



**PROTEZIONE CIVILE**  
 Presidenza del Consiglio dei Ministri  
 Dipartimento della Protezione Civile



Regione Emilia-Romagna



CONFERENZA DELLE REGIONI E  
 DELLE PROVINCE AUTONOME

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

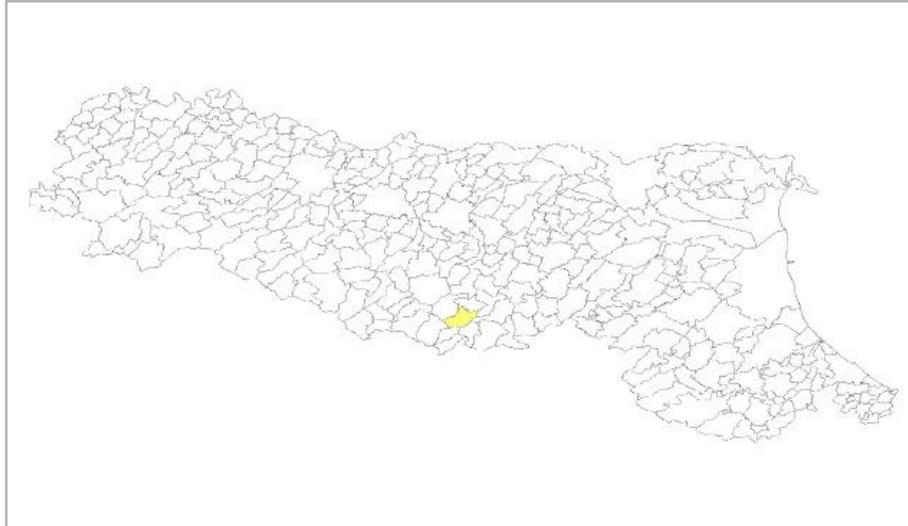
# MICROZONAZIONE SISMICA

## Relazione illustrativa

scala 1:5.000

### Regione Emilia-Romagna

#### Comune di Gaggio Montano



<p>Regione</p> <p><b>Emilia-Romagna</b></p> <p>Studio realizzato          con il contributo di          cui all'OCDPC 52/2013</p>	<p>Soggetto realizzatore</p>  <p>Piazza Giovanni XXIII 12/b          40133 Bologna          tel: 051-9912225 - fax:051-4122990          luca.monti@database.it</p> <p><i>Collaborazione</i>  <b>Mirko Soldati</b>  <b>Giorgio Cioce</b></p>	<p>Comune di</p> <p><b>Gaggio Montano</b></p> <p>Il Sindaco</p> <p><b>Giuseppe Pucci</b></p>	
<p>Data</p> <p><b>Aggiornamento          Giugno 2022</b></p>		<p>Elaborato</p> <p><b>1</b></p>	

## INDICE

<b>1.</b>	<b>INTRODUZIONE .....</b>	<b>3</b>
<b>2.</b>	<b>DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITA' DI BASE E DEGLI EVENTI DI RIFERIMENTO... 5</b>	
<b>2.1.</b>	<b>Stima della Pericolosità Sismica di Base.....</b>	<b>8</b>
<b>3.</b>	<b>ASSETTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO DELL'AREA.....</b>	<b>9</b>
<b>3.1.</b>	<b>Geologia del Territorio Comunale .....</b>	<b>9</b>
<b>3.2.</b>	<b>Inquadramento Geomorfologico .....</b>	<b>11</b>
<b>4.</b>	<b>DATI GEOETECNICI E GEOFISICI .....</b>	<b>12</b>
<b>4.1.</b>	<b>Dati Geotecnici.....</b>	<b>12</b>
<b>4.2.</b>	<b>Dati Geofisici.....</b>	<b>12</b>
<b>4.2.1.</b>	<b>Indagini HVSR.....</b>	<b>12</b>
<b>5.</b>	<b>MODELLO DEL SOTTOSUOLO .....</b>	<b>15</b>
<b>6.</b>	<b>METODOLOGIE DI ELABORAZIONE E RISULTATI.....</b>	<b>15</b>
<b>6.1.</b>	<b>Premessa.....</b>	<b>15</b>
<b>6.2.</b>	<b>Metodologie di elaborazione.....</b>	<b>16</b>
<b>6.3.</b>	<b>I° Livello di Microzonazione.....</b>	<b>16</b>
<b>6.4.</b>	<b>II° Livello di Microzonazione .....</b>	<b>17</b>
<b>6.5.</b>	<b>Effetti Della Topografia .....</b>	<b>19</b>
<b>6.6.</b>	<b>III° Livello Di Microzonazione .....</b>	<b>20</b>
<b>6.6.1.</b>	<b>RISPOSTA SISMICA LOCALE.....</b>	<b>21</b>

<b>6.6.2.</b>	<b>VERIFICHE ANALITICHE DI STABILITÀ.....</b>	<b>26</b>
<b>7.</b>	<b>ELABORATI CARTOGRAFICI .....</b>	<b>29</b>
<b>7.1.</b>	<b>Carta delle Indagini .....</b>	<b>29</b>
<b>7.2.</b>	<b>Carta geologico-tecnica per la micro zonazione sismica .....</b>	<b>29</b>
<b>7.3.</b>	<b>Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica .....</b>	<b>29</b>
<b>7.4.</b>	<b>Carta di microzonazione sismica (livello 3) .....</b>	<b>30</b>

## 1. INTRODUZIONE

Il presente elaborato modifica e integra lo *"Studio di Microzonazione Sismica di secondo livello con analisi della Condizione Limite Locale per l'Emergenza (CLE) e locali approfondimenti di terzo livello"* del comune di Gaggio Montano (BO), di cui all'Ordinanza del Capo di Dipartimento della Protezione Civile n. 52/2013, e decreto del 15 aprile 2013 del Capo Dipartimento di Protezione Civile. Ciò si è reso necessario a seguito della convenzione tra il Comune di Gaggio Montano e l'Università di Bologna per fornire all'amministrazione uno "STUDIO A SUPPORTO DELLA MICROZONAZIONE SISMICA DI TERZO LIVELLO DEL CAPOLUOGO DI GAGGIO MONTANO E AREE LIMITROFE" *che si è concluso con la richiesta di apportare le seguenti modifiche al solo comparto studiato, ovvero all'abitato di Gaggio Montano.*

Elaborato	Modifiche richieste
Carta delle Indagini	Aggiornare la carta con le nuove indagini realizzate nell'ambito della Convenzione (prove MASW e HVSR)
Carta geologico-tecnica per la microzonazione sismica	Includere nella classe di "instabilità di versante colamento-quiescente" i depositi di frana posti attorno alla frana di Gaggio Montano e riportati nella cartografia RER come frane quiescenti. Nell carta del 2014 sono indicati come CLec (terreni di copertura) e non come depositi di frana.
Carta delle frequenze fondamentali dei terreni	Aggiornare la carta con i nuovi dati ottenuti dalle prove HVSR
Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica	Modificare la carta in accordo con la carta geologico-tecnica, riclassificando cioè di corpi di frana quiescente posti attorno alla frana di Gaggio Montano come ZAFR_Q (Zona di attenzione per instabilità di versante quiescente)
Carta della velocità delle onde di taglio Vs	Aggiornare la carta con i nuovi dati ottenuti dalle prove MASW

Carta di microzonazione sismica (livello 3)	Modificare le tre carte che compongono la microzonazione sismica (FPGA, H0105, H0510) considerando la presenza delle frane quiescenti attorno alla frana di Gaggio Montano
Relazione illustrativa - Analisi di stabilità in condizioni dinamiche	Effettuare le analisi in condizioni non drenate
Spettri di risposta al sito	Nessuna modifica di rilievo
Banca dati GIS	Aggiornare la banca dati GIS con le nuove prove HVSR e MASW utilizzando gli standard di rappresentazione e archiviazione informatica per la Microzonazione Sismica versione 4.2

La seguente revisione, per il comparto dell'abitato di Gaggio Montano risponde alle modifiche richieste. Lo studio è stato aggiornato conformemente alla DGR n. 630/2019 e agli "Standard di rappresentazione e archiviazione informatica versione 4.2".

Lo studio, come accennato precedentemente è stato aggiornato solo per il Comparto dell'abitato di Gaggio Montano; la relativa cartografia comprende pertanto solo questa porzione di territorio, escludendo gli altri tre comparti (Silla, Marano e Pietracolora) che sono invariati rispetto alla validazione del 19 Ottobre 2017.

*Sono stati quindi predisposti due set di carte contenuti nelle specifiche tavole:*

*Il primo contenente esclusivamente gli aggiornanti effettuati per il Comparto dell'abitato di Gaggio Montano (richieste UNBO); il secondo con le tavole dello studio validato nel 2017.*

La banca dati GIS è stata aggiornata con le indagini fornite da UNIBO. Per la nuova struttura dati è stata utilizzata la versione 4.2 modificando esclusivamente e solamente le geometrie facenti parte del comparto dell'abitato di Gaggio Montano.

Lo studio redatto dall'Università di Bologna è parte integrante del presente elaborato ed è riportato in allegato a fine testo.

L'elaborato contiene la Microzonazione sismica di alcune aree urbanizzate e urbanizzabili del territorio comunale scelte, in accordo con l'Amministrazione Comunale, sulla base della loro rilevanza urbanistica, della presenza di un adeguato numero di dati geognostici di base, e, come per il caso della Località di Pietracolora, per la loro peculiarità geologica e/o morfologica.

In particolare le aree di studio sono (Figura 1):

1. il centro abitato e zona industriale di **Gaggio Montano (revisione UNIBO)**;
2. la Località **Silla (invariato)**
3. la Località **Marano (invariato)**
4. la Località **Pietra Colora (invariato)**.

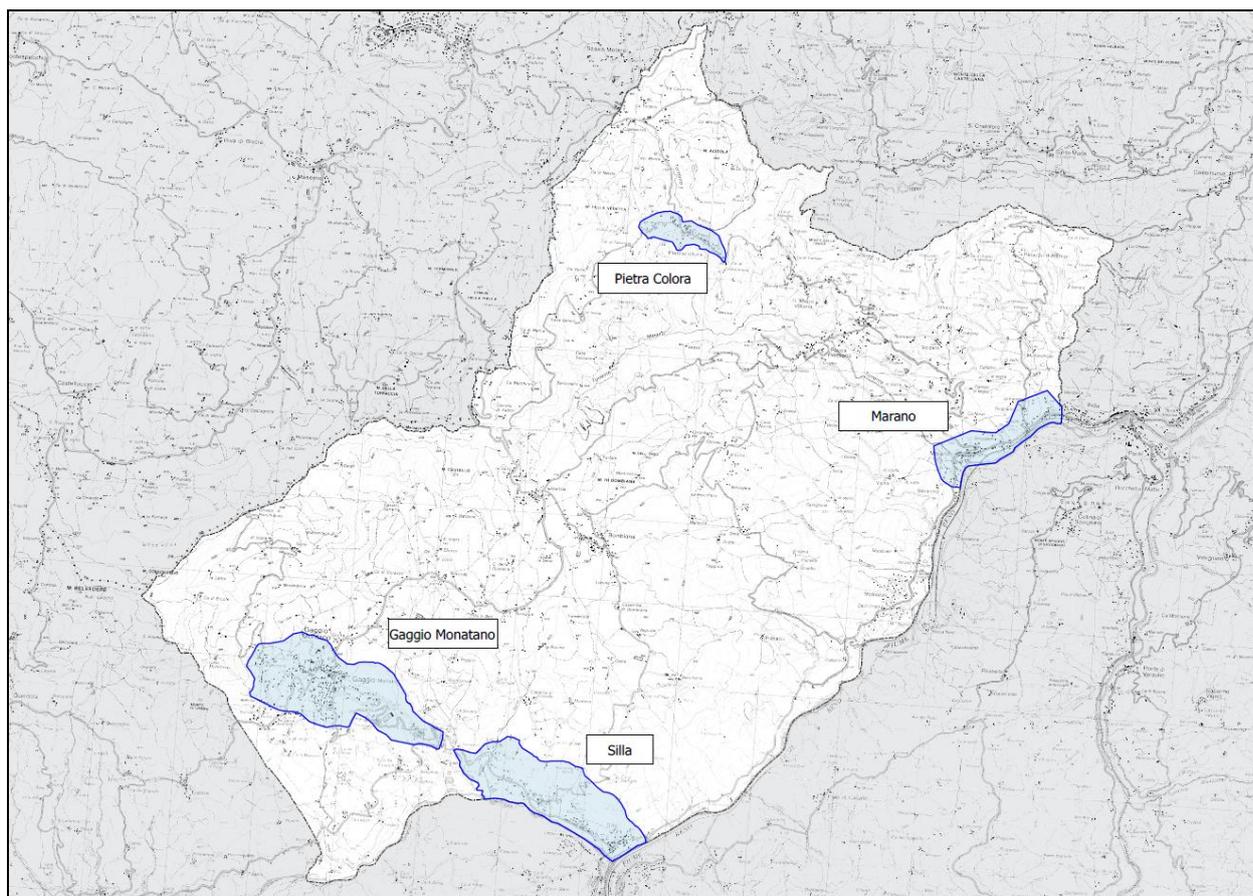


Figura 1. Individuazione delle aree studiate all'interno del territorio del Comune di Gaggio Montano.

Il Comune di Gaggio Montano (codice ISTAT 037027) si inserisce nell'alto Appennino bolognese, confinando con la Provincia di Modena a est e con i seguenti comuni:

- Castel d'Aiano a Nord;
- Vergato a NE;
- Drizzano M. e Castel di Casio a Est;
- Porretta Terme a Sud;
- Lizzano in Belvedere a SO.

Il territorio comunale si sviluppa su una superficie di 58,67 Km<sup>2</sup>, ed è compreso fra le valli del Fiume Reno a Est e il Torrente Silla a Sud. Le sue quote sul livello del mare sono comprese tra 250 m, lungo il confine nord orientale in corrispondenza del Fiume Reno, e circa 1123 m in corrispondenza della cima del M. Gorgolesco ai confini sud-occidentali con il comune di Montese (MO).



Dal punto di vista cartografico il territorio comunale ricade nelle tavole della Carta Topografica Regionale dell'Emilia Romagna, alla scala 1:25.000: n° 235-SE "Montese", n° 237-SO "Vergato", n° 251-NE "Porretta Terme", n° 252-NO "Castiglione dei Pepoli"; mentre le quattro aree di studio ricadono nei seguenti elementi della Carta Tecnica Regionale, alla scala 1:5.000:

- Gaggio Montano: n° 236163 "Ronchidoso", n° 251044 "Gaggio Montano"
- Silla: n° 251041 "Silla", n° 251044 "Gaggio Montano";
- Marano: n° 237134 "Rocca Pitigliana", n° 237133 "Molinazzo";
- Pietracolora: n° 236122 "Sassomolare", n° 236161 "Pietra Colora";

Tutti i dati geognostici di base utilizzati per la redazione del presente elaborato sono stati reperiti presso l'*archivio dell'ufficio tecnico comunale* e l'*archivio dell'Unione dei comuni dell'Appennino bolognese*.

## 2. DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITA' DI BASE E DEGLI EVENTI DI RIFERIMENTO

L'analisi delle caratteristiche sismiche del territorio di Gaggio Montano (BO) parte direttamente dall'esame delle informazioni storiche esistenti raccolte nel Database Macrosismico Italiano 2011 (DBMI11). Il DBMI11 contiene 86071 MDP (Macrosismic Data Points) relativi a 1684 terremoti il cui epicentro ricade all'interno della nuova area CPTI11 (Catalogo Parametrico Dei Terremoti Italiani). I dati sono riferiti a 15416 località di cui 14150 in territorio italiano. Le informazioni sono consultabili on-line dal sito dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (<http://emidius.mi.ingv.it/DBMI11>). Di seguito si riportano le osservazioni sismiche disponibili per Gaggio Montano (Figura 2).

### Storia sismica di Gaggio Montano [44.196, 10.932]

Effetti	In occasione del terremoto del:				
I [MCS]	Data	Ax	Np	Io Mw	
6	1904 06 10 11:15	Frignano	102	6 5.03 ±0.18	
4-5	1985 01 23 10:10	Garfagnana	73	6 4.65 ±0.15	
2	1986 12 06 17:07	BONDENO	604	6 4.61 ±0.10	
5	1995 08 24 17:27	Appennino bolognese	56	6 4.48 ±0.09	
NF	1995 10 10 06:54	LUNIGIANA	341	7 4.85 ±0.09	
3-4	1997 12 24 17:53	Garfagnana	98	5 4.36 ±0.09	
4	1999 07 07 17:16	Frignano	32	5 4.70 ±0.09	
4-5	2000 10 03 01:12	Appennino tosco-emiliano	62	5 4.27 ±0.09	
5	2003 09 14 21:42	Appennino bolognese	133	6 5.29 ±0.09	

Figura 2. Osservazioni sismiche disponibili per il Comune di Gaggio Montano (BO): I= intensità degli effetti al sito espressa secondo la scala Mercalli-Cancani-Sieberg (MCS); As= Area epicentrale; Io= Intensità macrosismica epicentrale (MCS) da CPTI11; Mw= Magnitudo momento associata all'evento sismico.

Le stesse osservazioni sono riportate sottoforma di diagramma nella seguente figura.

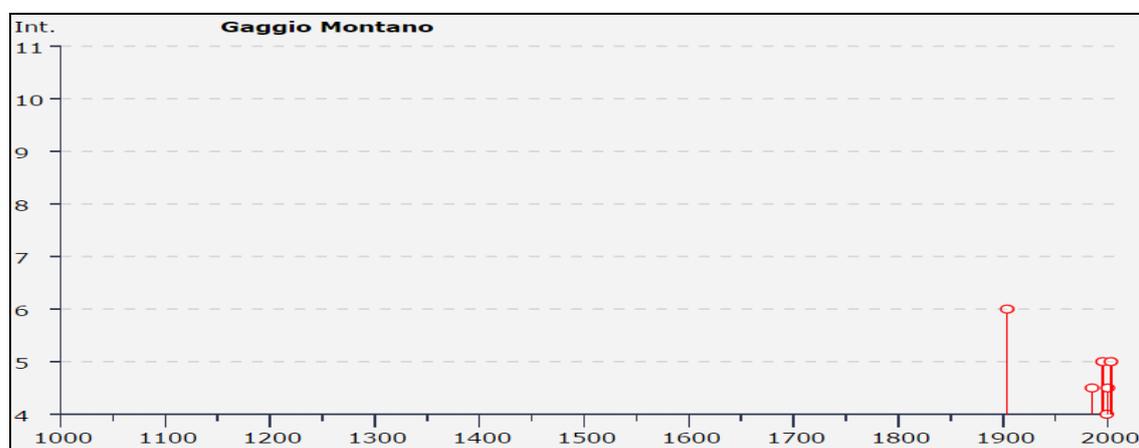


Figura 3 Osservazioni sismiche relative al comune di Gaggio Montano.

