5
2	22.28	47.5
3	66.64	52.5
4	97.85	57.49
5	128.47	62.49
6	143.47	67.49
7	159.26	72.49
8	177.16	77.49
9	201.72	82.49
10	228.92	87.49
11	256.17	92.48
12	301.22	97.48
13	330.12	102.48
14	344.59	107.48
15	360.24	112.48
16	387.49	117.48
17	399.31	122.48
18	410.29	127.48
19	419.04	132.47
20	427.01	137.47

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

N	X (m)	y (m)
1	0.0	42.5
2	22.28	47.5
3	61.34	43.69
4	99.71	46.19
5	131.23	51.29
6	179.86	66.3
7	218.67	74.94
8	257.48	83.57
9	268.73	84.82

10	291.24	87.32
11	332.37	93.74
12	382.51	110.73
13	410.29	127.48
14	410.29	127.48
15	419.04	132.47
16	427.01	137.47

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

N	X (m)	y (m)
1	0.0	30.27
2	99.71	46.19
3	99.71	46.19
4	131.23	51.29
5	179.86	66.3
6	218.67	74.94
7	257.48	83.57
8	268.73	84.82
9	291.24	87.32
10	332.37	93.74
11	382.51	110.73
12	382.51	110.73
13	410.29	127.48
14	410.29	127.48
15	419.04	132.47
16	427.01	137.47

**Coefficienti parziali azioni**

Sfavorevoli: Permanenti, variabili	1.0	1.0
Favorevoli: Permanenti, variabili	1.0	1.0

**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	2100	Frana
2	0.05		22	2000	2100	Frana
3	0.20		35	2100	2200	Substrato

**Risultati analisi pendio [[A2+M2+R2]]**

Fs minimo individuato	1.76
Ascissa centro superficie	131.49 m
Ordinata centro superficie	156.57 m
Raggio superficie	100.43 m

**Numero di superfici esaminate....(377)**

N°	Xo	Yo	Ro	Fs
----	----	----	----	----

---



---

1	40.5	148.0	109.6	3.49
2	49.6	152.3	109.0	3.65
3	58.7	148.0	103.2	3.42
4	67.8	152.3	104.6	3.23
5	76.9	148.0	102.7	3.01
6	86.0	152.3	102.7	2.79
7	95.1	148.0	100.6	2.38
8	104.2	152.3	98.3	2.13
9	113.3	148.0	93.3	1.91
10	122.4	152.3	96.9	1.78
11	131.5	148.0	91.9	1.76
12	140.6	152.3	95.5	2.61
13	149.7	148.0	90.5	2.89
14	158.8	152.3	94.1	3.25
15	167.9	148.0	81.0	2.13
16	177.0	152.3	84.5	2.28
17	186.1	148.0	78.9	2.98
18	195.2	152.3	81.2	3.36
19	204.3	148.0	74.8	3.13
20	213.4	152.3	76.6	2.68
21	222.5	148.0	79.6	5.04
22	231.6	152.3	81.7	5.26
23	240.7	148.0	75.6	5.61
24	249.8	152.3	139.5	5.96
25	258.9	148.0	71.6	6.35
26	268.0	152.3	117.2	6.11
27	277.1	148.0	134.4	6.00
28	286.2	152.3	120.4	5.81
29	295.3	148.0	69.9	5.51
30	304.4	152.3	67.2	4.44
31	313.5	148.0	59.2	3.52
32	322.6	152.3	64.7	3.66
33	331.7	148.0	56.4	3.41
34	340.8	152.3	59.7	3.44
35	349.9	148.0	57.8	3.78
36	359.0	152.3	58.2	3.50
37	368.1	148.0	49.0	3.57
38	40.5	156.6	114.3	3.65
39	49.6	160.9	120.8	3.43
40	58.7	156.6	111.2	3.39
41	67.8	160.9	117.3	3.18
42	76.9	156.6	110.5	2.94
43	86.0	160.9	110.6	2.74
44	95.1	156.6	108.3	2.31
45	104.2	160.9	106.6	2.06
46	113.3	156.6	101.8	1.87
47	122.4	160.9	105.4	1.76
48	131.5	156.6	100.4	1.76
49	140.6	160.9	104.0	2.62
50	149.7	156.6	99.0	2.95
51	158.8	160.9	94.6	1.99
52	167.9	156.6	89.6	2.13
53	177.0	160.9	93.0	2.49
54	186.1	156.6	87.3	3.23
55	195.2	160.9	89.5	3.12
56	204.3	156.6	83.0	3.03
57	213.4	160.9	84.9	2.67
58	222.5	156.6	78.4	2.79
59	231.6	160.9	90.0	5.24
60	240.7	156.6	83.9	5.72
61	249.8	160.9	148.0	5.59