Per il territorio del comune di Gaggio Montano sono disponibili nove eventi sismici tre dei quali con intensità al sito maggiore o uguale al V° della scala MCS (Mercalli-Cancani-Sieberg). La massima intensità risentita all'interno del territorio comunale è del VI° MCS (corrispondente ad una *"scossa forte: qualche leggera lesione negli edifici e finestre in frantumi"*, Figura 4) relativa all'evento sismico verificatosi nel 1904 nel Frignano (l'epicentro è individuato a circa 7,5 Km a ovest del centro abitato di Gaggio Montano, Figura 5) con magnitudo momento stimata pari a 5.

Grado	Scossa	Descrizione
I	impercettibile	Avvertita solo dagli strumenti sismici.
II	molto leggera	Avvertita solo da qualche persona in opportune condizioni.
III	leggera	Avvertita da poche persone. Oscillano oggetti appesi con vibrazioni simili a quelle del passaggio di un'automobile.
IV	moderata	Avvertita da molte persone; tremito di infissi e cristalli, e leggere oscillazioni di oggetti appesi.
V	piuttosto forte	Avvertita anche da persone addormentate; caduta di oggetti.
VI	forte	Qualche leggera lesione negli edifici e finestre in frantumi.
VII	molto forte	Caduta di fumaioi, lesioni negli edifici.
VIII	rovinosa	Rovina parziale di qualche edificio; qualche vittima isolata.
IX	distruttiva	Rovina totale di alcuni edifici e gravi lesioni in molti altri; vittime umane sparse ma non numerose.
X	completamente distruttiva	Rovina di molti edifici; molte vittime umane; crepacci nel suolo.
XI	catastrofica	Distruzione di agglomerati urbani; moltissime vittime; crepacci e frane nel suolo; maremoto.
XII	apocalittica	Distruzione di ogni manufatto; pochi superstiti; sconvolgimento del suolo; maremoto distruttivo; fuoriuscita di lava dal terreno.

Figura 4. Scala Mercalli-Cancani-Sieberg (MCS): I gradi più bassi della scala MCS generalmente affrontano la maniera in cui il terremoto è avvertito dalla popolazione; i valori più alti della scala sono basati sui danni strutturali osservati (da: [https://it.wikipedia.org/wiki/Scala\\_Mercalli](https://it.wikipedia.org/wiki/Scala_Mercalli)).

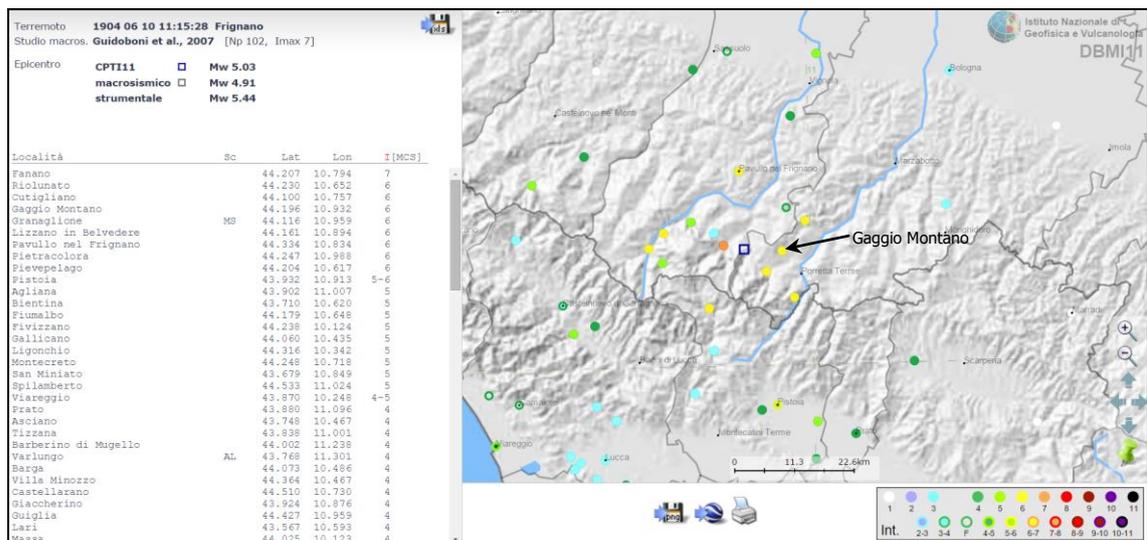


Figura 5. Dettagli dell'evento sismico del 10 giugno del 1904, localizzato nel Frignano.

Mentre l'evento più recente registrato nel catalogo è quello riguardante l'evento sismico, di magnitudo momento stimata pari a 5.29, verificatosi nel 2003 nell'Appennino Bolognese con epicentro nei pressi di Oliano (BO) (a circa 30 Km a ENE dal centro abitato di Gaggio Montano, Figura 6). L'intensità risentita all'interno del territorio comunale fu del V° MCS.

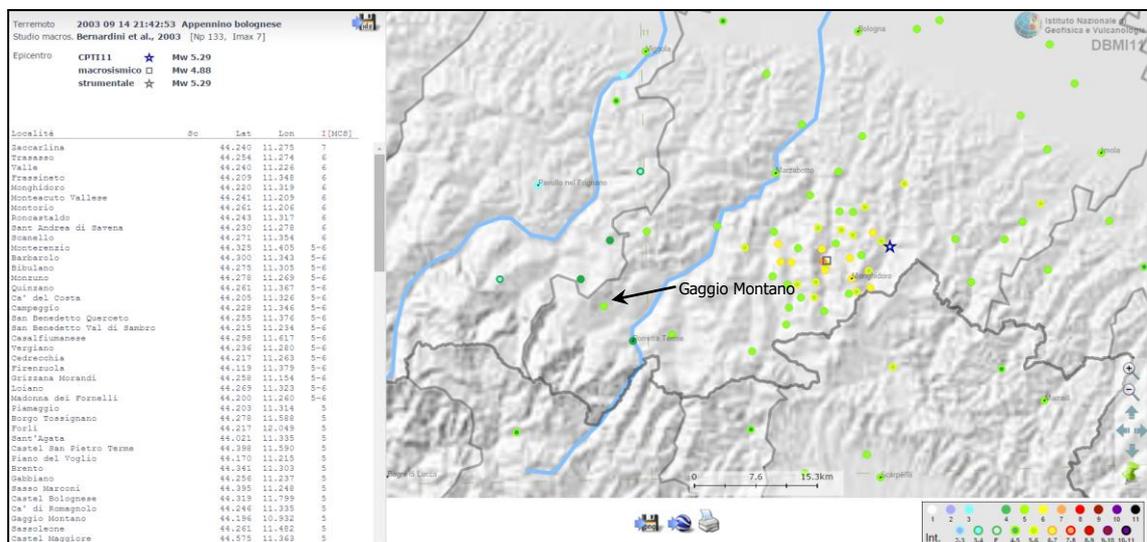


Figura 6. Dettagli dell'evento sismico del 14 settembre del 2003, localizzato nell'Appennino Bolognese.

Gli studi sulla pericolosità sismica promossi dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV) hanno portato alla definizione di una nuova zonazione sismogenetica del territorio nazionale denominata

"ZS9", che identifica le zone sorgenti a caratteristiche sismiche omogenee. In particolare la zonazione ha individuato 36 "zone-sorgente" i cui limiti sono stati appunto tracciati sulla base di informazioni tettoniche o geologico-strutturali e delle differenti caratteristiche della sismicità, quali distribuzione spaziale e frequenza degli eventi, massima magnitudo rilasciata, ecc..

Il territorio del comune di Gaggio Montano ricade all'interno della zona sismogenetica ZS913 "Appennino Emiliano Romagnolo"(Figura 7).

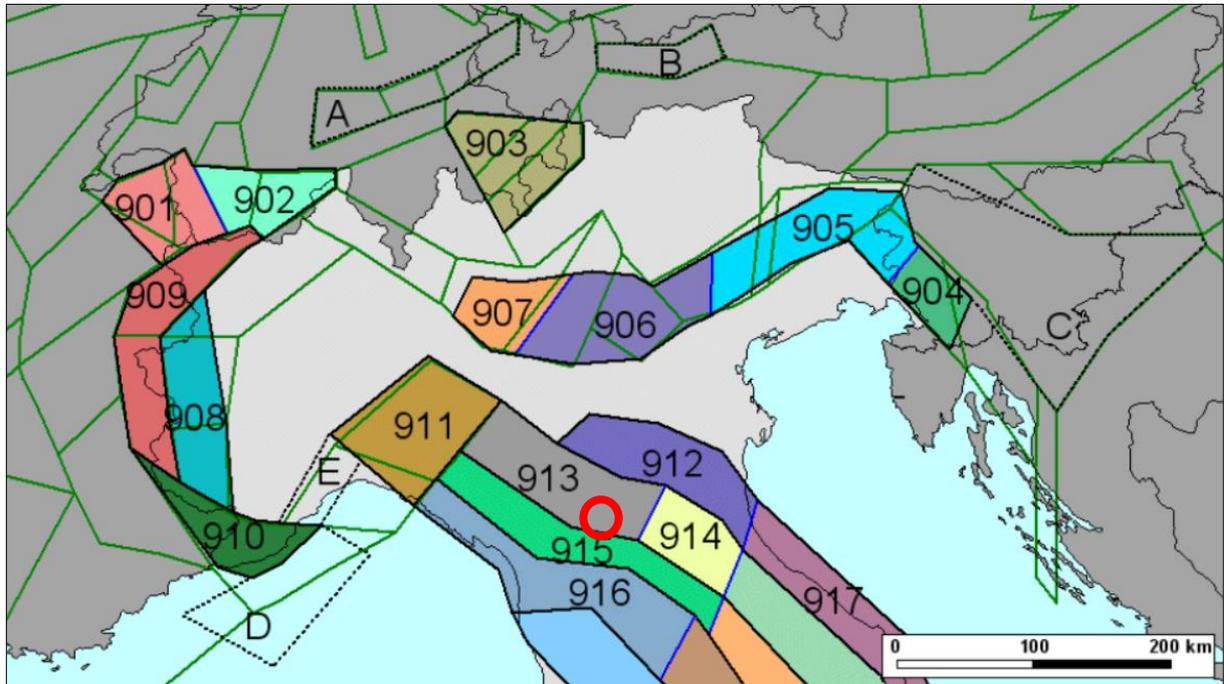


Figura 7. Stralcio Zonazione sismogenetica ZS9 (INGV).

Tale zona è caratterizzata da una sismicità storica che raramente ha raggiunto valori molto elevati di magnitudo e nella quale la profondità efficace (profondità alla quale avviene il maggior numero di terremoti che determina la pericolosità della zona) è relativamente elevata compresa tra 12 e 20 Km. La massima magnitudo associata alla zona è pari 6.14 Mw.

### 2.1. Stima della Pericolosità Sismica di Base

Dall'analisi della Mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale, elaborata dall'INGV nel 2004 (consultabile on-line al sito <http://esse1-gis.mi.ingv.it>), che riporta i valori di pericolosità sismica sui punti di una griglia con passo 0.05° si può osservare (Figura 8) che la pericolosità sismica di base del territorio comunale di Gaggio Montano è caratterizzata da valori di accelerazione di picco, su suolo di riferimento,  $a(g)$  compresa tra 0.150 e 0.175 g. La carta è realizzata considerando una probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni e cioè un periodo di ritorno degli eventi sismici pari a:  $TR=475$  anni.

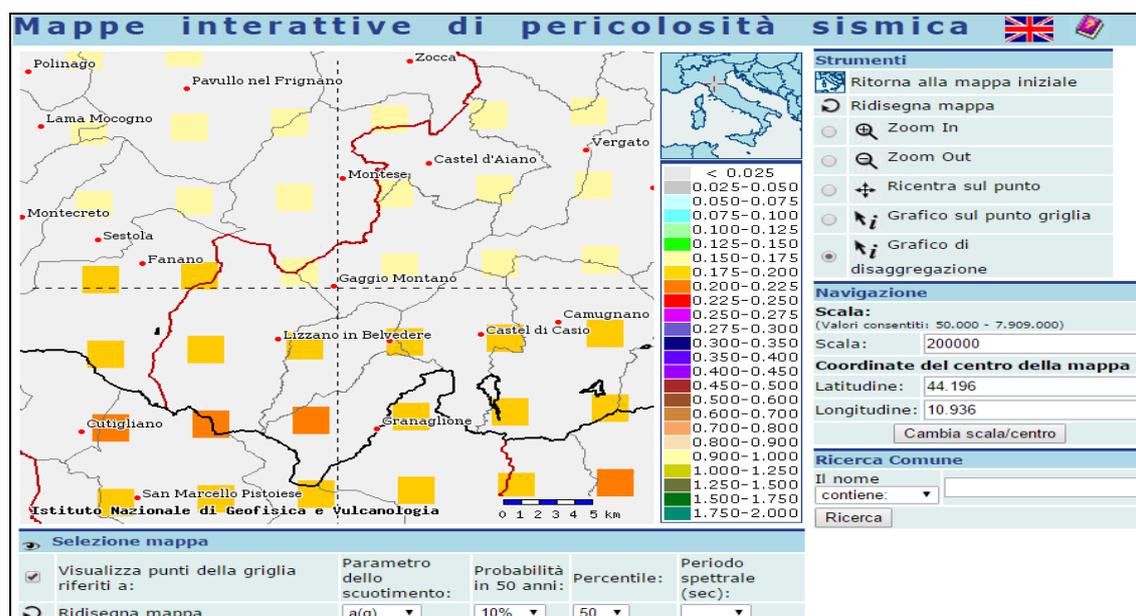


Figura 8. Mappa di pericolosità sismica (<http://esse1-gis.mi.ingv.it>).

La Regione Emilia Romagna, con Delibera di Giunta Regionale del 2 maggio 2007 (Oggetto n° 2131- Prog. n° 112) ha approvato l'atto di indirizzo e coordinamento tecnico ai sensi dell'art. 16, comma 1, della L.R. 20/2000 "Disciplina generale sulla tutela e l'uso del territorio", in merito a "Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica". La delibera fornisce i criteri per la valutazione della risposta sismica locale e per la microzonazione sismica del territorio regionale. In particolare nell'allegato A4 sono riportati, per ogni comune, i valori di accelerazione di picco su suolo di riferimento, che per Gaggio Montano è pari:  $a_{refg} = 0,181g$ . I valori di accelerazioni di riferimento sono ora relativi a punti di una griglia con passo  $0.05^\circ$ .

### 3. ASSETTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO DELL'AREA

#### 3.1. Geologia del Territorio Comunale

La geologia del Comune di Gaggio Montano è caratterizzata in gran parte da litotipi ascrivibili alle Unità Liguri ed alla Successione Epiligure, esclusivamente in una modesta porzione sud-occidentale si individuano termini riconducibili alle Unità Toscane.

I terreni della **Successione** Epiligure oligo-miocenica sono qui rappresentati dalle seguenti formazioni: Formazione di Cigarello, Formazione di Pantano, Breccie argillose della Val Tiepido-Canossa, Marne di Antognola e Breccie argillose di Baiso.

Le formazioni geologiche riscontrate nei comparti in studio per la Microzonazione Sismica sono riportate dall'alto nell'ordine geometrico in cui si ritrovano le unità tettoniche.

Le **Marne di Antognola (ANT)**, formatesi in ambiente di piattaforma esterna, scarpata e base scarpata con apporti torbiditici, sono costituite da marne argillose e marne siltose verdognole o grigie con patine manganesifere. La stratificazione si presenta da molto sottile a media, talora difficilmente percepibile, sia per scarsa classazione granulometrica sia per bioturbazione; la fratturazione è concoide o con tipiche superfici concentriche. Sono presenti rari livelli torbiditici di arenarie vulcanoclastiche, arcosiche e quarzoso feldspatiche, da sottili a medi, e strati sottili e sottilissimi, discontinui, di cineriti biancastre,

tipicamente alterate in giallo o giallo ocra. Al suo interno è stato distinto il *Membro di Anconella* con prevalenti torbiditi arenaceo-pelitiche. Si tratta di arenarie sono quarzoso-feldspatiche, generalmente poco cementate, gradate con grana da grossolana a fine, di colore grigio chiaro alterate in giallastro alternate a marne argillose, argille siltose grigie, grigio verdi, grigio scuro o nerastre. Gli strati variano da sottili a spessi, raramente banchi; talvolta amalgamati.

La **Formazione di Monte Venere (MOV)** è un tipico Flysch ad Elmintoidi caratterizzato dalla ripetizione sistematica di torbiditi calcareo-marnose alternate a pacchi di torbiditi arenaceo-pelitiche. Le torbiditi calcareo-marnose sono un carattere distintivo della formazione e sono rappresentate da strati, da spessi a molto spessi, e da megastrati con una porzione basale calcareo-arenacea a grana fine, a cui segue un potente intervallo marnoso, o calcareo-marnoso di colore grigio chiaro, ed infine un sottile livello emipelagico di argille grigio scure. I pacchi di torbiditi arenaceo-pelitiche sono costituiti in prevalenza da strati da sottili a medi con una porzione arenacea a grana da fine a media, di colore grigio o giallastro per alterazione, cui segue una porzione pelitica di argille grigio scure. Il rapporto arenaria/pelite varia da circa 1/1 a maggiore di 1. il numero degli strati arenacei è molto maggiore rispetto a quelli calcareo-marnosi, ma i due litotipi si equivalgono per quanto riguarda la somma degli spessori. L'ambiente di deposizione corrisponde ad una piana sottomarina con direzione delle paleo-correnti che suggerisce un'alimentazione dai quadranti settentrionali per le torbiditi calcareo-marnose e dai quadranti meridionali per quelle arenaceo-pelitiche.

Le **Argille variegata di Grizzana Morandi - litozona argillitica (AVTa)**, depostesi in ambiente di piana abissale, sono costituite da argilliti fissili grigio-bluestre, verdi e rossastre, con subordinate arenarie risedimentate grigie, fini e finissime e con siltiti nerastre fratturate; la silicizzazione è intensa e diffusa. La formazione si presenta intensamente deformata con perdita dell'originario ordine stratigrafico alla scala dell'affioramento e un assetto complessivo caotico.

Le **Argille a Palombini (APA)** sono costituite da un'alternanza irregolare di argille ed argilliti nerastre, fissili, con strati di calcilutiti grigie risedimentate, di spessore da decimetro a superiore al metro. Nelle argilliti, che a luoghi, come in quest'area, sono il litotipo dominante, si possono rinvenire intercalati strati singoli o pacchi di sottili torbiditi arenaceo-pelitiche con grana da media a finissima. Normalmente la Formazione ha perso il suo ordine stratigrafico interno infatti, quasi ovunque, le Argille a Palombini sono così intensamente deformate da assumere un aspetto stratigraficamente disordinato o caotico. La stratificazione non è quasi mai riconoscibile con sicurezza, poiché gli strati calcarei appaiono ridotti a blocchi più o meno allineati, deformati in modo fragile con forme, in sezione, da squadrate a lenticolari e con gli assi maggiori orientati parallelamente gli uni agli altri. La pelite, che nelle porzioni poco deformate è costituita da argilliti con una pronunciata fissilità parallela alla stratificazione, assume di norma una spiccata struttura scagliosa con carattere penetrativo (clivaggio scaglioso). Alla stratificazione si sostituisce così una struttura planare mesoscopica d'origine strutturale, una "*stratificazione tettonica*", che ha una persistenza ed una continuità di tipo cartografico. Questa stratificazione tettonica, oltre che dall'allineamento preferenziale dei boudins di litotipi competenti, è individuata anche dalla fissilità o dal clivaggio scaglioso presente nella pelite. All'interno della massa pelitica compaiono di frequente, sotto forma di inclusi, *masse di rocce ofiolitiche*, di dimensioni estremamente variabili, costituite prevalentemente da serpentiniti e basalti a luoghi pillows lavas, ma soprattutto brecce poligeniche esclusivamente formate da clasti ofiolitici, o con clasti di rocce sedimentarie (diaspri, calcari tipo Calcari a

Calpionella, ecc..). L'età delle Argille a Palombini è ancora mal definita per la scarsità di microfaune e di nanofossili: ben documentata è la presenza del Cretaceo inferiore ed incerta quella del Cenomaniano. La formazione rappresenta un deposito di piana sottomarina sottoalimentata situata sotto il livello di compensazione dei carbonati.

Le **Unità toscane** sono qui rappresentate esclusivamente dalle **Argilliti variegata con calcari (AVC)** depostesi in ambiente marino profondo; si tratta di marne e marne argillose grigiastre o nerastre alla frattura fresca, verdastre, bruno – rossastre o giallastre per alterazione in superficie. Si presentano con un'intensa fratturazione a scaglie e squame dalla forma appiattita e dai contorni irregolari; la presenza di sottili spalmature brunastre ferro – mangesifere, dà untuosità e lucidità alle superfici dei piccoli frammenti marnosi. Non rare sono le vene di calcite secondaria. Frequenti sono gli interstrati, di spessore compreso solitamente fra i 20 e i 50 cm, a volte lentiformi, di calcare marnoso o di calcilutite grigio chiara alla frattura, mentre brunastra o bluastra in superficie per le patine mangesifere. Questi livelli calcarei mostrano un'intensa fratturazione e deformazione con abbondanti vene di calcite secondaria lungo le litoclasti. Numerosi sono inoltre i blocchi e gli inclusi di diversa litologia e di svariate dimensioni inglobati.

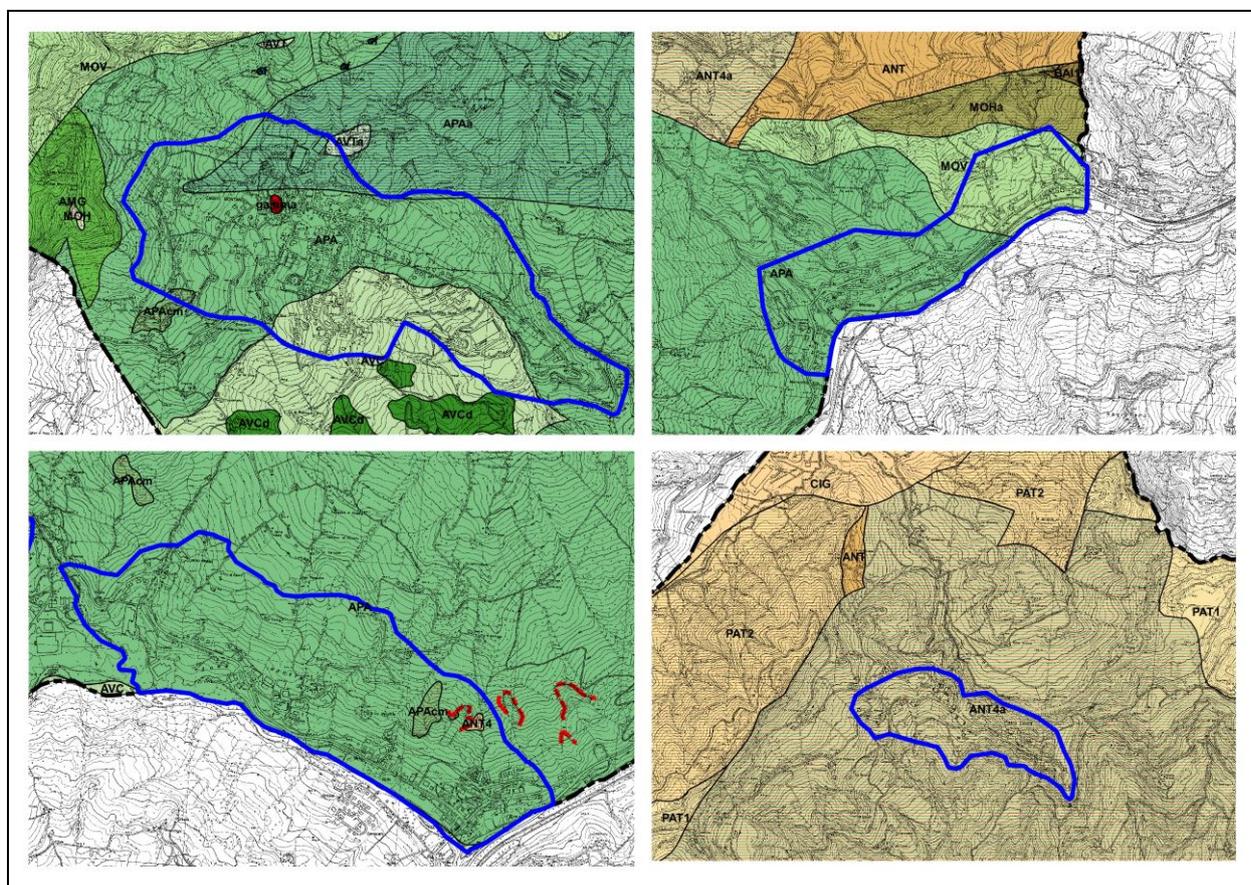


Figura 9. Geologia di base delle aree studiate

### 3.2. Inquadramento Geomorfológico

Per l'inquadramento morfologico generale dell'area, si è partiti dall'analisi della cartografia geologica dell'Emilia Romagna che riporta gli elementi aggiornati dell'Inventario del Dissesto della regione. Tali analisi sono state poi integrate dal rilevamento morfologico e geologico originale delle aree studiate, rilevando in campagna gli elementi morfologici presenti.

Le forme del paesaggio che si possono osservare, nel territorio del comune di Gaggio Montano, sono il prodotto di una serie di processi che hanno modellato in passato e che modellano tuttora le masse litoidi affioranti. Le forme di erosione sono state generate dall'azione degli agenti esogeni, che hanno operato in

maniera selettiva sui vari litotipi; in questa continua azione l'assetto tettonico ed il diverso comportamento morfoselettivo del substrato litoide hanno rivestito un ruolo importante nella definizione dell'attuale assetto geomorfologico dell'area.

In particolare le tre aree di studio di Gaggio Montano, Silla e Marano presentano una morfologia tipica dei versanti argillosi con forme morbide, variamente ondulate e poco acclivi, mentre la Località di Pietracolora presenta una più elevata energia del rilievo con una morfologia generalmente più aspra in diretta correlazione con l'assetto strutturale di un substrato arenaceo più competente.

## **4. DATI GEOETECNICI E GEOFISICI**

### **4.1. Dati Geotecnici**

Al fine di caratterizzare dal punto di vista litotecnico i terreni di copertura ed il substrato geologico è stato necessario reperire tutte le informazioni di carattere geologico in possesso dell'amministrazione comunale e presso l'archivio dell'*Unione dei comuni dell'Appennino Bolognese*. Si è trattato di una notevole quantità di dati, di tipo cartaceo, riguardante l'intero territorio comunale sui quali è stato necessario effettuare una selezione sulla base della loro attendibilità e utilità. In generale sono stati privilegiati i carotaggi di tipo continuo e l'indagini penetrometriche, meglio se direttamente correlabili a sondaggi realizzati in prossimità. In sintesi tra le indagini esistenti sono stati utilizzati complessivamente:

- 57 sondaggi stratigrafici meccanici a carotaggio continuo (S)\
- 11 prove penetrometriche dinamiche superpesanti (DPSH)
- 9 prove penetrometriche dinamiche leggere (DL)

Le prove geognostiche, unitamente ai dati rilevati nel corso dei vari sopralluoghi ed alle analisi geologiche in s.l., hanno consentito di individuare lo spessore delle coltri di copertura, stabilire la profondità del substrato geologico, e di fornire le indicazioni sulle caratteristiche geomeccaniche dei terreni attraversati.

### **4.2. Dati Geofisici**

Per caratterizzare da un punto geofisico i terreni presenti è stata effettuata una campagna geosismica passiva costituita da 59 acquisizioni di microtremori a stazione singola (HVSR).

A seguito della richiesta di integrazione pervenuta con e-mail del Dott. Luca Martelli del 22 aprile 2016, si è provveduto ad integrare le indagini con due prospezioni di geofisica attiva mediante sismica a rifrazione.

Lo studio a supporto dello MZS a cura di UNIBO, ha previsto un'integrazione dei dati sismici per la consultazione dei quali si rimanda allo specifico elaborato allegato a fine testo e che sono stati utilizzati per apportare le modifiche richieste.

#### *4.2.1. Indagini HVSR*

Le prove HVSR sono state ubicate in corrispondenza dei nodi di una maglia quadrata atta a coprire in maniera omogenea i quattro comparti, tenendo comunque in considerazione l'assetto geologico e geomorfologico delle aree di studio e le loro relative specificità.

Le indagini a stazione singola, con acquisizione di microtremori ambientali, sono state eseguite utilizzando un acquisitore **TROMINO®**.

Lo strumento è dotato di tre sensori elettrodinamici (velocimetri) orientati N-S, E-W e verticalmente, e permette la registrazione nel campo di frequenze 0-200 Hz. In sintesi, dopo che il segnale dei tre

velocimetri è stato acquisito, per un determinato tempo  $t$ , e digitalizzato a 24 bit, viene trasmesso ad un software dedicato, denominato Grilla il quale, per ciascuna delle 3 componenti del moto, esegue le seguenti operazioni:

1. divisione del tracciato in finestre la cui lunghezza è immessa dall'operatore;
2. depurazione del segnale dal trend di ciascuna finestra;
3. "taper" con una finestra di Bartlett;
4. "pad" di ciascuna finestra con degli zero;
5. calcolo della trasformata di Fourier (FFT) per ciascuna finestra;
6. calcolo dello spettro di ampiezza per ciascuna finestra;
7. smoothing (lisciamento) dello spettro di ogni finestra secondo differenti funzioni la cui scelta viene definita dall'operatore;
8. calcolo del rapporto spettrale HVSR per ogni frequenza e per ogni finestra.

Il risultato finale consiste nella graficizzazione delle medie degli HVSR di ciascuna finestra e nell'interpretazione secondo la tecnica di Nakamura.

Il metodo si basa sulla misura del rumore sismico ambientale, il quale è il prodotto sia da fenomeni atmosferici (onde oceaniche, vento) sia dall'attività antropica oltre, ovviamente, dall'attività dinamica terrestre. Si chiama anche microtremore perché riguarda oscillazioni molto piccole (10 -15 (m/s<sup>2</sup>) in termini di accelerazione), inferiori di diversi ordini di grandezza rispetto a quelle indotte dai terremoti nel campo vicino. Nel 2004, nell'ambito di un progetto europeo denominato SESAME (Site EffectS assessment using AMbient Excitations), sono state elaborate le linee guida per l'esecuzione e l'interpretazione di misure sismiche di microtremore, creando così le premesse per la standardizzazione di questo tipo di indagine geofisica.

Le misure di microtremori sono state utilizzate anche per la valutazione di velocità delle onde di taglio ( $V_s$ ) grazie anche all'utilizzo dei dati geognostici disponibili. Il metodo risulta molto semplice ed intuitivo nell'ipotesi di un sottosuolo stratificato orizzontalmente e i cui parametri variano solo con la profondità (sistema monodimensionale 1D).

I dati misurati dallo strumento sono stati elaborati e interpretati con il software **Grilla®** fornendo un report finale così strutturato:

Dati delle misura.	Ora di inizio e fine registrazione, frequenza di campionamento, ecc.
Horizontal to vertical spectral ratio	Grafico H/V
H/V Time history	Grafico Time history del rapporto H/V
Directional H/V	Grafico Direzionalità del rapporto H/V
Single component spectra	Grafico delle singole componenti spettrali
Experimental vs. sintetic H/V	Sovrapposizione della curva sperimenta alla curva H/V e istogramma Velocità/Profondità

***In corrispondenza dei comparti dove è stato effettuato lo studio di III livello (Silla zona industriale e Gaggio M. capoluogo) sono stati eseguiti, il 13 e 18 maggio 2016, due stendimenti sismici di 110 m di lunghezza con schema tipico a 12 geofoni con interdistanza di 10 m.***

La strumentazione utilizzata nella prospezione è costituita da un Sismografo registratore ES-1225 Geometrics (USA), alimentato con batteria da 12 V/60 Ah, con 12 canali ed amplificatori su ciascun canale (guadagni 0 - 66 db e forme di traccia 0 - 51 db) filtri, addizionatore di impulsi, visualizzazione e

memorizzazione dati; geofoni Sensor ad asse verticale da 14 Hz e ad asse orizzontale da 10 Hz; cavi sismici multipli Cannon ITT con 12 prese ciascuno ad intervalli di 10 m fra le prese; energizzatore cannoncino Minibang da 1000 Kg.m di potenza, con geofono starter e cavi di collegamento.

La prospezione sismica a rifrazione consiste nell'eseguire una serie di misure in superficie per determinare le variazioni di velocità sismica dei terreni e/o delle rocce in profondità.

Tale metodo richiede l'immissione nel terreno di una certa quantità di energia, la cui intensità, data la distanza variabile tra sorgente di energia e sensori di ricezione, può essere regolata al fine di rispondere, nel modo più esauriente possibile, ai quesiti posti dall'indagine.

Il metodo sismico a rifrazione utilizza i dati forniti dalla rifrazione subita dalle onde elastiche nell'attraversare i terreni e le rocce investigate; più in particolare, attraverso una serie di geofoni (ricevitori) posti a distanze variabili dalla sorgente di energia, tali onde vengono trasformate in impulsi elettrici che opportunamente amplificati e decodificati dall'apparecchiatura di registrazione, permettono la lettura dei tempi di arrivo delle onde sismiche su uno schermo e quindi memorizzati per essere trasferiti successivamente sul computer di servizio.

L'elaborazione dei valori di tali tempi rispetto alle distanze dei geofoni, permette di determinare le velocità dei sismostrati e le loro profondità rispetto alla superficie topografica.

Scopo principale del rilievo sismico a rifrazione è quello di ricostruire il "bed rock", ossia l'orizzonte caratterizzato dalle velocità di propagazione più elevate e quindi dalle migliori caratteristiche di elasticità e resistenza meccanica.

Le basi sismiche a rifrazione sono state realizzate con il sistema delle dromocrone reciproche, in modo da ottenere un controllo sulle reali velocità sismiche dei rifrattori.

Per le basi sismiche in oggetto sono stati effettuati sette punti doppi di energizzazione (scoppi e registrazioni per VP e VS) ubicati secondo uno schema che ne prevede due a 25 m oltre le estremità dei geofoni 1 e 12, due in corrispondenza dei geofoni 1 e 12, uno tra i geofoni 3 e 4, uno al centro tra i geofoni 6 e 7 ed uno tra i geofoni 9 e 10.

Operando in tal modo, si sono ottenuti dati sufficienti per una corretta interpretazione delle velocità, dell'andamento dei rifrattori e della loro profondità di separazione dal piano campagna.

Gli impulsi nel terreno sono stati prodotti mediante cannoncino Minibang della Four Ltd alimentato con cartucce calibro 8 SM tipo industriale.

Per ogni punto di energizzazione è stata effettuata una registrazione dei tempi di arrivo ai vari geofoni degli impulsi sismici mediante memorizzazione.

Tali tempi sono stati successivamente riportati su un grafico tempi/distanze, ottenendo dei tratti di velocità chiamate dromocrone.