62	258.9	156.6	132.9	5.89
63	268.0	160.9	114.7	5.86
64	277.1	156.6	96.7	5.94
65	286.2	160.9	73.3	3.71
66	295.3	156.6	84.8	5.25
67	304.4	160.9	72.6	3.48
68	313.5	156.6	64.5	2.15
69	322.6	160.9	69.5	3.11
70	331.7	156.6	68.3	3.60
71	340.8	160.9	70.4	3.42
72	349.9	156.6	61.4	3.46
73	359.0	160.9	66.8	3.19
74	368.1	156.6	57.1	3.13
75	40.5	165.2	125.8	3.42
76	49.6	169.4	128.9	3.40
77	58.7	165.2	119.2	3.36
78	67.8	169.4	125.2	3.11
79	76.9	165.2	118.4	2.87
80	86.0	169.4	118.5	2.64
81	95.1	165.2	116.1	2.21
82	104.2	169.4	114.5	2.00
83	113.3	165.2	110.4	1.83
84	122.4	169.4	113.9	1.77
85	131.5	165.2	109.0	1.88
86	140.6	169.4	112.5	2.86
87	149.7	165.2	107.6	2.92
88	158.8	169.4	103.2	2.03
89	167.9	165.2	98.1	2.14
90	177.0	169.4	101.5	2.42
91	186.1	165.2	95.7	3.21
92	195.2	169.4	97.7	2.79
93	204.3	165.2	91.3	2.94
94	213.4	169.4	93.1	2.65
95	222.5	165.2	86.7	2.79
96	231.6	169.4	88.5	2.94
97	240.7	165.2	92.1	5.67
98	249.8	169.4	156.6	5.26
99	258.9	165.2	152.0	5.17
100	268.0	169.4	151.7	5.41
101	277.1	165.2	142.3	5.41
102	286.2	169.4	88.7	5.15
103	295.3	165.2	80.6	4.72
104	304.4	169.4	78.2	2.39
105	313.5	165.2	77.9	3.64
106	322.6	169.4	74.7	1.87
107	331.7	165.2	72.8	3.37
108	340.8	169.4	74.7	3.21
109	349.9	165.2	71.0	3.27
110	359.0	169.4	70.5	3.05
111	368.1	165.2	60.8	3.05
112	31.4	178.0	136.2	3.55
113	40.5	173.7	134.1	3.41
114	49.6	178.0	137.0	3.37
115	58.7	173.7	131.4	3.30
116	67.8	178.0	133.2	3.04
117	76.9	173.7	126.3	2.81
118	86.0	178.0	132.1	2.34
119	95.1	173.7	123.9	2.16
120	104.2	178.0	122.5	1.96
121	113.3	173.7	118.9	1.83
122	122.4	178.0	122.5	1.78
123	131.5	173.7	117.5	2.16

124	140.6	178.0	121.1	2.71
125	149.7	173.7	108.2	1.90
126	158.8	178.0	111.7	2.04
127	167.9	173.7	106.6	2.14
128	177.0	178.0	109.9	2.80
129	186.1	173.7	104.1	3.20
130	195.2	178.0	105.9	2.77
131	204.3	173.7	99.5	2.58
132	213.4	178.0	101.3	2.67
133	222.5	173.7	94.9	2.80
134	231.6	178.0	96.7	2.96
135	240.7	173.7	151.0	5.42
136	249.8	178.0	165.1	4.98
137	258.9	173.7	160.5	4.91
138	268.0	178.0	154.3	5.24
139	277.1	173.7	87.3	3.80
140	286.2	178.0	103.1	5.06
141	295.3	173.7	86.3	4.16
142	304.4	178.0	91.6	3.81
143	313.5	173.7	83.1	3.20
144	322.6	178.0	86.5	3.22
145	331.7	173.7	77.7	2.74
146	340.8	178.0	79.5	3.06
147	349.9	173.7	80.3	3.10
148	359.0	178.0	75.0	2.93
149	31.4	186.6	144.6	3.53
150	40.5	182.3	139.1	3.58
151	49.6	186.6	145.2	3.33
152	58.7	182.3	139.5	3.27
153	67.8	186.6	141.3	2.96
154	76.9	182.3	134.3	2.74
155	86.0	186.6	140.1	2.28
156	95.1	182.3	131.9	2.10
157	104.2	186.6	130.6	1.92
158	113.3	182.3	127.5	1.81
159	122.4	186.6	131.0	1.78
160	131.5	182.3	126.1	2.16
161	140.6	186.6	129.6	2.94
162	149.7	182.3	116.8	1.91
163	158.8	186.6	120.2	2.05
164	167.9	182.3	115.2	2.15
165	177.0	186.6	118.3	2.81
166	186.1	182.3	112.3	2.81
167	195.2	186.6	114.1	2.76
168	204.3	182.3	107.7	2.58
169	213.4	186.6	109.5	2.69
170	222.5	182.3	103.1	2.82
171	231.6	186.6	104.9	2.99
172	240.7	182.3	159.5	5.19
173	249.8	186.6	173.5	4.73
174	258.9	182.3	163.9	4.73
175	268.0	186.6	101.5	4.60
176	277.1	182.3	93.6	3.90
177	286.2	186.6	100.4	4.54
178	295.3	182.3	92.2	2.73
179	304.4	186.6	97.1	3.36
180	313.5	182.3	88.6	1.96
181	322.6	186.6	91.8	2.34
182	331.7	182.3	88.6	3.18
183	340.8	186.6	89.5	3.03
184	349.9	182.3	80.1	2.99
185	31.4	195.2	153.0	3.51