L'interpretazione delle basi sismiche a rifrazione è stata effettuata partendo dalle dromocrone con l'aiuto di un software (WinSism) basato su algoritmi matematici relativi al metodo dei tempi di intercetta. Le operazioni effettuate risultano perciò: input dei primi tempi di arrivo ai geofoni previa correzione topografica; output con visualizzazione dei diagrammi tempi/distanze geofoni; input con scelta dei tratti delle dromocrone attribuibili ai diversi strati sismici; output con calcolo delle velocità e delle profondità dei sismostrati, con visualizzazione e restituzione grafica delle sezioni interpretative.

L'interpretazione di tali dromocrone ha permesso di determinare le velocità sismiche dei terreni investigati e le loro profondità dal piano campagna.

In particolare sia la base sismica A (Silla Zona Industriale) sia la base sismica B (Gaggio M. capoluogo) hanno consentito di individuare quattro sismostrati caratterizzati da differenti velocità delle onde di taglio Vs come schematizzato nella seguente tabella, confermando e validando il modello geofisico del terreno ottenuto con le indagini di sismica passiva HVSR.

BASE SISMICA A - LOC. SILLA ZONA INDUSTRIALE			BASE SISMICA B - GAGGIO M. CAPOLUOGO		
Sismostrato	Profondità base strato [m dal p.c.]	Vs [Km/s]	Sismostrato	Profondità base strato [m dal p.c.]	Vs [Km/s]
A1	2,0 ÷ 5,5	0,10 ÷ 0,13	B1	1,0 ÷ 2,3	0,07 ÷ 0,09
A2	8 ÷ 16	0,22 ÷ 0,35	B2	8 ÷ 12	0,18 ÷ 0,27
A3	19 ÷ 35	0,40 ÷ 0,50	B3	20 ÷ 30	0,45 ÷ 0,52
A4	-	0,68 ÷ 0,78	B4	-	0,73 ÷ 0,76

## 5. MODELLO DEL SOTTOSUOLO

Il modello geologico generale dei comparti di studio, che è stato definito grazie ai numerosi dati disponibili e alla campagna geofisica effettuata, è essenzialmente schematizzabile con due unità principali: la prima, superficiale, è costituita dai terreni di copertura che si sovrappongono alla seconda unità caratterizzata dai litotipi ascrivibili al substrato geologico inizialmente alterato e decompresso. La copertura presenta uno spessore variabile, generalmente in aumento procedendo da monte verso valle, e proprietà geomeccaniche solitamente in graduale miglioramento con la profondità.

In particolare la coltre di copertura argilloso limosa, che caratterizza i versanti dei tre comparti di Gaggio Montano, Silla e Marano, presenta caratteristiche a grandi linee omogenee con velocità sismiche mediamente basse (180÷300 m/sec) in superficie (indicativamente 5÷8 m di profondità) che aumentano progressivamente con la profondità, portandosi su valori di 450 ÷ 550 m/s a profondità elevate (25÷35 m dal p.c.).

Per l'abitato di Gaggio Montano si rimanda allo studio di UNIBO allegato a fine testo.

Nelle aree di fondovalle di Silla e di Marano sono presenti terreni copertura di origine alluvionale strutturati in terrazzi e caratterizzati da una miscela di ghiaie eterometriche e sabbie da medie a grossolane; mentre nell'ambito di Pietra Colora la copertura è caratterizzata da corpi detritici di origine eluvio-colluviale caratterizzati da materiale derivante dal disfacimento meccanico della formazione, delle Marne di Antognola.

## 6. METODOLOGIE DI ELABORAZIONE E RISULTATI

### 6.1. Premessa

Lo studio di microzonazione sismica, per le quattro aree del comune di Gaggio Montano, è stato realizzato secondo le seguenti fasi:

1. Individuate delle aree suscettibili di effetti locali, o microzone omogenee in prospettiva sismica (→MOPS, **I° livello** di approfondimento), definendo per ognuna di esse i livelli di approfondimento ritenuti necessari;
2. Determinazione quantitativa attraverso una procedura semplificata dei fattori amplificazione dove consentito (→**II° livello** di approfondimento);
3. Analisi approfondita di **III° livello**;

## 6.2. Metodologie di elaborazione

Le metodologie utilizzate e i risultati ottenuti vengono qui sinteticamente descritti per i tre livelli di microzonazione sismica realizzati per i quattro comparti del comune di Gaggio Montano (I, II e III livello di microzonazione). Nel successivo capitolo ("Elaborati cartografici") i risultati saranno dettagliati e spiegati per ogni singolo prodotto realizzato all'interno dello studio.

## 6.3. I° Livello di Microzonazione

In riferimento agli Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica del Dip. Prot. Civ, sono state individuate e delimitate, all'interno delle quattro aree di studio (una aggiornata e tre invariate), le zone a comportamento equivalente in occasione di sollecitazione sismica e i livelli di approfondimento che competono ad ognuna di esse.

Dall'analisi dei dati **sono state individuate in fase di aggiornamento quattro zone stabili suscettibili di amplificazioni locali** a comportamento sismico omogeneo (la Zona 2 non è più presente a seguito della prescrizione di UNIBO).

- **Zona 1:** Terreni di copertura costituiti da argille inorganiche di media-bassa plasticità di spessore compreso tra 5 e 15 m (si tratta della copertura del substrato Argillitico);
- **Zona 3:** Terreni di copertura composti da ghiaie a granulometria ben assortita e sabbie da medie a grossolane di origine alluvionale (Terrazzi alluvionali di fondo valle);
- **Zona 4:** Terreni di copertura costituiti da sabbia limosa e limoso sabbioso (costituiscono la copertura eluvio-colluviale del substrato flyshoide delle Marne di Antognola – localizzato nel solo comparto di Pietra Colora)
- **Zona 5:** Substrato affiorante e/o sub affiorante molto fratturato, alterato e decompresso. (Velocità  $V_s < 800$  m/s)

Nelle aree di studio, il substrato geologico affiorante o sub-affiorante, non è stato identificato come **zona stabile** priva di effetti amplificativi, bensì come **zona stabile suscettibile di amplificazioni locali** dato il suo stato di forte alterazione e fratturazione superficiale. I differenti tipi di substrato sono stati accumulati nella stessa tipologia di zona poiché associati a comportamenti meccanici e quindi sismici simili.

Nell'ambito dell'aggiornamento alle vigenti linee guida per gli studi di microzonazione sismica sono state caratterizzate quattro **zone di attenzione per instabilità** a comportamento sismico omogeneo:

- **30132005 – ZAfr** - Zona di accumulo per colata attiva – Argille inorganiche (5-15 m) – substrato geologico fratturato;
- **30142006 – ZAfr** - Zona di accumulo per frana complessa attiva – Argille inorganiche (5-15 m) – substrato geologico fratturato;
- **30242007 – ZAfr** - Zona di accumulo per frana complessa quiescente – Argille inorganiche (5-15 m) – substrato geologico fratturato;
- **30242008 – ZAfr** - Zona di accumulo per frana complessa quiescente – Argille inorganiche (15-35 m) – substrato geologico fratturato.

Nel seguente schema sono riportate le rappresentazioni e le descrizioni relative alle zone stabili suscettibili di amplificazioni locali e alle zone di attenzione per instabilità come riportate nella *Carta delle MOPS*.

2001	Zona 1: Terreni di copertura costituiti da argille inorganiche di media-bassa plasticità (5-15 m) – Substrato fratturato
2003	Zona 3: Terreni di copertura alluvionali costituiti da ghiaie a granulometria ben assortite e sabbie (5-10 m) – Substrato fratturato
2004	Zona 4: Terreni di copertura costituiti da sabbia limosa e limo sabbioso (3-15m) – Substrato alterato e fratturato
2099	Zona 5: Substrato affiorante e/o sub affiorante molto fratturato, alterato e decompresso
30132005	30132005 – Zona di accumulo per colata attiva – Argille inorganiche (5-15 m) – Substrato geologico fratturato
30142006	30142006 – Zona di accumulo per fran complessa attiva – Argille inorganiche (5-15 m) – Substrato geologico fratturato
30242007	30242007 – Zona di accumulo per frana complessa quiescente – Argille inorganiche (5-15 m) – Substrato geologico fratturato
30242008	30242008 – Zona di accumulo per frana complessa quiescente – Argille inorganiche (15-35 m) – Substrato geologico fratturato

Per le prove SMS (stratigrafie teoriche), coerenti con questo aggiornamento, si fa riferimento al solo abitato di Gaggio Montano; non sono quindi presenti, all'interno della banca dati, quelle relative alle microzone omogenee che non ricadono all'interno del suddetto comparto.

## II° Livello di Microzonazione

Dall'analisi dei dati ottenuti e sulla base delle indagini sismiche passive realizzate è stato possibile quantificare i fattori amplificativi dei materiali geologici, dei terreni di copertura e del substrato sub-affiorante.

Per suddividere il territorio in base all'amplificazione attesa, in aree a maggiore e minore pericolosità, sono stati calcolati i fattori di amplificazione di ogni zona studiata. I fattori di amplificazione indicati dalla DGR regionale n. 630/2019 sono calcolati per un tempo di ritorno dell'evento sismico pari a  $T_r = 475$  (con smorzamento  $\zeta = 5\%$ ): PGA, SA1, SA2, SA3, SI1, SI2.

**APPENNINO.** Le tabelle relative al settore appenninico sono il riferimento per la stima semplificata dell'amplificazione stratigrafica nelle aree collinari e montane dell'Emilia Romagna. Possono essere applicate anche alle aree di pianura prossime al margine morfologico appenninico-padano dove le coperture detritiche continentali hanno spessore indicativamente non superiore a 50 metri. In caso di

**coperture su substrato non rigido**, vale a dire caratterizzato da  $V_s \ll 800$  m/s, si devono usare le seguenti tabelle:

$V_{SH}$ (m/s) → H (m) ↓	150	200	250	300	350	400	450	500	600	$V_{SH}$ (m/s) → H (m) ↓	150	200	250	300	350	400	450	500	600	$V_{SH}$ (m/s) → H (m) ↓	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700
5	2,3	2,0	1,6	1,5	1,4	1,3	1,3	1,2	1,2	5	2,2	1,8	1,5	1,4	1,3	1,3	1,3	1,3	1,2	5	2,1	1,7	1,5	1,4	1,4	1,3	1,3	1,3	1,3	
10	2,3	2,2	2,0	1,8	1,6	1,4	1,3	1,3	1,2	10	2,5	2,3	1,9	1,7	1,5	1,4	1,3	1,3	1,2	10	2,6	2,3	1,9	1,6	1,5	1,4	1,3	1,3	1,3	
15	2,2	2,2	2,1	2,0	1,8	1,6	1,4	1,3	1,2	15	2,5	2,5	2,2	1,9	1,7	1,5	1,4	1,3	1,2	15	2,7	2,6	2,3	1,9	1,6	1,5	1,4	1,3	1,3	
20	2,1	2,1	2,1	2,0	1,9	1,7	1,5	1,4	1,2	20	2,4	2,4	2,3	2,1	1,8	1,6	1,5	1,3	1,3	20	2,6	2,6	2,4	2,1	1,8	1,6	1,5	1,4	1,3	
25	2,1	2,1	2,1	2,0	1,9	1,8	1,6	1,4	1,3	25	2,4	2,4	2,3	2,2	2,0	1,7	1,6	1,4	1,3	25	2,6	2,6	2,5	2,3	2,0	1,7	1,6	1,4	1,3	
30		2,1	2,1	2,0	1,9	1,8	1,6	1,4	1,3	30		2,3	2,3	2,2	2,0	1,8	1,6	1,5	1,3	30		2,4	2,4	2,3	2,1	1,8	1,6	1,5	1,3	
35		2,1	2,1	2,0	1,9	1,8	1,6	1,5	1,4	35		2,2	2,2	2,2	2,1	1,9	1,7	1,5	1,4	35		2,4	2,4	2,3	2,2	1,9	1,7	1,5	1,4	1,2
40		2,0	2,0	2,0	1,9	1,8	1,6	1,5	1,4	40		2,1	2,1	2,1	2,1	1,9	1,7	1,5	1,4	40		2,2	2,2	2,2	2,2	2,0	1,8	1,6	1,4	1,2
50		1,9	1,9	1,9	1,9	1,8	1,6	1,5	1,4	50		2,0	2,0	2,0	2,0	1,9	1,7	1,5	1,4	50		2,1	2,1	2,1	2,1	2,0	1,8	1,6	1,5	1,3

Fattore di Amplificazione **PGA**

Fattore di Amplificazione **SA1** ( $0,1s \leq T \leq 0,5s$ )

Fattore di Amplificazione **SH** ( $0,1s \leq T \leq 0,5s$ )

$V_{SH}$ (m/s) → H (m) ↓	150	200	250	300	350	400	450	500	600	$V_{SH}$ (m/s) → H (m) ↓	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700
5	1,6	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,3	5	1,4	1,4	1,4	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3
10	2,3	1,8	1,5	1,4	1,4	1,4	1,4	1,3	1,3	10	1,8	1,6	1,4	1,4	1,3	1,4	1,3	1,3	1,3	1,3
15	2,8	2,3	1,9	1,5	1,4	1,4	1,4	1,3	1,3	15	2,3	1,9	1,6	1,4	1,4	1,4	1,3	1,3	1,3	1,3
20	3,2	2,9	2,3	1,8	1,5	1,5	1,4	1,3	1,3	20	2,9	2,6	1,9	1,6	1,4	1,4	1,3	1,3	1,3	1,3
25	3,4	3,2	2,7	2,0	1,7	1,5	1,5	1,4	1,3	25	3,6	3,0	2,3	1,7	1,5	1,4	1,4	1,4	1,3	1,3
30		3,3	2,9	2,3	1,9	1,6	1,5	1,4	1,4	30		3,3	2,7	1,9	1,7	1,5	1,4	1,4	1,3	1,3
35		3,3	3,0	2,5	2,1	1,8	1,6	1,5	1,4	35		3,5	3,0	2,2	1,8	1,6	1,5	1,4	1,3	1,1
40		3,2	3,1	2,7	2,3	2,0	1,7	1,5	1,4	40		3,5	3,2	2,6	2,0	1,8	1,6	1,5	1,4	1,2
50		3,0	3,0	2,8	2,5	2,2	1,9	1,7	1,5	50		3,3	3,3	3,0	2,4	2,0	1,8	1,6	1,5	1,3

Fattore di Amplificazione **SA2** ( $0,4s \leq T \leq 0,8s$ )

Fattore di Amplificazione **SI2** ( $0,5s \leq T \leq 1,0s$ )

$V_{SH}$ (m/s) → H (m) ↓	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700
5	1,4	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3
10	1,6	1,5	1,4	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3
15	1,9	1,7	1,5	1,4	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3
20	2,4	2,1	1,6	1,4	1,4	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3
25	3,4	2,5	1,9	1,5	1,4	1,4	1,3	1,3	1,3	1,3
30		3,0	2,3	1,7	1,5	1,4	1,4	1,3	1,3	1,3
35		3,3	2,7	1,9	1,6	1,5	1,4	1,3	1,3	1,1
40		3,6	3,1	2,2	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3	1,2
50		3,6	3,4	2,9	2,1	1,8	1,6	1,5	1,4	1,2

Fattore di Amplificazione **SA3** ( $0,7s \leq T \leq 1,1s$ )

In caso di substrato marino non rigido, cioè caratterizzato da  $V_s \ll 800$  m/s, affiorante o subaffiorante (copertura di spessore inferiore a 3 metri) vengono utilizzate le seguenti tabelle.

$V_{S30}$ (m/s) →	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700	$V_{S30}$ (m/s) →	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700	$V_{S30}$ (m/s) →	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700				
PGA					1,9	1,8	1,6	1,4	1,2	1,1	SA1					1,9	1,7	1,6	1,4	1,2	1,1	SH					1,9	1,7	1,6	1,4	1,3	1,2				
											SA2					1,7	1,6	1,5	1,4	1,3	1,3	SI2					1,5	1,5	1,4	1,4	1,3	1,3				
											SA3					1,4	1,4	1,3	1,3	1,3	1,2	Fattori di Amplificazione <b>SH</b> ( $0,1s \leq T \leq 0,5s$ ), <b>SI2</b> ( $0,5s \leq T \leq 1,0s$ )														

Fattori di Amplificazione **SA1** ( $0,1s \leq T \leq 0,5s$ ), **SA2** ( $0,4s \leq T \leq 0,8s$ ), **SA3** ( $0,7s \leq T \leq 1,1s$ )

Le analisi dei dati raccolti hanno permesso di definire gli spessori dei depositi di copertura e/o delle profondità del substrato rigido (H) oltre che di definire le velocità equivalenti delle onde di taglio per lo spessore considerato ( $V_{SH}$ ) dei depositi di copertura secondo le formule di seguito riportate:

$$V_{SH} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N h_i / V_{Si}}$$

Sono state quindi prodotte sei carte nelle quali il territorio è stato suddiviso in isoaree sulla base delle classi di amplificazione come indicato nelle linee guida per la Microzonazione Sismica.

### 6.4.1 Elaborazione dei valori Hsm

Nell'ambito dell'aggiornamento alle vigenti linee guida per gli studi di Microzonazione Sismica si è proceduto al calcolo dei valori di Hsm per il comparto relativo all'abitato di Gaggio Montano. Il parametro esprime lo scuotimento atteso al sito in valore assoluto (accelerazione in cm/s<sup>2</sup>), dato dal prodotto del parametro Acceleration Spectrum Intensity (ASIUHS), valore integrale dello spettro di riferimento in accelerazione calcolato per l'intervallo di periodi 0,1s ≤ T ≤ 0,5s, diviso per ΔT (in questo caso pari a 0,4s) e moltiplicato per il fattore di amplificazione in accelerazione (FA) calcolato per lo stesso intervallo di periodi:

$$HSM = (ASIUHS/\Delta T) * FA$$

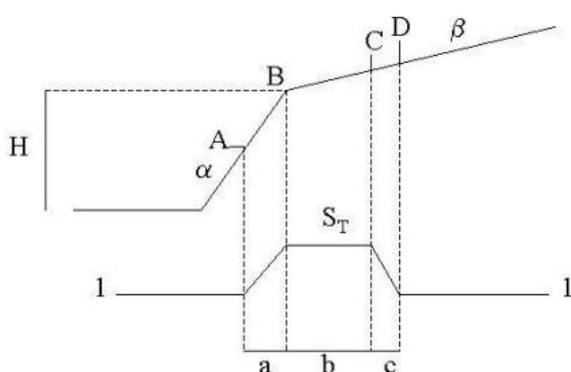
I valori di ASIUHS/ΔT sono stati calcolati per ogni punto della griglia INGV (già disponibili nella pagina web dedicata agli indirizzi per gli studi di microzonazione sismica a cura del SGSS).

I valori di ASIUHS/ΔT sono stati calcolati per ogni punto della griglia INGV (già disponibili nella pagina web dedicata agli indirizzi per gli studi di microzonazione sismica a cura del SGSS).

Le elaborazioni evidenziano valori tendenzialmente più alti negli areali caratterizzati da coperture sovrastanti il substrato roccioso, cioè con un contributo importante all'esito di HSM indotto da fattori di amplificazione più elevati.

### 6.4. Effetti Della Topografia

Nell'area di Pietracolora, scelta proprio per la sua particolare conformazione morfologica, sono state effettuate tre tracce di sezione per la stima delle amplificazioni topografiche (Figura 10). Questi effetti vengono presi in considerazione nei pendii con inclinazione media uguale o maggiore di 15° e nel caso di configurazioni geometriche bidimensionali e tridimensionali (cocuzzolo, cresta, dorsale allungata) di altezza (H) superiore a 30 metri. I fattori di amplificazione litostratigrafica devono essere moltiplicata per un fattore St (coefficiente di amplificazione topografica) calcolato nel seguente modo:



$$S_T = 1 + 0.8(\alpha - \beta - 0.4) \text{ sul segmento BC}$$

$$b: \text{valore minimo tra } 20\alpha \text{ e } \frac{H+10}{4}$$

α e β sono i gradienti della parte più ripida e meno ripida, rispettivamente:

$$S_T = 1 \text{ in A (a = H/3) e } S_T = 1 \text{ in D (c = H/4)}$$

S<sub>T</sub>: si impone comunque un valore compreso tra 1 e 1.4.

Nel caso di Pietracolora i calcoli hanno portato a dei valori di S<sub>T</sub> compresi tra 1 e 1.1 (Figura 11), non comportando alcun cambiamento significativo ai fattori di amplificazione già identificati per quelle aree, che si sono mantenuti all'interno delle loro classi.

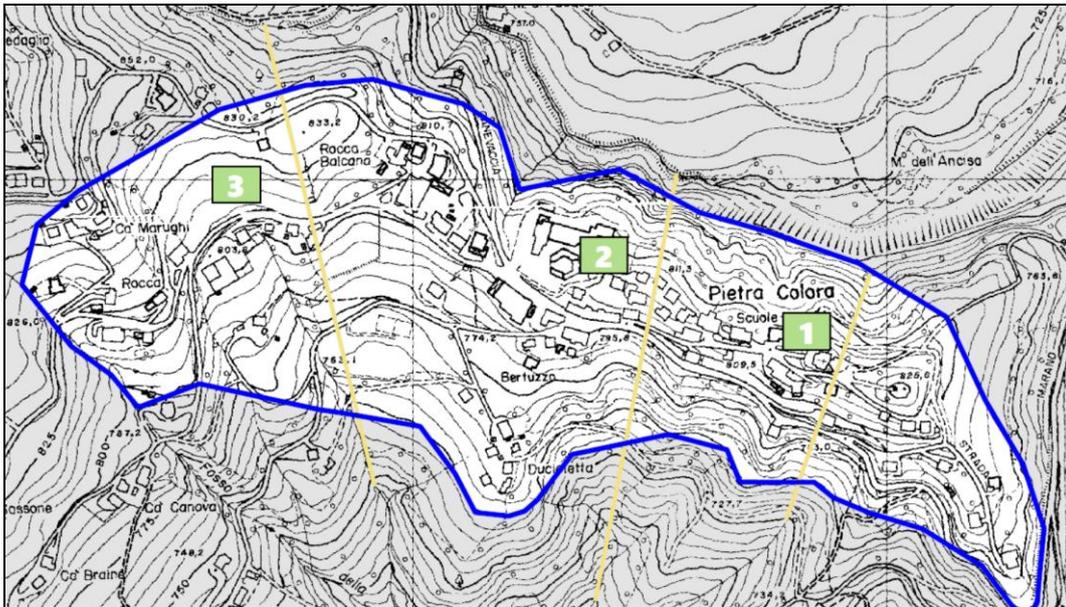


Figura 10. Ubicazione tracce di sezione per la stima del fattore di amplificazione topografica.

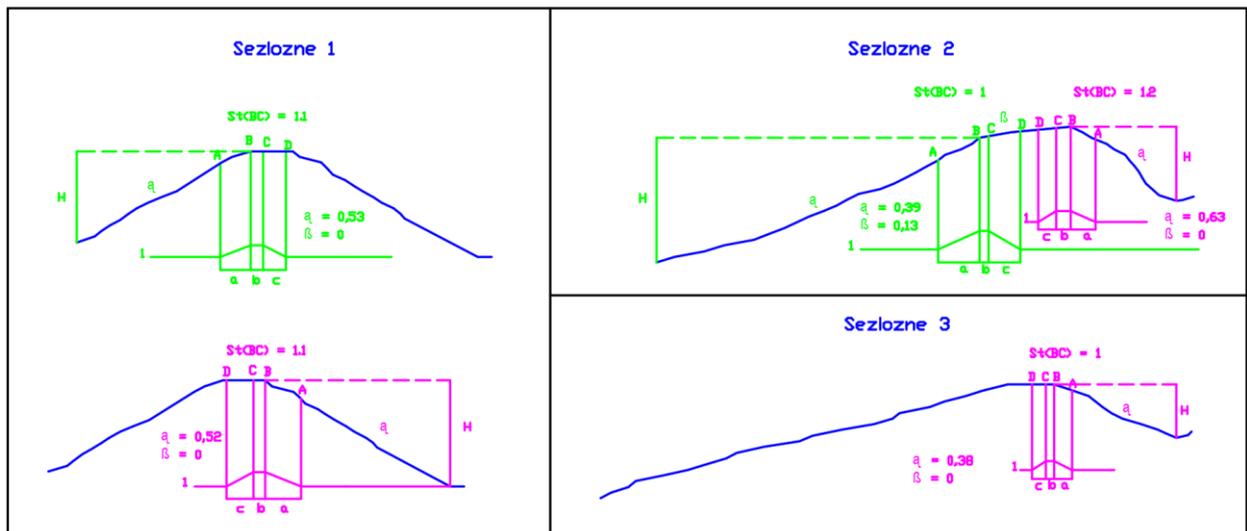


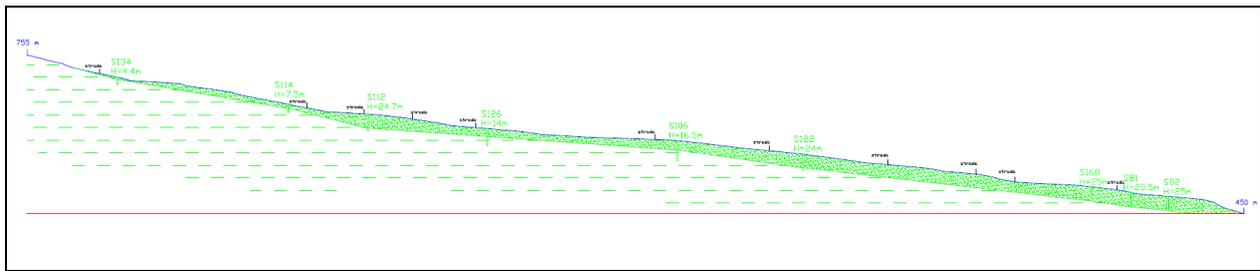
Figura 11. Profili topografici e determinazione di  $S_T$  per l'area di studio di Pietracolora.

### 6.5. III° Livello Di Microzonazione

All'interno delle zone di studio, in base al I° livello di approfondimento, sono state identificate due aree classificate come *zone di attenzione per instabilità di versante* sulle quali sia per la presenza di numerose infrastrutture e fabbricati sia per l'elevato numero di dati a disposizione che consentono un'accurata ricostruzione delle caratteristiche geotecniche e geometriche del versante, si è proceduto ad una quantificazione della pericolosità di frana in condizioni sismiche, attraverso un'analisi predisposta per lo studio comparativo della franosità a vasta scala.

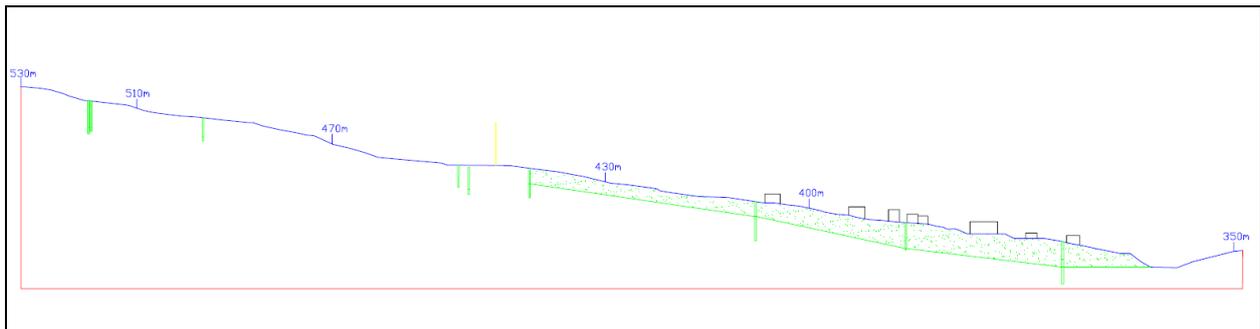
In particolare la prima area è costituita da un'ampia superficie che va dal centro abitato di Gaggio Montano sino al fondovalle che la cartografia geologica della RER classifica come frana complessa attiva.

I numerosi riscontri strumentali (dati inclinometrici) alla data di stesura della relazione prodotta dagli scriventi, mostravano movimenti lenti con tassi di spostamento compreso tra 5÷20 mm/anno.



**Figura 12. Sezione litotecnica Gaggio Montano.**

La seconda, ubicata nella località Silla, è costituita da una superficie classificata come frana quiescente complessa sulla base dei recenti riscontri strumentali (dati inclinometrici), eseguiti dallo scrivente per conto dell'Unione dei Comuni dell'Appennino Bolognese.



**Figura 13. Sezione litotecnica Silla.**

A seguito dello studio di III livello tali aree sono state identificate come **ZSFR zone di suscettibilità per frana in terra o crollo** e classificate secondo il parametro di movimento FRT e ai loro relativi fattori di amplificazione stimati sulla base dello studio di RSL effettuato.

### 6.5.1. RISPOSTA SISMICA LOCALE

Il modello geologico generale delle aree in esame è composto da uno strato superficiale costituito da una coltre argilloso limosa che si sovrappone ai litotipi ascrivibili al substrato argillitico, inizialmente alterato e decompresso. L'andamento della stratigrafia è assimilabile a strati piano-paralleli, pertanto, per valutare gli effetti di amplificazione del terreno, è stato applicato un codice di calcolo monodimensionale (1D).

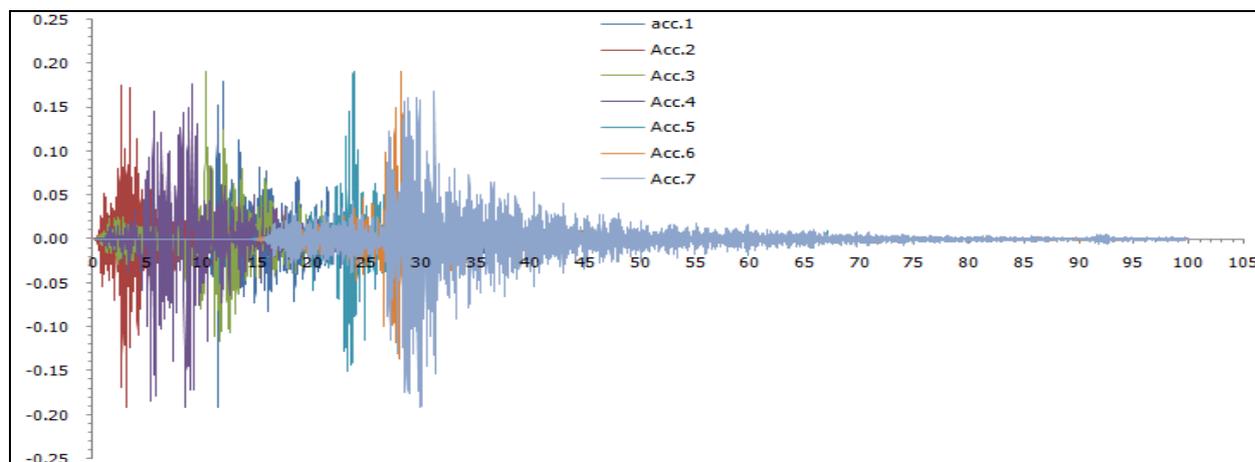
Il codice di calcolo utilizzato è STRATA scritto nel 2007 da Albert Kottke e il professor Ellen M. Rathje e distribuito sotto la GNU General Public License. Il programma calcola la risposta di sito utilizzando il metodo lineare equivalente di propagazione delle onde nel dominio della frequenza con moti di ingresso nel dominio del tempo, o utilizzando il metodo della teoria vibrazione casuale (RVT), e permette la randomizzazione delle proprietà del sito.

#### o Moto Di Input (Gaggio Montano - aggiornato)

La Delibera della Giunta Regionale 12 Aprile 2021 N. 476 "Aggiornamento dell'Atto di coordinamento tecnico sugli studi di microzonazione sismica per la pianificazione territoriale e urbanistica (artt. 22 e 49, L.R. n. 24/2017)", di cui alla deliberazione della Giunta regionale 29 aprile 2019, n. 630, fornisce, per il calcolo della risposta sismica locale nelle analisi di terzo livello, sette accelerogrammi di riferimento rappresentativi dello scuotimento atteso, per un periodo di ritorno di 475 anni (10% di probabilità di superamento in 50 anni), sul suolo di riferimento relativo alla categoria di sottosuolo A (definita nella tabella 3.2.II delle Norme Tecniche per le Costruzioni del 2018, ovvero con  $V_{s30}$  superiore a 800 m/s). I

segnali di riferimento sono disponibili nella piattaforma WebGIS: <http://egeos-test.eucentre.it/rer/home.html>.

I 7 accelerogrammi che costituiscono l'input sismico sono stati ricavati direttamente dallo studio dell'Università di Bologna.



*Rappresentazione grafica dell'andamento temporale dei 7 accelerogrammi rappresentativi dello scuotimento atteso nel periodo di ritorno di 475 anni per Gaggio Montano capoluogo. (Aggiornamento giugno 2022).*

#### ○ Moto Di Input (Silla) Invariato

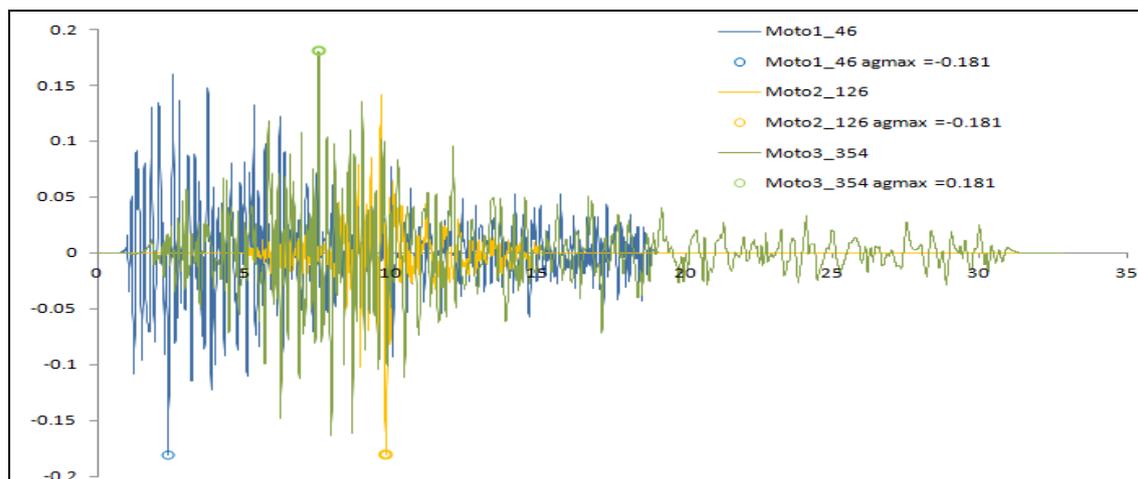
Per la definizione del moto di input ci si è riferiti a quanto contenuto negli Atti di indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica (DAL 112/2007) in quanto si ritiene che gli aggiornamenti approvati con la DGR 2193/2015 non comportino significative variazioni al risultato finale.

La DAL 112/2007 dispone che il calcolo della risposta sismica locale nelle analisi di terzo livello sia eseguito sulla base di segnali di riferimento assegnati ad ogni comune. Tali segnali sono rappresentativi dello scuotimento atteso su un suolo di riferimento, quest'ultimo inteso come la superficie al di sotto della quale si può assumere una velocità di propagazione delle onde di taglio ( $V_s$ ) superiore o uguale a 800 m/s.

Tali segnali (scaricabili nel sito web del Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli regionale <http://ambiente.regione.emilia-romagna.it/geologia/temi/sismica>) sono stati selezionati dalla banca dati accelerometrica "European Strong Motion database" (ISESD) attraverso una procedura che valuta la similarità tra una forma spettrale di riferimento corrispondente al 10% di probabilità di eccedenza in 50 anni e la forma degli spettri di risposta dei segnali contenuti nella banca dati IESD.

In particolare, per il comune di Gaggio Montano, è associato un valore di accelerazione massima orizzontale di picco al suolo ( $a_{g,ref}$ ), cioè per  $T = 0$ , espressa in frazione dell'accelerazione di gravità  $g$  (pari  $9,81 \text{ m/s}^2$ ) e i seguenti tre segnali di riferimento:

1. 000046xa\_037027GaggioMontano.xy
2. 000126xa\_037027GaggioMontano.xy;
3. 000354xa\_037027GaggioMontano.xy;



Andamento temporale degli accelerogrammi forniti dalla Regione Emilia Romagna per il comune di Gaggio Montano (BO).