186	40.5	190.9	147.4	3.56
187	49.6	195.2	153.4	3.32
188	58.7	190.9	147.6	3.23
189	67.8	195.2	149.4	2.90
190	76.9	190.9	142.3	2.67
191	86.0	195.2	148.0	2.22
192	95.1	190.9	139.8	2.06
193	104.2	195.2	138.6	1.89
194	113.3	190.9	135.5	1.79
195	122.4	195.2	139.6	1.78
196	131.5	190.9	134.6	2.64
197	140.6	195.2	130.4	1.84
198	149.7	190.9	125.3	1.93
199	158.8	195.2	128.8	2.06
200	167.9	190.9	123.7	2.16
201	177.0	195.2	126.7	2.82
202	186.1	190.9	120.6	2.85
203	195.2	195.2	122.4	2.49
204	204.3	190.9	115.9	2.58
205	213.4	195.2	117.8	2.70
206	222.5	190.9	111.3	2.84
207	231.6	195.2	113.2	3.02
208	240.7	190.9	168.0	4.98
209	249.8	195.2	176.5	4.64
210	258.9	190.9	166.8	5.05
211	268.0	195.2	108.0	3.81
212	277.1	190.9	142.3	5.02
213	286.2	195.2	106.5	3.09
214	295.3	190.9	98.3	2.77
215	304.4	195.2	102.9	2.14
216	313.5	190.9	100.6	3.37
217	322.6	195.2	97.4	1.80
218	331.7	190.9	93.8	2.76
219	340.8	195.2	94.8	2.78
220	349.9	190.9	89.6	2.78
221	31.4	203.8	161.4	3.50
222	40.5	199.5	158.9	3.33
223	49.6	203.8	161.6	3.30
224	58.7	199.5	155.7	3.16
225	67.8	203.8	157.5	2.84
226	76.9	199.5	150.4	2.60
227	86.0	203.8	156.1	2.18
228	95.1	199.5	147.9	2.02
229	104.2	203.8	146.7	1.86
230	113.3	199.5	143.5	1.79
231	122.4	203.8	148.1	1.80
232	131.5	199.5	143.1	2.46
233	140.6	203.8	138.9	1.86
234	149.7	199.5	133.8	1.96
235	158.8	203.8	137.3	2.07
236	167.9	199.5	132.2	2.16
237	177.0	203.8	135.1	2.82
238	186.1	199.5	128.8	2.66
239	195.2	203.8	130.6	2.50
240	204.3	199.5	124.2	2.59
241	213.4	203.8	126.0	2.71
242	222.5	199.5	119.6	2.87
243	231.6	203.8	121.4	3.05
244	240.7	199.5	176.0	4.79
245	249.8	203.8	179.9	4.56
246	258.9	199.5	115.9	4.83
247	268.0	203.8	164.1	4.83