Ogni file contiene due colonne: la prima colonna corrisponde al tempo, espresso in secondi, la seconda contiene il valore di accelerazione, espresso in frazioni dell'accelerazione di gravità  $g$  (pari a  $9.81 \text{ m/s}^2$ ) al tempo  $t$ .

o *Sismostratigrafia di Input*

Per ogni comparto è stata ricostruita la stratigrafia sismica del sito facendo riferimento sia alle indagini sismiche passive a stazione singola realizzate sia ai dati geognostici disponibili. Il risultato di tali indagini è stato infatti confermato e validato dalle successive indagini di sismica attiva (sismica a rifrazione) realizzate, a seguito della richiesta di integrazione pervenuta con e-mail del Dott. Luca Martelli del 22 aprile 2016, in tali comparti.

Nelle seguenti tabelle si riporta in dettaglio la sismostratigrafia utilizzata nelle simulazioni effettuate con il software STRATA sia per Gaggio Montano che per Silla.

Profondità base strato [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Descrizione
22	22	300	Coltre argilloso limosa
77	55	620	Substrato alterato e decompresso
Inf.	Inf.	800	Substrato di riferimento

**Tabella 1. Stratigrafia sismica definita in STRATA per Gaggio Montano.**

Profondità base strato [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Descrizione
7	7	190	Coltre argilloso limosa superficiale
29	22	300	Coltre argilloso limosa
119	90	600	Substrato alterato e decompresso
Inf.	Inf.	800	Substrato di riferimento

**Tabella 2. Stratigrafia sismica definita in STRATA per Silla.**

Visto il contesto geologico di riferimento e i dati disponibili, per le curve di degrado dei terreni (decadimento del modulo di rigidità a taglio normalizzato  $G/G_0$  e del fattore di smorzamento  $D$  "damping ratio" con la deformazione) si è fatto riferimento a dati bibliografici. In particolare quelle ritenute meglio rappresentative del comportamento dei terreni sono riportate nella seguente Tabella 3.

Descrizione	G/G_max Model	Dampin Model
Coltre argilloso limosa	Vucetic & Dobry, PI = 15	Vucetic & Dobry, PI = 15
Substrato alterato e decompresso	Argilliti (Garfagnana)	Argilliti (Garfagnana)

**Tabella 3. Curva di degrado utilizzate nella simulazione con il software STRATA.**

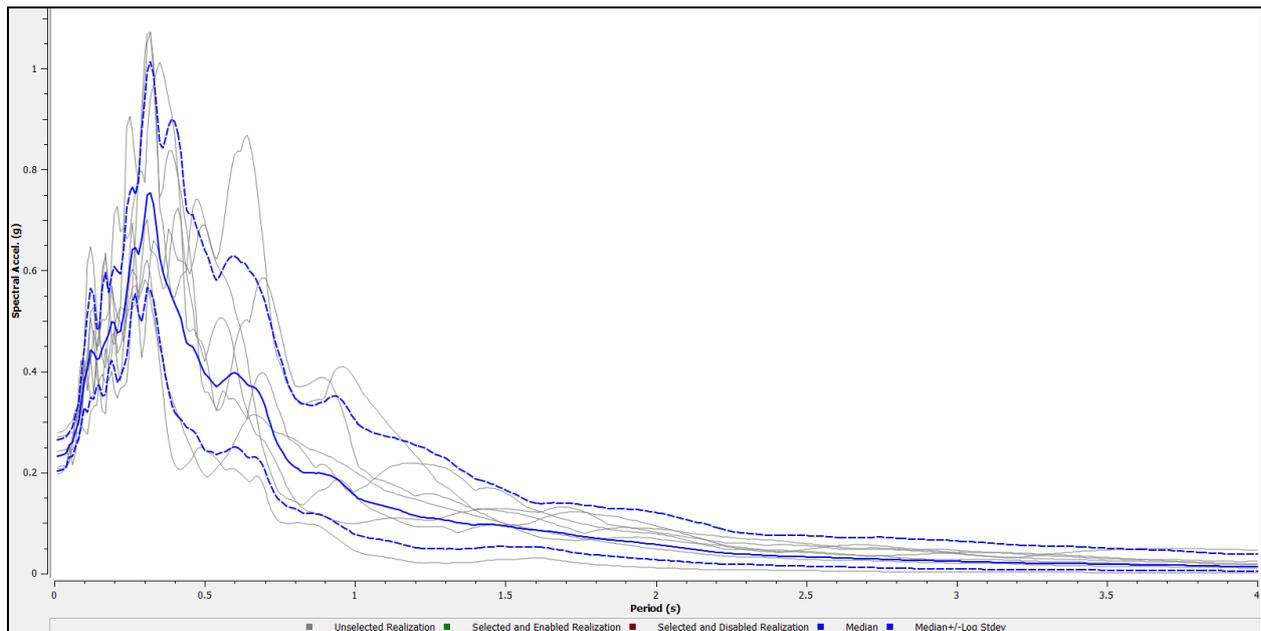
Alle curve predefinite nel database del programma STRATA è stata aggiunta quella relativa alle argilliti ("argilliti (Garfagnana)" nella tabella) ricavate da uno studio condotto dall' *UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI FIRENZE DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE* dal titolo: "Studio geotecnico finalizzato alla valutazione degli effetti locali in alcuni siti campione della Garfagnana (Castelnuovo g., Pieve Fosciana, S. Romano G., Piazza al Serchio)" il cui responsabile è Prof. Ing. Teresa Crespellani, e nel quale sono stati analizzati terreni assimilabili a quelli presenti in sito.

Al fine di valutare l'incertezza e la dispersione che generalmente caratterizza le curve di degrado, è stata attivata l'opzione "Varied". In tal modo il programma utilizza differenti curve generate attraverso la funzione proposta da Darendeli.

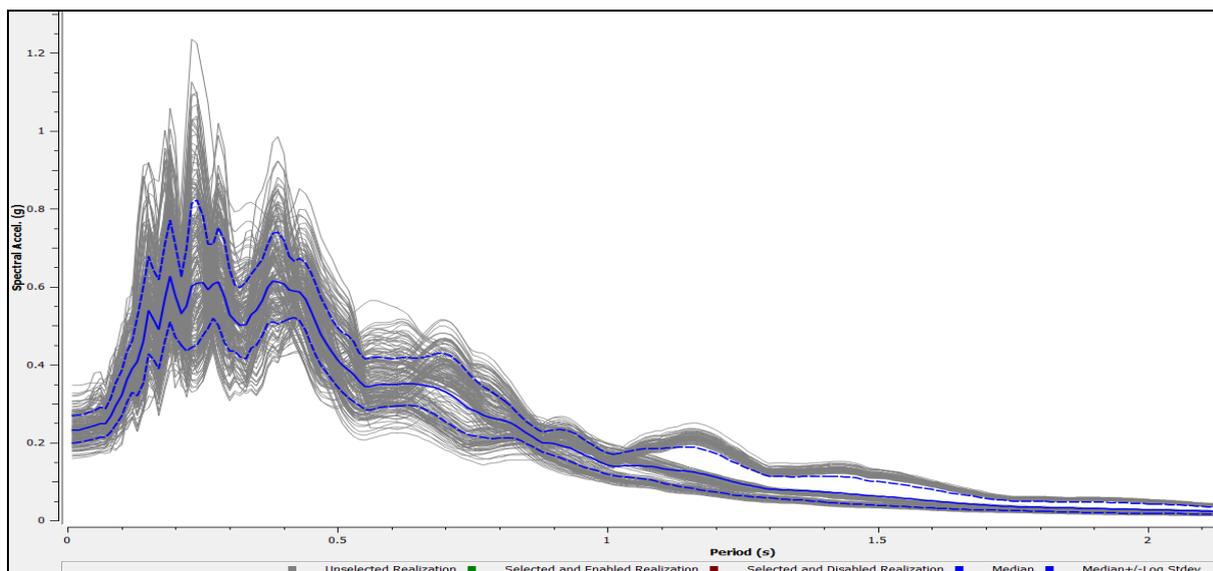
**Figura 14. Impostazioni utilizzate per la variazione dei parametri delle curve di degrado secondo la funzione di Darandeli.**

○ Risultato Della Modellazione Numerica

La modellazione porta a definire i seguenti spettri di risposta in superficie, rappresentati in forma grafica.

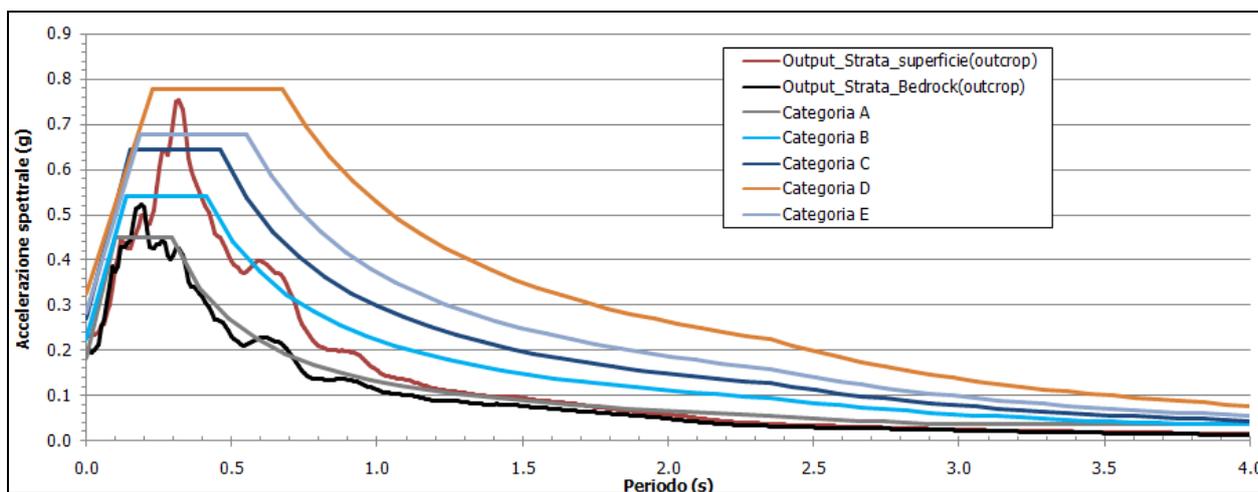


Spettro di risposta in accelerazione ottenuto con la modellazione di STRATA per Gaggio Montano. (Aggiornamento giugno 2022).

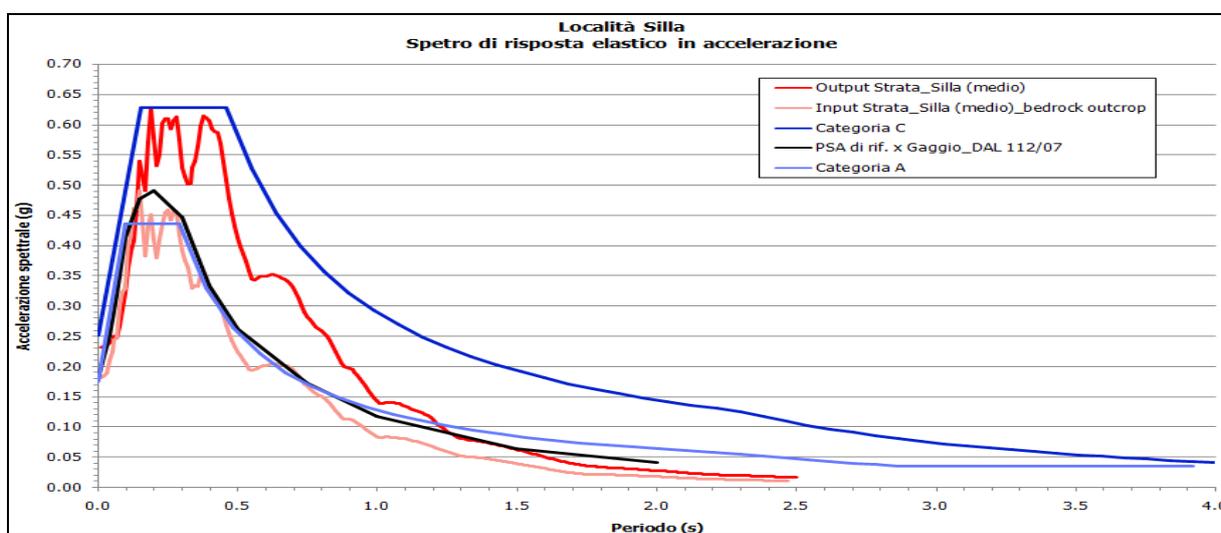


*Spettro di risposta in accelerazione ottenuto con la modellazione di STRATA per Silla.*

Di seguito inoltre si riporta il confronto degli spettri di risposta elastici medi simulati con Strata, quelli relativi alla categoria di suolo A e C delle NTC08 e quello di riferimento per il comune di Gaggio Montano secondo la DAL 112/2007.



*Località Gaggio Montano; confronto tra lo spettro di risposta elastico medio ottenuto con la simulazione di STRATA e quelli da normativa NTC18 (Aggiornamento 2022).*



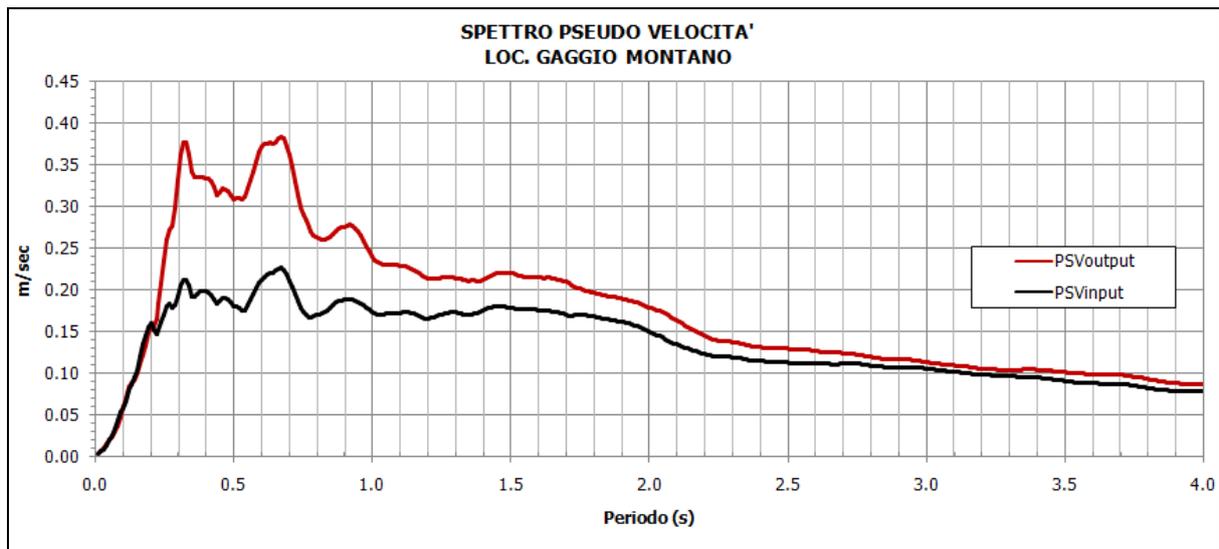
*Località Silla; confronto tra lo spettro di risposta elastico medio ottenuto con la simulazione di STRATA e quelli da normativa NTC08 e DAL 112/2007.*

Il software SRATA non fornisce in output lo spettro di risposta in velocità necessario per il calcolo del rapporto di Intensità di Housner ( $SI/SI_0$ ) come definito nella DAL 112/2007. Pertanto per prima cosa sono stati ricavati gli spettri di risposta in velocità partendo dallo spettro di risposta in accelerazione sia in superficie sia al suolo di riferimento (bedrock\_outcrop in STRATA) tramite la relazione:

$$PSV(t) = PSA(t) * T / (2\pi)$$

dove:

- $PSA(t)$  è lo spettro di risposta in accelerazione
- $T$  = tempo in secondi



PSV spettro di risposta in velocità per la località Gaggio Montano (Aggiornamento 2022).

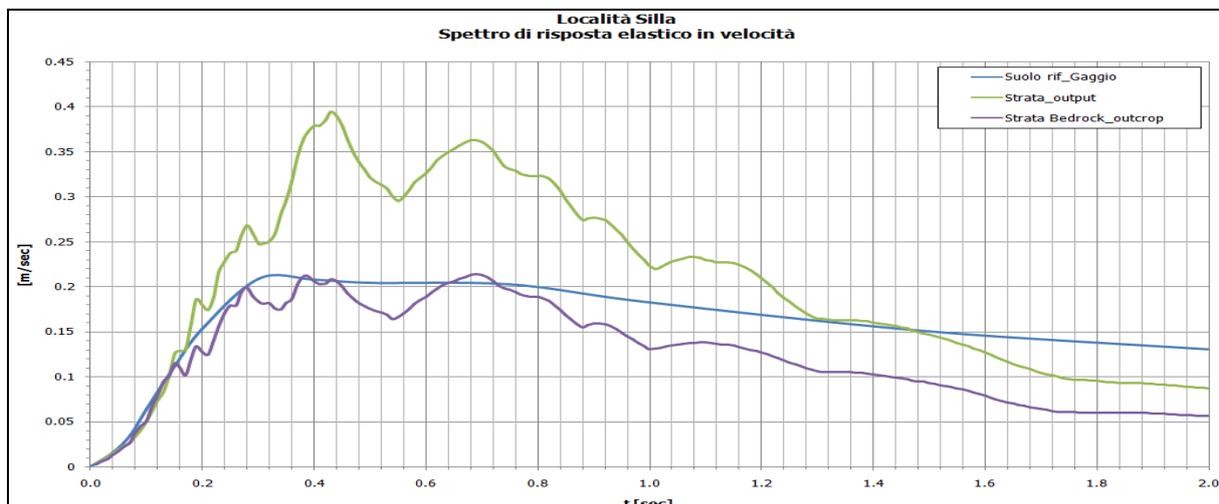


Figura 15. PSV spettro di risposta in velocità per la località Silla.

### 6.5.2. VERIFICHE ANALITICHE DI STABILITÀ

Per il centro abitato di Gaggio Montano si rimanda integralmente ai risultati contenuti nello studio di UNI BO; tali aggiornamenti sono stati utilizzati per la redazione degli elaborati richiesti.

Le verifiche analitiche di stabilità per le parti di studio invariate (Silla), sono state eseguite con il programma di calcolo "Slope" della Geostru Software, che consente di determinare il coefficiente di

sicurezza relativo ad ipotetiche superfici di rottura, pari al rapporto tra la resistenza al taglio disponibile e la resistenza al taglio mobilitata. I metodi di calcolo prevedono la suddivisione della porzione di pendio in oggetto in un numero determinato di conci di uguale ampiezza. Ipotizzando che la base di ciascun cono sia piana e che lungo la superficie di scorrimento valga il criterio di rottura di Mohr-Coulomb, che correla tra loro le reazioni tangenziali e normali, le incognite risultano essere le reazioni laterali, i loro punti di applicazione e le reazioni normali alla base. La risoluzione del calcolo analitico si ottiene introducendo ulteriori condizioni sugli sforzi agenti sui conci, che risultano differenti a seconda del metodo di calcolo utilizzato (Bell, Bishop, ecc). Su ciascuna sezione sono state analizzate diverse superfici di scivolamento individuate compatibilmente con i dati inclinometrici disponibili.

Tutte le verifiche sono state realizzate facendo riferimento alle Norme Tecniche per le Costruzioni, approvate con il D.M. 14-01-2008, seguendo l'Approccio 1 - Combinazione 2.

Dal punto di vista sismico le analisi di stabilità hanno fatto riferimento all'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri 20 marzo 2003, n° 3274 ed al D.M. 14-gennaio-2008. Per la definizione delle azioni sismiche da utilizzare nel modello di calcolo è stata realizzato uno studio di risposta sismica locale (RSL) come descritto nell'apposito paragrafo.

Considerato il contesto geologico-stratigrafico studiato le verifiche sono state condotte, cautelativamente, considerando una situazione a lungo termine con i parametri geotecnici efficaci.

I materiali sono i terreni limoso argillosi e argillosi limosi che costituiscono la coltre di copertura del substrato argillitico. Vista la forte variabilità in merito alle caratteristiche meccaniche, considerate anche le notevoli dimensioni delle superfici e di volumi interessati, per una stima la più attendibile possibile, dei parametri geotecnici caratteristici, si è fatto riferimento, oltre che ai numerosi dati geotecnici puntuali disponibili, anche a quanto contenuto nella Tesi di Dottorato a cura del Dott. Eros Leoni dal titolo "Contributo della modellistica idrologica all'analisi di suscettività alle frane superficiali in argilla", che prende in considerazione il risultato di dati derivanti da prove fisico-meccaniche eseguite su oltre 100 campioni (Alma Mater Studiorum Università degli Studi di Bologna Facoltà di Scienze Matematiche, Fisiche e Naturali - Dipartimento di Scienze della Terra e Geologico-Ambientali - Dottorato di ricerca in Modellistica Fisica per la Protezione Ambientale - XX Ciclo Settore Scientifico Disciplinare: GEO/05).

Da quanto emerso i terreni di copertura presenti sono dotati di un angolo di attrito di picco di circa 22° e residuo compreso tra 14° e 15° con un range di coesione efficace realisticamente compreso tra 0÷3 kPa. Nelle analisi analitiche di stabilità sono state ipotizzate quattro superfici di scivolamento compatibili con l'assetto morfologico dell'area e con i risultati dei monitoraggi inclinometrici disponibili. Su tali superfici le resistenze disponibili e utilizzate derivano dai parametri geotecnici residui. Nella seguente Tabella 4 si riportano i parametri geotecnici utilizzati nella calcolazione analitica.

<b>PARAMETRI GEOTECNICI CARATTERISTICI</b>			
<i>Unità litotecnica</i>	$\gamma_k$ [t/m <sup>3</sup> ]	$\phi'_k$ [°]	$c'_k$ [kPa]
<i>A: Coltre eluvio-colluviale argilloso limosa</i>	1,9	14	0

**Tabella 4. Parametri geotecnici caratteristici.**  $\gamma_k$ = peso di volume;  $\phi'_k$ = angolo d'attrito interno  $c'_k$  = coesione.

Le verifiche effettuate in condizioni statiche hanno mostrato, fattori di sicurezza ampiamente maggiori di 1.1 indicando una situazione stabile.

La sintesi delle verifiche effettuate è riportata nella seguente Tabella 5.

<b>VERIFICA ANALITICHE DI STABILITÀ IN CONDIZIONI STATICHE METODO DI CALCOLO DI BELL (1968)</b>				
<i>Descrizione</i>	<i>FS SUP. 1</i>	<i>FS SUP. 2</i>	<i>FS SUP.E 3</i>	<i>FS SUP. 4</i>
SEZIONE 1 GAGGIO MONTANO (vedi studio UNIBO)				
SEZIONE 2 SILLA	1,27	1,31	1,28	1,38

**Tabella 5. Sintesi analisi analitica di stabilità in condizioni statiche.**

Le verifiche analitiche di stabilità in condizioni sismiche sono state eseguite con il metodo pseudostatico e, come già accennato, facendo riferimento alle indicazioni delle NTC08 che prevede i seguenti dati di input:

- coordinate geografiche del sito d'intervento (ED50);
- cautelativamente categoria di suolo C (vedi risultati della risposta sismica locale effettuata);
- tipo di opera: 2-Opere ordinarie;
- classe d'uso: Classe II;
- stato limite: Salvaguardia della vita (SLV; TR = 475 anni);

I risultati ottenuti dalle verifiche di stabilità in condizioni sismiche, mostrano per il settore Silla FS= 0,86÷0,92) vedi Tabella 6. Per il settore Gaggio Montano si rimanda allo Studio di UNIBO

<b>VERIFICA ANALITICHE DI STABILITÀ IN CONDIZIONI SISMICHE METODO DI CALCOLO DI BELL (1968)</b>				
<i>Descrizione</i>	<i>FS SUP. 1</i>	<i>FS SUP. 2</i>	<i>FS SUP.E 3</i>	<i>FS SUP. 4</i>
GAGGIO MONTANO (Vedi studio UNIBO)				
SILLA	0,86	0,88	0,87	0,92

**Tabella 6. Sintesi analisi analitica di stabilità in condizioni sismiche.**

Il programma di calcolo "Slope" della Geostru Software, consente la stima degli spostamenti cosismici del versante lungo le superfici analizzate mediante l'applicazione di metodi dinamici semplificati, ed in particolare attraverso il metodo del blocco rigido di Newmark (1965).

Per l'area di Silla è stato determinato il valore di Kc che individua per ogni superficie la soglia di instabilità. Le analisi sono state effettuate considerando i tre accelerogrammi di riferimento forniti dalla Regione Emilia Romagna per il comune di Gaggio Montano (allegato 4 DAL 112/2007). I risultati ottenuti sono sintetizzati nella seguente Tabella 7.

<b>SEZIONE GAGGIO - SPOSTAMENTI (VEDI STUDIO UNIBO)</b>					<b>SEZIONE SILLA - SPOSTAMENTI</b>				
	Kc [a/g]	acc.	acc.0	Acc.		Kc [a/g]	acc.0046	acc.0126	acc.0354
Sup1					Sup1	0.038	1.4 cm	0.3 cm	2.0 cm
Sup2					Sup2	0.042	1.1 cm	0.2 cm	1.6 cm
Sup3					Sup3	0.040	1.2 cm	0.3 cm	1.8 cm
Sup4					Sup4	0.049	0.8 cm	0.2 cm	1.1 cm

**Tabella 7. Sintesi stima spostamenti permanenti post sismici attesi.**

I massimi spostamenti post sismici permanenti stimati per Silla pari a 2 cm. Si sottolinea che tali valori sono da intendersi esclusivamente come indicatori del livello di danno che la zona considerata può subire in occorrenza di un evento sismico e non come reali spostamenti.

## 7. ELABORATI CARTOGRAFICI

Come riportato precedentemente nello studio sono rappresentate due set di cartografia: uno *contenente gli aggiornanti effettuati per il Comparto dell'abitato di Gaggio Montano (richieste UNBO)* l'altro *contenete le tavole dello studio validato nel 2017.*

### 7.1. Carta delle Indagini

Le 138 indagini geotecniche e geofisiche complessivamente utilizzate per questo studio, oltre a quelle integrative realizzate nel corso dello studio di sono rappresentate nella Carta delle Indagini riportata in allegato ed archiviate nel database associato. La carta e il database sono stati realizzati secondo gli standard di rappresentazione e archiviazione informatica per la Microzonazione Sismica versione 4.2.

### 7.2. Carta geologico-tecnica per la micro zonazione sismica

La denominazione delle litologie descritte nella carta geologico-tecnica è stata resa armonica con la legenda della Carta Geologica Regionale dell'Emilia-Romagna, che è stata utilizzata come cartografia di riferimento. I risultati riportati nelle cartografie derivano dai rilevamenti diretti effettuati nel corso del rilevamento geologico e morfologico effettuato nell'ambito del presente studio.

Secondo gli standard di rappresentazione di riferimento i terreni di copertura e il substrato geologico sono stati catalogati come segue:

#### *Terreni di copertura*

- **CL** : Argille inorganiche di media-bassa plasticità, argille ghiaiose e sabbiose
- **MH** : Limi organici, sabbie fini, limi micacei o diatomici
- **GW** : Ghiaie pulite con granulometria ben assortita, miscela di ghiaie e sabbie

#### *Substrato geologico*

- **LP\_SF** : Lapideo molto fratturato
- **CO\_SF**: Coesivo sovraconsolidato molto fratturato
- **AL\_SF**: Alternanza di litotipi molto fratturato

Sono state individuate due categorie di instabilità di versante:

- Colamento
- Complessa

Entrambe sono state differenziate in base al loro stato di attività o di quiescenza.

Come descritto negli standard, nella carta sono state inserite le tracce di sezione geologica rappresentative del modello di sottosuolo. Inoltre sono presenti i sondaggi che hanno raggiunto il substrato geologico con relativa indicazione della quota.

### 7.3. Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica

Come descritto nel capitolo 6, sono state individuate cinque zone stabili suscettibili di amplificazioni locali:

- **Zona 1:** Terreni di copertura costituiti da argille inorganiche di media-bassa plasticità di spessore compreso tra 5 e 15 m (si tratta della copertura del substrato Argillitico);
- **Zona 3:** Terreni di copertura composti da ghiaie a granulometria ben assortite e sabbie da medie a grossolane di origine alluvionale (Terrazzi alluvionali di fondo valle);
- **Zona 4:** Terreni di copertura costituiti da sabbia limosa e limoso sabbioso (costituiscono la copertura eluvio-colluviale del substrato flyshoide delle Marne di Antognola – localizzato nel solo comparto di Pietra Colora.)

- **Zona 5:** Substrato affiorante e/o sub affiorante molto fratturato, alterato e decompresso.  
(Velocità  $V_s < 800$  m/s)

Nella carta sono stati inseriti i punti di misura di rumore ambientale, in aggiunta alle tracce di sezione geologica e a quelle per gli approfondimenti delle amplificazioni topografiche.

Le zone di attenzione per instabilità di versante sono state suddivise come segue:

- **30132005 – ZAfr** - Zona di accumulo per colata attiva – Argille inorganiche (5-15 m) – substrato geologico fratturato;
- **30142006 – ZAfr** - Zona di accumulo per frana complessa attiva – Argille inorganiche (5-15 m) – substrato geologico fratturato;
- **30242007 – ZAfr** - Zona di accumulo per frana complessa quiescente – Argille inorganiche (5-15 m) – substrato geologico fratturato;
- **30242008 – ZAfr** - Zona di accumulo per frana complessa quiescente – Argille inorganiche (15-35 m) – substrato geologico fratturato.

#### 7.4. Carta di microzonazione sismica (livello 3)

Nello studio validato nell'ottobre 2017 sono state prodotte tre distinte carte, ognuna delle quali associata ad uno specifico fattore di amplificazione (Fpga, FH0.1-0.5, FH0.5-1.0).

Con l'aggiornamento sono state prodotte le carte relative agli altri fattori di amplificazione indicati nel DGR regionale n. 630/2019 (FA 0.1-0.5, FA 0.4-0.8, FA 0.7-1.1) in aggiunta a quelli sopra citati, oltre che i valori di HSM, H 0.4-0.8, H 0.7-0.1.

Alle aree stabili e instabili perimetrate nella carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica sono associati, nelle carte di microzonazione sismica di livello 3, i fattori di amplificazione valutati con metodi semplificati descritti nel Paragrafo 7.1.

In relazione ai risultati ottenuti nello studio di III livello, le **zone di attenzione per instabilità di versante** sono state denominate come **zone di suscettibilità per frana in terra o crollo** e classificate secondo il parametro di movimento FRT e ai loro relativi fattori di amplificazione stimati sulla base dello studio di RSL effettuato.

Queste aree presentano quindi in carta due retini sovrapposti, come indicato dagli standard di rappresentazione.

Le Zone suscettibili d'instabilità sulle quali non sono stati effettuati gli approfondimenti relativi al III° livello sono state identificate come **zone di attenzione per instabilità di frana**.

dott. Luca Monti

GEOLOGO



---

# ***ALLEGATO A***

**VERIFICHE ANALITICHE DI STABILITÀ**

---

## Relazione di calcolo

### Definizione

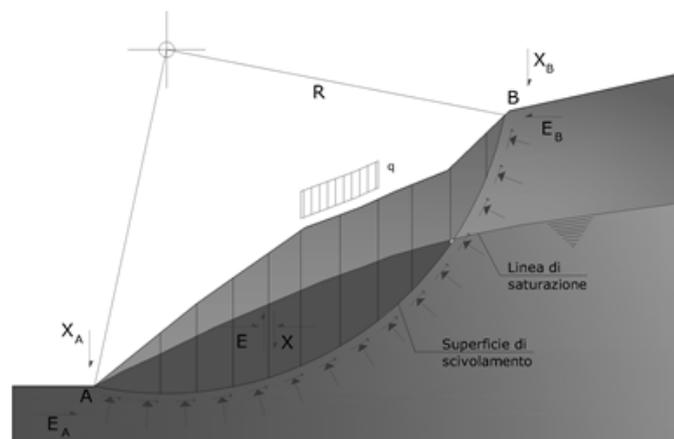
Per pendio s'intende una porzione di versante naturale il cui profilo originario è stato modificato da interventi artificiali rilevanti rispetto alla stabilità. Per frana s'intende una situazione di instabilità che interessa versanti naturali e coinvolgono volumi considerevoli di terreno.

### Metodo equilibrio limite (LEM)

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

$$F = \tau_f / \tau$$

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



### Metodo dei conci

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

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

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

Mentre le equazioni a disposizione sono:

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

Totale numero di equazioni  $4n$ .

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

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

Il grado di indeterminazione si riduce ulteriormente a  $(n-2)$  in quanto si fa l'assunzione che  $N_i$  sia applicato nel punto medio della striscia. Ciò equivale ad ipotizzare che le tensioni normali totali siano uniformemente distribuite.

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

### Metodo di 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:

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

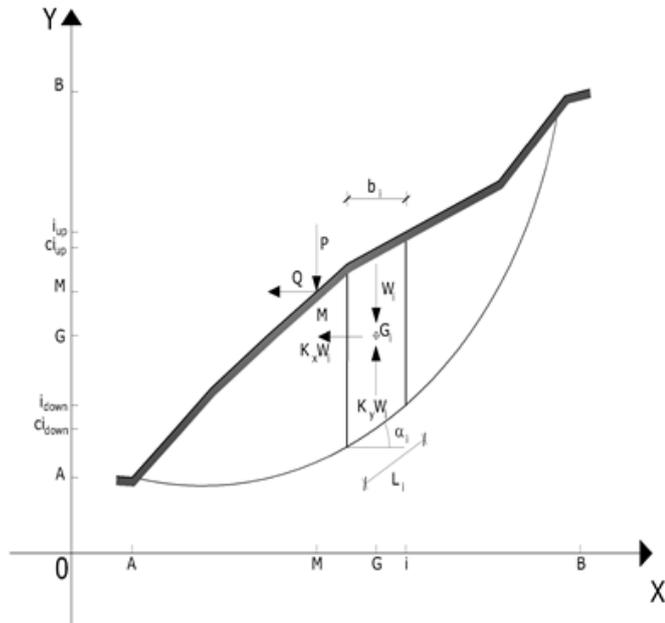
Il secondo termine dell'equazione include la funzione:

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

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.

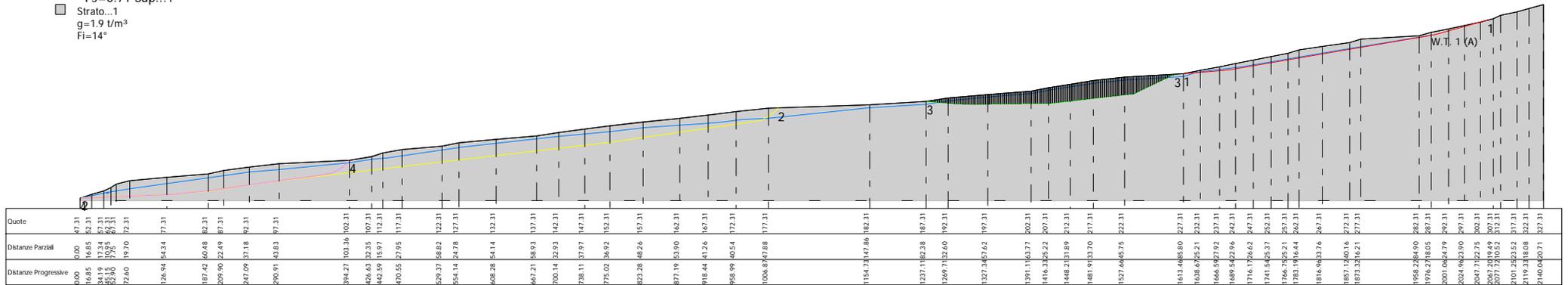
#### **Ricerca della superficie di scorrimento critica**

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.