248	277.1	199.5	114.7	4.76
249	286.2	203.8	112.8	3.19
250	295.3	199.5	111.4	3.39
251	304.4	203.8	108.9	2.07
252	313.5	199.5	106.2	1.96
253	322.6	203.8	108.4	2.58
254	331.7	199.5	104.1	3.10
255	340.8	203.8	104.6	2.89
256	22.3	208.0	164.4	3.76
257	31.4	212.3	169.8	3.48
258	40.5	208.0	164.1	3.51
259	49.6	212.3	169.9	3.29
260	58.7	208.0	163.9	3.10
261	67.8	212.3	165.7	2.77
262	76.9	208.0	163.4	2.37
263	86.0	212.3	164.1	2.14
264	95.1	208.0	155.9	1.99
265	104.2	212.3	154.9	1.83
266	113.3	208.0	151.6	1.79
267	122.4	212.3	156.5	1.80
268	131.5	208.0	151.7	2.49
269	140.6	212.3	147.5	1.88
270	149.7	208.0	142.4	1.98
271	158.8	212.3	145.8	2.08
272	167.9	208.0	140.8	2.16
273	177.0	212.3	143.4	2.63
274	186.1	208.0	137.0	2.38
275	195.2	212.3	138.8	2.50
276	204.3	208.0	132.4	2.61
277	213.4	212.3	134.2	2.73
278	222.5	208.0	127.8	2.90
279	231.6	212.3	129.5	3.07
280	240.7	208.0	189.6	4.21
281	249.8	212.3	165.8	4.87
282	258.9	208.0	122.5	3.64
283	268.0	212.3	168.0	4.74
284	277.1	208.0	120.9	3.32
285	286.2	212.3	125.9	3.87
286	295.3	208.0	117.4	2.36
287	304.4	212.3	120.8	2.09
288	313.5	208.0	112.0	1.88
289	322.6	212.3	114.2	1.83
290	331.7	208.0	109.7	2.84
291	22.3	216.6	172.9	3.75
292	31.4	220.9	178.3	3.48
293	40.5	216.6	172.4	3.49
294	49.6	220.9	178.2	3.26
295	58.7	216.6	172.2	3.02
296	67.8	220.9	173.9	2.69
297	76.9	216.6	171.5	2.31
298	86.0	220.9	172.2	2.10
299	95.1	216.6	164.0	1.96
300	104.2	220.9	163.1	1.81
301	113.3	216.6	159.7	1.77
302	122.4	220.9	164.6	1.80
303	131.5	216.6	152.5	1.81
304	140.6	220.9	156.0	1.90
305	149.7	216.6	150.9	1.99
306	158.8	220.9	154.4	2.09
307	167.9	216.6	149.3	2.17
308	177.0	220.9	151.6	2.68
309	186.1	216.6	145.2	2.39

310	195.2	220.9	147.0	2.51
311	204.3	216.6	140.6	2.62
312	213.4	220.9	142.4	2.75
313	222.5	216.6	136.0	2.92
314	231.6	220.9	136.7	3.15
315	240.7	216.6	184.1	4.64
316	249.8	220.9	137.1	3.43
317	258.9	216.6	129.2	3.82
318	268.0	220.9	135.5	3.84
319	277.1	216.6	127.4	3.53
320	286.2	220.9	132.1	2.69
321	295.3	216.6	123.6	2.34
322	304.4	220.9	126.9	2.00
323	313.5	216.6	123.2	2.66
324	322.6	220.9	124.7	2.69
325	331.7	216.6	115.5	1.84
326	31.4	229.5	186.7	3.45
327	40.5	225.2	184.0	3.26
328	49.6	229.5	186.6	3.19
329	58.7	225.2	180.4	2.95
330	67.8	229.5	182.1	2.60
331	76.9	225.2	179.6	2.26
332	86.0	229.5	180.4	2.06
333	95.1	225.2	172.2	1.93
334	104.2	229.5	171.3	1.79
335	113.3	225.2	167.9	1.77
336	122.4	229.5	172.7	1.80
337	131.5	225.2	161.1	1.83
338	140.6	229.5	164.5	1.91
339	149.7	225.2	159.5	2.00
340	158.8	229.5	162.9	2.11
341	167.9	225.2	157.8	2.39
342	177.0	229.5	159.9	2.30
343	186.1	225.2	153.5	2.41
344	195.2	229.5	155.3	2.53
345	204.3	225.2	148.9	2.63
346	213.4	229.5	150.7	2.77
347	222.5	225.2	144.2	2.92
348	231.6	229.5	198.0	4.24
349	240.7	225.2	197.2	4.39
350	249.8	229.5	144.0	3.60
351	258.9	225.2	182.0	4.65
352	268.0	229.5	142.1	3.62
353	277.1	225.2	133.9	3.81
354	286.2	229.5	138.4	2.66
355	295.3	225.2	135.6	2.27
356	304.4	229.5	133.1	1.94
357	313.5	225.2	129.2	1.89
358	322.6	229.5	130.8	1.84
359	331.7	225.2	125.6	2.77
360	22.3	233.8	189.9	3.72
361	40.5	233.8	192.4	3.24
362	58.7	233.8	188.7	2.88
363	76.9	233.8	187.8	2.23
364	95.1	233.8	180.4	1.91
365	113.3	233.8	176.0	1.77
366	131.5	233.8	169.6	1.85
367	149.7	233.8	168.0	2.01
368	167.9	233.8	166.2	2.43
369	186.1	233.8	161.7	2.42
370	204.3	233.8	157.1	2.65
371	222.5	233.8	151.4	2.97

372	240.7	233.8	151.8	3.91
373	258.9	233.8	164.8	4.47
374	277.1	233.8	146.9	2.84
375	295.3	233.8	141.8	2.20
376	313.5	233.8	135.4	1.84
377	331.7	233.8	131.8	2.03

### NIL3-PSEUDOSTATICA

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

Calcolo eseguito secondo	[A2+M2+R2]
Numero di strati	3.0
Numero dei conci	10.0
Grado di sicurezza ritenuto accettabile	1.0
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	22.29 m
Ordinata vertice sinistro inferiore yi	148.0 m
Ascissa vertice destro superiore xs	386.27 m
Ordinata vertice destro superiore ys	233.78 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	0.0712
Coefficiente azione sismica verticale	0.0356

#### Vertici profilo

Nr	X (m)	y (m)
1	0.0	42.5
2	22.28	47.5
3	66.64	52.5
4	97.85	57.49
5	128.47	62.49
6	143.47	67.49
7	159.26	72.49
8	177.16	77.49
9	201.72	82.49
10	228.92	87.49
11	256.17	92.48
12	301.22	97.48
13	330.12	102.48
14	344.59	107.48
15	360.24	112.48
16	387.49	117.48
17	399.31	122.48
18	410.29	127.48
19	419.04	132.47

20	427.01	137.47
----	--------	--------

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

N	X (m)	y (m)
1	0.0	42.5
2	22.28	47.5
3	61.34	43.69
4	99.71	46.19
5	131.23	51.29
6	179.86	66.3
7	218.67	74.94
8	257.48	83.57
9	268.73	84.82
10	291.24	87.32
11	332.37	93.74
12	382.51	110.73
13	410.29	127.48
14	410.29	127.48
15	419.04	132.47
16	427.01	137.47

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

N	X (m)	y (m)
1	0.0	30.27
2	99.71	46.19
3	99.71	46.19
4	131.23	51.29
5	179.86	66.3
6	218.67	74.94
7	257.48	83.57
8	268.73	84.82
9	291.24	87.32
10	332.37	93.74
11	382.51	110.73
12	382.51	110.73
13	410.29	127.48
14	410.29	127.48
15	419.04	132.47
16	427.01	137.47

**Coefficienti parziali azioni**

Sfavorevoli: Permanenti, variabili	1.0	1.0
Favorevoli: Permanenti, variabili	1.0	1.0

**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	2100	Frana
2	0.05		22	2000	2100	Frana

3	0.20		35	2100	2200	Substrato	
---	------	--	----	------	------	-----------	--

### Risultati analisi pendio [[A2+M2+R2]]

Fs minimo individuato	1.32
Ascissa centro superficie	131.49 m
Ordinata centro superficie	156.57 m
Raggio superficie	100.43 m

### Numero di superfici esaminate....(377)

N°	Xo	Yo	Ro	Fs
1	40.5	148.0	109.6	2.19
2	49.6	152.3	109.0	2.27
3	58.7	148.0	103.2	2.18
4	67.8	152.3	109.5	2.08
5	76.9	148.0	102.7	1.99
6	86.0	152.3	102.7	1.90
7	95.1	148.0	100.6	1.68
8	104.2	152.3	98.3	1.56
9	113.3	148.0	93.3	1.42
10	122.4	152.3	96.9	1.33
11	131.5	148.0	91.9	1.32
12	140.6	152.3	95.5	1.95
13	149.7	148.0	90.5	2.14
14	158.8	152.3	94.1	2.37
15	167.9	148.0	81.0	1.54
16	177.0	152.3	84.5	1.62
17	186.1	148.0	78.9	2.09
18	195.2	152.3	81.2	2.33
19	204.3	148.0	74.8	2.15
20	213.4	152.3	76.6	1.83
21	222.5	148.0	79.6	3.34
22	231.6	152.3	81.7	3.44
23	240.7	148.0	75.6	3.60
24	249.8	152.3	77.7	3.79
25	258.9	148.0	71.6	3.91
26	268.0	152.3	95.4	3.98
27	277.1	148.0	67.5	4.01
28	286.2	152.3	67.2	3.71
29	295.3	148.0	69.9	3.59
30	304.4	152.3	67.2	3.07
31	313.5	148.0	59.2	2.52
32	322.6	152.3	64.7	2.66
33	331.7	148.0	56.4	2.52
34	340.8	152.3	59.7	2.53
35	349.9	148.0	57.8	2.76
36	359.0	152.3	58.2	2.58
37	368.1	148.0	49.0	2.63
38	40.5	156.6	114.3	2.27
39	49.6	160.9	120.8	2.16
40	58.7	156.6	111.2	2.17
41	67.8	160.9	117.3	2.06
42	76.9	156.6	110.5	1.96
43	86.0	160.9	110.6	1.88
44	95.1	156.6	108.3	1.64
45	104.2	160.9	106.6	1.52
46	113.3	156.6	101.8	1.40
47	122.4	160.9	105.4	1.32

48	131.5	156.6	100.4	1.32
49	140.6	160.9	104.0	1.95
50	149.7	156.6	99.0	2.18
51	158.8	160.9	94.6	1.46
52	167.9	156.6	89.6	1.54
53	177.0	160.9	93.0	1.77
54	186.1	156.6	87.3	2.26
55	195.2	160.9	89.5	2.16
56	204.3	156.6	83.0	2.08
57	213.4	160.9	84.9	1.82
58	222.5	156.6	78.4	1.89
59	231.6	160.9	90.0	3.42
60	240.7	156.6	83.9	3.64
61	249.8	160.9	86.0	3.73
62	258.9	156.6	79.8	3.76
63	268.0	160.9	114.7	3.84
64	277.1	156.6	96.7	3.85
65	286.2	160.9	73.3	2.31
66	295.3	156.6	75.2	3.49
67	304.4	160.9	72.6	2.44
68	313.5	156.6	64.5	1.57
69	322.6	160.9	69.5	2.29
70	331.7	156.6	68.3	2.62
71	340.8	160.9	70.4	2.51
72	349.9	156.6	61.4	2.55
73	359.0	160.9	66.8	2.40
74	368.1	156.6	57.1	2.35
75	40.5	165.2	125.8	2.16
76	49.6	169.4	128.9	2.15
77	58.7	165.2	123.4	2.15
78	67.8	169.4	125.2	2.03
79	76.9	165.2	118.4	1.93
80	86.0	169.4	118.5	1.83
81	95.1	165.2	116.1	1.58
82	104.2	169.4	114.5	1.48
83	113.3	165.2	110.4	1.37
84	122.4	169.4	113.9	1.33
85	131.5	165.2	109.0	1.41
86	140.6	169.4	112.5	2.12
87	149.7	165.2	107.6	2.15
88	158.8	169.4	103.2	1.48
89	167.9	165.2	98.1	1.54
90	177.0	169.4	101.5	1.72
91	186.1	165.2	95.7	2.25
92	195.2	169.4	97.7	1.93
93	204.3	165.2	91.3	2.02
94	213.4	169.4	93.1	1.82
95	222.5	165.2	86.7	1.89
96	231.6	169.4	88.5	1.96
97	240.7	165.2	92.1	3.61
98	249.8	169.4	156.6	3.59
99	258.9	165.2	152.0	3.56
100	268.0	169.4	151.7	3.68
101	277.1	165.2	81.0	3.61
102	286.2	169.4	88.7	3.35
103	295.3	165.2	80.6	3.17
104	304.4	169.4	78.2	1.70
105	313.5	165.2	77.9	2.62
106	322.6	169.4	74.7	1.39
107	331.7	165.2	72.8	2.48
108	340.8	169.4	74.7	2.36
109	349.9	165.2	71.0	2.44

110	359.0	169.4	70.5	2.30
111	368.1	165.2	60.8	2.32
112	31.4	178.0	136.2	2.23
113	40.5	173.7	134.1	2.15
114	49.6	178.0	137.0	2.13
115	58.7	173.7	131.4	2.11
116	67.8	178.0	133.2	2.00
117	76.9	173.7	126.3	1.90
118	86.0	178.0	132.1	1.65
119	95.1	173.7	123.9	1.56
120	104.2	178.0	122.5	1.46
121	113.3	173.7	118.9	1.37
122	122.4	178.0	122.5	1.33
123	131.5	173.7	117.5	1.61
124	140.6	178.0	121.1	2.01
125	149.7	173.7	108.2	1.41
126	158.8	178.0	111.7	1.49
127	167.9	173.7	106.6	1.54
128	177.0	178.0	109.9	1.98
129	186.1	173.7	104.1	2.24
130	195.2	178.0	105.9	1.92
131	204.3	173.7	99.5	1.77
132	213.4	178.0	101.3	1.82
133	222.5	173.7	94.9	1.89
134	231.6	178.0	96.7	1.97
135	240.7	173.7	100.4	3.58
136	249.8	178.0	165.1	3.44
137	258.9	173.7	160.5	3.43
138	268.0	178.0	95.1	3.56
139	277.1	173.7	87.3	2.33
140	286.2	178.0	94.5	3.33
141	295.3	173.7	86.3	2.82
142	304.4	178.0	91.6	2.70
143	313.5	173.7	83.1	2.34
144	322.6	178.0	86.5	2.37
145	331.7	173.7	77.7	2.03
146	340.8	178.0	79.5	2.27
147	349.9	173.7	80.3	2.33
148	359.0	178.0	75.0	2.22
149	31.4	186.6	144.6	2.22
150	40.5	182.3	139.1	2.24
151	49.6	186.6	145.2	2.12
152	58.7	182.3	139.5	2.10
153	67.8	186.6	141.3	1.97
154	76.9	182.3	134.3	1.87
155	86.0	186.6	140.1	1.62
156	95.1	182.3	131.9	1.53
157	104.2	186.6	130.6	1.44
158	113.3	182.3	127.5	1.36
159	122.4	186.6	131.0	1.33
160	131.5	182.3	126.1	1.61
161	140.6	186.6	129.6	2.18
162	149.7	182.3	116.8	1.41
163	158.8	186.6	120.2	1.49
164	167.9	182.3	115.2	1.55
165	177.0	186.6	118.3	1.99
166	186.1	182.3	112.3	1.97
167	195.2	186.6	114.1	1.92
168	204.3	182.3	107.7	1.77
169	213.4	186.6	109.5	1.83
170	222.5	182.3	103.1	1.90
171	231.6	186.6	104.9	1.98

172	240.7	182.3	159.5	3.51
173	249.8	186.6	173.5	3.31
174	258.9	182.3	163.9	3.31
175	268.0	186.6	101.5	2.84
176	277.1	182.3	93.6	2.39
177	286.2	186.6	100.4	2.98
178	295.3	182.3	92.2	1.87
179	304.4	186.6	97.1	2.41
180	313.5	182.3	88.6	1.45
181	322.6	186.6	91.8	1.73
182	331.7	182.3	88.6	2.35
183	340.8	186.6	89.5	2.26
184	349.9	182.3	80.1	2.22
185	31.4	195.2	153.0	2.21
186	40.5	190.9	147.4	2.24
187	49.6	195.2	153.4	2.11
188	58.7	190.9	147.6	2.08
189	67.8	195.2	149.4	1.94
190	76.9	190.9	142.3	1.84
191	86.0	195.2	148.0	1.59
192	95.1	190.9	139.8	1.50
193	104.2	195.2	138.6	1.42
194	113.3	190.9	135.5	1.34
195	122.4	195.2	139.6	1.33
196	131.5	190.9	134.6	1.96
197	140.6	195.2	130.4	1.38
198	149.7	190.9	125.3	1.43
199	158.8	195.2	128.8	1.50
200	167.9	190.9	123.7	1.55
201	177.0	195.2	126.7	1.99
202	186.1	190.9	120.6	2.00
203	195.2	195.2	122.4	1.73
204	204.3	190.9	115.9	1.77
205	213.4	195.2	117.8	1.84
206	222.5	190.9	111.3	1.91
207	231.6	195.2	113.2	2.00
208	240.7	190.9	168.0	3.40
209	249.8	195.2	176.5	3.25
210	258.9	190.9	166.8	3.45
211	268.0	195.2	108.0	2.34
212	277.1	190.9	108.6	3.32
213	286.2	195.2	106.5	2.04
214	295.3	190.9	98.3	1.91
215	304.4	195.2	102.9	1.55
216	313.5	190.9	100.6	2.45
217	322.6	195.2	97.4	1.36
218	331.7	190.9	93.8	2.04
219	340.8	195.2	94.8	2.06
220	349.9	190.9	89.6	2.10
221	31.4	203.8	161.4	2.20
222	40.5	199.5	158.9	2.12
223	49.6	203.8	161.6	2.11
224	58.7	199.5	155.7	2.05
225	67.8	203.8	157.5	1.91
226	76.9	199.5	150.4	1.80
227	86.0	203.8	156.1	1.56
228	95.1	199.5	147.9	1.48
229	104.2	203.8	146.7	1.40
230	113.3	199.5	143.5	1.34
231	122.4	203.8	148.1	1.34
232	131.5	199.5	143.1	1.83
233	140.6	203.8	138.9	1.38

234	149.7	199.5	133.8	1.44
235	158.8	203.8	137.3	1.50
236	167.9	199.5	132.2	1.55
237	177.0	203.8	135.1	1.99
238	186.1	199.5	128.8	1.86
239	195.2	203.8	130.6	1.73
240	204.3	199.5	124.2	1.78
241	213.4	203.8	126.0	1.84
242	222.5	199.5	119.6	1.92
243	231.6	203.8	121.4	2.01
244	240.7	199.5	176.0	3.30
245	249.8	203.8	123.7	3.10
246	258.9	199.5	115.9	3.02
247	268.0	203.8	139.3	3.26
248	277.1	199.5	114.7	3.06
249	286.2	203.8	112.8	2.10
250	295.3	199.5	111.4	2.38
251	304.4	203.8	108.9	1.52
252	313.5	199.5	106.2	1.44
253	322.6	203.8	108.4	1.91
254	331.7	199.5	104.1	2.30
255	340.8	203.8	104.6	2.18
256	22.3	208.0	164.4	2.35
257	31.4	212.3	169.8	2.20
258	40.5	208.0	164.1	2.22
259	49.6	212.3	169.9	2.10
260	58.7	208.0	163.9	2.02
261	67.8	212.3	165.7	1.88
262	76.9	208.0	163.4	1.66
263	86.0	212.3	164.1	1.54
264	95.1	208.0	155.9	1.46
265	104.2	212.3	154.9	1.38
266	113.3	208.0	151.6	1.34
267	122.4	212.3	156.5	1.34
268	131.5	208.0	151.7	1.84
269	140.6	212.3	147.5	1.39
270	149.7	208.0	142.4	1.45
271	158.8	212.3	145.8	1.51
272	167.9	208.0	140.8	1.55
273	177.0	212.3	143.4	1.86
274	186.1	208.0	137.0	1.67
275	195.2	212.3	138.8	1.73
276	204.3	208.0	132.4	1.79
277	213.4	212.3	134.2	1.85
278	222.5	208.0	127.8	1.93
279	231.6	212.3	129.5	2.02
280	240.7	208.0	189.6	3.01
281	249.8	212.3	130.4	3.15
282	258.9	208.0	122.5	2.26
283	268.0	212.3	144.7	3.21
284	277.1	208.0	120.9	2.13
285	286.2	212.3	125.9	2.64
286	295.3	208.0	117.4	1.68
287	304.4	212.3	120.8	1.52
288	313.5	208.0	112.0	1.40
289	322.6	212.3	114.2	1.37
290	331.7	208.0	109.7	2.12
291	22.3	216.6	172.9	2.35
292	31.4	220.9	178.3	2.20
293	40.5	216.6	172.4	2.21
294	49.6	220.9	178.2	2.09
295	58.7	216.6	172.2	1.99

296	67.8	220.9	173.9	1.84
297	76.9	216.6	171.5	1.63
298	86.0	220.9	172.2	1.52
299	95.1	216.6	164.0	1.44
300	104.2	220.9	163.1	1.37
301	113.3	216.6	159.7	1.33
302	122.4	220.9	164.6	1.34
303	131.5	216.6	152.5	1.36
304	140.6	220.9	156.0	1.40
305	149.7	216.6	150.9	1.45
306	158.8	220.9	154.4	1.51
307	167.9	216.6	149.3	1.55
308	177.0	220.9	151.6	1.89
309	186.1	216.6	145.2	1.67
310	195.2	220.9	147.0	1.74
311	204.3	216.6	140.6	1.79
312	213.4	220.9	142.4	1.86
313	222.5	216.6	136.0	1.95
314	231.6	220.9	136.7	2.07
315	240.7	216.6	138.3	3.19
316	249.8	220.9	137.1	2.17
317	258.9	216.6	129.2	2.36
318	268.0	220.9	135.5	2.43
319	277.1	216.6	127.4	2.24
320	286.2	220.9	132.1	1.84
321	295.3	216.6	123.6	1.68
322	304.4	220.9	126.9	1.48
323	313.5	216.6	123.2	1.95
324	322.6	220.9	124.7	2.00
325	331.7	216.6	115.5	1.38
326	31.4	229.5	186.7	2.19
327	40.5	225.2	184.0	2.09
328	49.6	229.5	186.6	2.06
329	58.7	225.2	180.4	1.96
330	67.8	229.5	182.1	1.80
331	76.9	225.2	179.6	1.60
332	86.0	229.5	180.4	1.50
333	95.1	225.2	172.2	1.43
334	104.2	229.5	171.3	1.36
335	113.3	225.2	167.9	1.33
336	122.4	229.5	172.7	1.34
337	131.5	225.2	161.1	1.37
338	140.6	229.5	164.5	1.41
339	149.7	225.2	159.5	1.46
340	158.8	229.5	162.9	1.52
341	167.9	225.2	157.8	1.70
342	177.0	229.5	159.9	1.62
343	186.1	225.2	153.5	1.68
344	195.2	229.5	155.3	1.74
345	204.3	225.2	148.9	1.80
346	213.4	229.5	150.7	1.87
347	222.5	225.2	144.2	1.95
348	231.6	229.5	198.0	2.98
349	240.7	225.2	145.0	3.04
350	249.8	229.5	144.0	2.25
351	258.9	225.2	182.0	3.20
352	268.0	229.5	142.1	2.26
353	277.1	225.2	133.9	2.40
354	286.2	229.5	138.4	1.84
355	295.3	225.2	135.6	1.61
356	304.4	229.5	133.1	1.45
357	313.5	225.2	129.2	1.40

---

358	322.6	229.5	130.8	1.38
359	331.7	225.2	125.6	2.08
360	22.3	233.8	189.9	2.33
361	40.5	233.8	192.4	2.08
362	58.7	233.8	188.7	1.93
363	76.9	233.8	187.8	1.59
364	95.1	233.8	180.4	1.42
365	113.3	233.8	176.0	1.33
366	131.5	233.8	169.6	1.38
367	149.7	233.8	168.0	1.47
368	167.9	233.8	166.2	1.73
369	186.1	233.8	161.7	1.69
370	204.3	233.8	157.1	1.81
371	222.5	233.8	151.4	1.98
372	240.7	233.8	151.8	2.50
373	258.9	233.8	164.8	3.01
374	277.1	233.8	146.9	1.91
375	295.3	233.8	141.8	1.59
376	313.5	233.8	135.4	1.39
377	331.7	233.8	131.8	1.52