GAGGIO MONTANO  
 VERIFICA ANALITICA DI STABILITA'  
 IN CONDIZIONI SISMICHE  
 (Approccio 1 - Combinazione 2)

Fs=0.62 Sup...4  
 Fs=0.59 Sup...3  
 Fs=0.61 Sup...2  
 Fs=0.71 Sup...1  
 Strato...1  
 g=1.9 t/m³  
 Fi=14°



**Analisi di stabilità dei pendii con: BELL (1968)**

Lat./Long.	44.195456/10.941047
Normativa	NTC 2008
Numero di strati	1.0
Numero dei conci	200.0
Grado di sicurezza ritenuto accettabile	1.0
Coefficiente parziale resistenza	1.1
Analisi	Condizione drenata
Superficie di forma generica	

**Coefficienti sismici [N.T.C.]**

**Dati generali**

Tipo opera:	2 - Opere ordinarie
Classe d'uso:	Classe II
Vita nominale:	50.0 [anni]
Vita di riferimento:	50.0 [anni]

**Parametri sismici su sito di riferimento**

Categoria sottosuolo:	B
Categoria topografica:	T1

S.L. Stato limite	TR Tempo ritorno [anni]	ag [m/s <sup>2</sup> ]	F0 [-]	TC* [sec]
S.L.O.	30.0	0.59	2.48	0.25
S.L.D.	50.0	0.75	2.45	0.26
S.L.V.	475.0	1.77	2.46	0.29
S.L.C.	975.0	2.23	2.47	0.3

**Coefficienti sismici orizzontali e verticali**

Opera: Stabilità dei pendii e Fondazioni

S.L. Stato limite	amax [m/s <sup>2</sup> ]	beta [-]	kh [-]	kv [sec]
S.L.O.	0.708	0.2	0.0144	0.0072
S.L.D.	0.9	0.2	0.0184	0.0092
S.L.V.	2.124	0.24	0.052	0.026
S.L.C.	2.621	0.28	0.0748	0.0374

**Vertici profilo**

N	X m	y m
1	28.72	47.29
2	59.14	47.95
3	69.77	54.04
4	81.91	63.19
5	92.24	63.22
6	117.0	68.08
7	136.4	72.25
8	149.14	74.49
9	160.06	77.23
10	178.35	80.22
11	213.09	80.22
12	224.14	85.53
13	266.34	85.53
14	278.0	90.61
15	281.21	91.38
16	290.33	91.32
17	293.52	92.92
18	301.99	94.34
19	311.13	96.7
20	322.42	97.36

21	339.28	98.34
22	347.27	99.14
23	355.93	100.02
24	362.74	100.7
25	377.96	101.74
26	391.76	104.2
27	400.83	106.73
28	413.78	107.76
29	427.44	110.09
30	434.98	112.43
31	445.76	114.68
32	456.86	116.99
33	471.93	118.63
34	485.87	120.74
35	497.93	120.74
36	537.12	126.69
37	571.31	127.9
38	605.14	132.63
39	614.97	134.39
40	617.72	136.4
41	628.33	138.19
42	651.68	141.19
43	670.63	143.04
44	682.06	145.82
45	701.85	150.64
46	708.93	151.91
47	732.45	156.13
48	753.1	158.63
49	784.1	162.78
50	817.24	163.17
51	855.43	163.49

**Vertici superficie Nr...1**

N	X m	y m
1	59.14	47.95
2	109.22	47.0
3	158.55	47.98
4	202.09	50.79
5	248.23	55.83
6	294.25	62.02
7	336.3	69.03
8	421.56	86.48
9	506.55	105.23
10	634.63	121.59
11	762.71	142.23
12	773.04	145.41
13	783.36	150.45
14	789.89	156.68
15	795.37	162.98

**Vertici superficie Nr...2**

N	X m	y m
1	372.4	101.46
2	442.26	102.32
3	506.55	105.23
4	634.63	121.59
5	762.71	142.23
6	773.04	145.41
7	783.36	150.45
8	789.89	156.68
9	795.38	162.98

**Vertici superficie Nr...3**

N	X m	y m
1	59.14	47.95
2	109.22	47.0
3	158.55	47.98
4	202.09	50.79
5	248.17	55.82
6	294.25	62.02
7	336.3	69.03
8	421.42	86.46
9	506.55	105.23
10	518.72	109.39
11	528.94	116.7
12	537.12	126.69

**Vertici superficie Nr...4**

N	X m	y m
1	59.14	47.95
2	109.22	47.0
3	158.55	47.98
4	202.09	50.79
5	248.23	55.83
6	294.25	62.02
7	336.3	69.03
8	357.83	74.81
9	368.6	80.16
10	379.36	87.88
11	400.83	106.73

**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	Si

**Stratigrafia**

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

Strato	c (kN/m <sup>2</sup> )	cu (kN/m <sup>2</sup> )	Fi (°)	G (t/m <sup>3</sup> )	Gs (t/m <sup>3</sup> )	K (Kg/cm <sup>3</sup> )	Litologia
1			14	1.9		0.00	

Superficie Nr...1 Fattore di sicurezza=1.27

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (kN)	Kh•Wi (kN)	Kv•Wi (kN)	c (kN/m <sup>2</sup> )	Fi (°)	Ui (kN)	N'i (kN)	Ti (kN)
1	3.68	-1.1	3.68	74.65	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	-19.5	-2.8
2	3.68	-1.1	3.68	223.95	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	-30.0	-4.3
3	3.68	-1.1	3.68	373.25	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	-40.6	-5.8
4	3.68	-1.1	3.68	550.67	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	-53.1	-7.6
5	3.68	-1.1	3.68	745.89	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	-66.9	-9.5
6	3.68	-1.1	3.68	941.1	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	-80.7	-11.5
7	3.68	-1.1	3.68	1076.5	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	-90.3	-12.9
8	3.68	-1.1	3.68	1081.94	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	-90.6	-12.9
9	3.68	-1.1	3.68	1087.38	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	-90.9	-13.0
10	3.68	-1.1	3.68	1117.73	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	-93.0	-13.3
11	3.68	-1.1	3.68	1172.08	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	-96.8	-13.8
12	3.68	-1.1	3.68	1226.43	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	-100.6	-14.3
13	3.68	-1.1	3.68	1280.78	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	-104.4	-14.9

14	3.68	-0.2	3.68	1333.19	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	-31.6	-4.5
15	3.68	1.1	3.68	1380.66	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	89.5	12.8
16	3.68	1.1	3.68	1425.16	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	92.9	13.2
17	3.68	1.1	3.68	1473.39	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	96.6	13.8
18	3.68	1.1	3.68	1522.67	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	100.3	14.3
19	3.68	1.1	3.68	1571.96	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	104.1	14.8
20	3.68	1.1	3.68	1621.24	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	107.8	15.4
21	3.68	1.1	3.68	1670.52	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	111.5	15.9
22	3.68	1.1	3.68	1714.73	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	114.9	16.4
23	3.68	1.1	3.68	1754.12	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	117.9	16.8
24	3.68	1.1	3.68	1793.5	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	120.9	17.2
25	3.68	1.1	3.68	1833.82	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	124.0	17.7
26	3.68	1.1	3.68	1892.0	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	128.4	18.3
27	3.68	1.1	3.68	1950.18	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	132.8	18.9
28	3.68	3.7	3.69	2000.95	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	465.8	66.4
29	3.68	3.7	3.69	2026.03	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	474.2	67.6
30	3.68	3.7	3.69	2051.08	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	480.3	68.5
31	3.68	3.7	3.69	2076.12	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	486.4	69.3
32	3.68	3.7	3.69	2101.17	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	492.5	70.2
33	3.68	3.7	3.69	2121.52	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	497.5	70.9
34	3.68	3.7	3.69	2105.25	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	493.6	70.3
35	3.68	3.7	3.69	2088.97	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	489.8	69.8
36	3.68	3.7	3.69	2072.7	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	486.0	69.3
37	3.68	3.7	3.69	2056.43	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	482.1	68.7
38	3.68	3.7	3.69	2040.15	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	478.3	68.2
39	3.68	4.1	3.69	2022.94	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	530.1	75.5
40	3.68	6.2	3.7	2000.1	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	801.6	114.2
41	3.68	6.2	3.7	1972.54	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	790.5	112.7
42	3.68	6.2	3.7	1944.99	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	779.4	111.1
43	3.68	6.2	3.7	1999.42	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	801.6	114.2
44	3.68	6.2	3.7	2093.18	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	839.7	119.7
45	3.68	6.2	3.7	2186.94	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	877.9	125.1
46	3.68	6.2	3.7	2198.85	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	882.9	125.8
47	3.68	6.2	3.7	2171.3	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	871.7	124.2
48	3.68	6.2	3.7	2143.74	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	860.6	122.6
49	3.68	6.2	3.7	2116.19	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	849.5	121.1
50	3.68	6.2	3.7	2088.64	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	838.3	119.5
51	3.68	6.2	3.7	2061.08	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	827.2	117.9
52	3.68	7.1	3.71	2031.51	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	936.6	133.5
53	3.68	7.7	3.71	1998.71	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	991.6	141.3
54	3.68	7.7	3.71	1964.73	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	974.7	138.9
55	3.68	7.7	3.71	1930.75	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	957.7	136.5
56	3.68	7.7	3.71	1896.76	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	940.7	134.1
57	3.68	7.7	3.71	1885.73	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	935.3	133.3
58	3.68	7.7	3.71	1961.81	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	973.5	138.7
59	3.68	7.7	3.71	2037.88	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	1011.7	144.2
60	3.68	7.7	3.71	2111.91	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	1048.9	149.5
61	3.68	7.7	3.71	2128.14	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	1057.1	150.7
62	3.68	7.7	3.71	2092.51	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	1039.3	148.1
63	3.68	7.7	3.71	2056.89	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	1021.5	145.6
64	3.68	7.9	3.72	2109.22	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	1079.9	153.9
65	3.68	9.5	3.73	2127.68	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	1311.4	186.9
66	3.68	9.5	3.73	2127.88	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	1311.6	186.9
67	3.68	9.5	3.73	2140.07	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	1319.3	188.0
68	3.68	9.5	3.73	2163.18	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	1333.7	190.1
69	3.68	9.5	3.73	2184.29	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	1346.9	192.0
70	3.68	9.5	3.73	2156.89	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	1329.9	189.5
71	3.68	9.5	3.73	2129.49	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	1313.0	187.1
72	3.68	9.5	3.73	2102.09	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	1296.1	184.7
73	3.68	9.5	3.73	2074.69	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	1279.1	182.3
74	3.68	9.5	3.73	2047.3	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	1262.2	179.9
75	3.68	9.5	3.73	2019.9	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	1245.2	177.5
76	3.68	10.9	3.75	1989.12	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	1424.2	203.0

77	3.68	11.6	3.76	1957.77	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	1483.7	211.5
78	3.68	11.6	3.76	1931.54	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	1463.8	208.6
79	3.68	11.6	3.76	1905.31	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	1443.9	205.8
80	3.68	11.6	3.76	1879.07	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	1424.0	202.9
81	3.68	11.6	3.76	1852.84	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	1404.0	200.1
82	3.68	11.6	3.76	1826.6	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	1384.1	197.3
83	3.68	11.6	3.76	1800.2	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	1364.0	194.4
84	3.68	11.6	3.76	1765.82	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	1337.9	190.7
85	3.68	11.6	3.76	1731.44	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	1311.8	186.9
86	3.68	11.6	3.76	1697.05	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	1285.6	183.2
87	3.68	11.6	3.76	1662.67	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	1259.5	179.5
88	3.68	11.6	3.76	1652.76	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	1252.0	178.4
89	3.68	11.6	3.76	1646.07	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	1247.0	177.7
90	3.68	11.6	3.76	1639.39	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	1241.9	177.0
91	3.68	11.6	3.76	1636.16	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	1239.5	176.7
92	3.68	11.6	3.76	1654.8	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	1253.8	178.7
93	3.68	11.6	3.76	1673.43	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	1268.1	180.7
94	3.68	11.6	3.76	1658.4	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	1256.7	179.1
95	3.68	11.6	3.76	1626.89	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	1232.8	175.7
96	3.68	11.6	3.76	1595.39	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	1208.8	172.3
97	3.68	11.6	3.76	1567.37	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	1187.5	169.2
98	3.68	11.6	3.76	1558.74	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	1181.0	168.3
99	3.68	12.0	3.76	1549.03	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	1223.1	174.3
100	3.68	12.4	3.77	1537.31	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	1255.5	178.9
101	3.68	12.4	3.77	1540.28	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	1258.1	179.3
102	3.68	12.4	3.77	1562.96	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	1276.7	182.0
103	3.68	12.4	3.77	1575.48	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	1287.1	183.4
104	3.68	12.4	3.77	1572.33	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	1284.6	183.1
105	3.68	12.4	3.77	1569.18	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	1282.1	182.7
106	3.68	12.4	3.77	1566.03	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	1279.6	182.4
107	3.68	12.4	3.77	1562.88	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	1277.1	182.0
108	3.68	12.4	3.77	1559.73	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	1274.5	181.6
109	3.68	12.4	3.77	1545.36	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	1262.8	180.0
110	3.68	12.4	3.77	1517.26	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	1239.8	176.7
111	3.68	12.4	3.77	1489.16	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	1216.8	173.4
112	3.68	12.4	3.77	1461.07	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	1193.8	170.1
113	3.68	12.4	3.77	1436.7	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	1173.8	167.3
114	3.68	12.4	3.77	1419.11	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	1159.5	165.2
115	3.68	12.4	3.77	1401.52	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	1145.1	163.2
116	3.68	12.4	3.77	1383.94	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	1130.7	161.1
117	3.68	12.4	3.77	1344.74	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	1098.6	156.6
118	3.68	12.4	3.77	1289.06	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	1052.9	150.1
119	3.68	12.4	3.77	1233.39	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	1007.2	143.5
120	3.68	12.4	3.77	1188.88	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	970.8	138.3
121	3.68	12.4	3.77	1171.59	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	956.6	136.3
122	3.68	10.1	3.74	1159.56	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	766.8	109.3
123	3.68	7.3	3.71	1159.25	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	545.9	77.8
124	3.68	7.3	3.71	1165.39	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	548.9	78.2
125	3.68	7.3	3.71	1171.53	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	551.9	78.7
126	3.68	7.3	3.71	1177.67	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	554.9	79.1
127	3.68	7.3	3.71	1183.82	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	557.9	79.5
128	3.68	7.3	3.71	1189.96	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	560.9	79.9
129	3.68	7.3	3.71	1196.1	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	563.9	80.4
130	3.68	7.3	3.71	1202.24	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	566.9	80.8
131	3.68	7.3	3.71	1189.42	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	560.9	79.9
132	3.68	7.3	3.71	1166.11	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	549.8	78.4
133	3.68	7.3	3.71	1142.8	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	538.8	76.8
134	3.68	7.3	3.71	1119.5	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	527.8	75.2
135	3.68	7.3	3.71	1096.19	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	516.8	73.6
136	3.68	7.3	3.71	1072.88	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	505.8	72.1
137	3.68	7.3	3.71	1049.57	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	494.8	70.5
138	3.68	7.3	3.71	1026.27	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	483.7	68.9
139	3.68	7.3	3.71	1002.96	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	472.7	67.4

140	3.68	7.3	3.71	989.04	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	466.2	66.4
141	3.68	7.3	3.71	992.03	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	467.7	66.6
142	3.68	7.3	3.71	995.02	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	469.2	66.9
143	3.68	7.3	3.71	998.01	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	470.7	67.1
144	3.68	7.3	3.71	1000.99	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	472.1	67.3
145	3.68	7.3	3.71	1003.98	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	473.6	67.5
146	3.68	7.3	3.71	1006.97	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	475.1	67.7
147	3.68	7.3	3.71	1009.96	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	476.6	67.9
148	3.68	7.3	3.71	1012.94	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	478.1	68.1
149	3.68	7.3	3.71	1017.61	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	480.4	68.5
150	3.68	7.3	3.71	1030.76	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	486.7	69.4
151	3.68	7.3	3.71	1043.91	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	493.1	70.3
152	3.68	7.3	3.71	1125.89	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	532.1	75.8
153	3.68	7.3	3.71	1172.14	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	554.2	79.0
154	3.68	7.3	3.71	1182.48	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	559.2	79.7
155	3.68	7.3	3.71	1192.82	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	564.2	80.4
156	3.68	7.3	3.71	1194.31	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	565.0	80.5
157	3.68	8.5	3.72	1191.67	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	660.6	94.1
158	3.68	9.2	3.73	1184.82	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	708.1	100.9
159	3.68	9.2	3.73	1176.5	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	703.2	100.2
160	3.68	9.2	3.73	1168.18	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	698.3	99.5
161	3.68	9.2	3.73	1159.86	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	693.3	98.8
162	3.68	9.2	3.73	1147.54	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	686.0	97.8
163	3.68	9.2	3.73	1131.53	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	676.5	96.4
164	3.68	9.2	3.73	1115.53	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	667.0	95.1
165	3.68	9.2	3.73	1099.53	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	657.4	93.7
166	3.68	9.2	3.73	1083.52	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	647.9	92.3
167	3.68	9.2	3.73	1081.21	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	646.6	92.1
168	3.68	9.2	3.73	1101.99	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	659.1	93.9
169	3.68	9.2	3.73	1122.77	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	671.7	95.7
170	3.68	9.2	3.73	1143.55	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	684.2	97.5
171	3.68	9.2	3.73	1164.33	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	696.8	99.3
172	3.68	9.2	3.73	1185.1	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	709.3	101.1
173	3.68	9.2	3.73	1205.88	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	721.8	102.9
174	3.68	9.2	3.73	1226.66	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	734.4	104.7
175	3.68	9.2	3.73	1247.44	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	746.9	106.4
176	3.68	9.2	3.73	1253.82	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	750.8	107.0
177	3.68	9.2	3.73	1258.44	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	753.7	107.4
178	3.68	9.2	3.73	1263.05	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	756.5	107.8
179	3.68	9.2	3.73	1267.67	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	759.3	108.2
180	3.68	9.2	3.73	1272.28	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	762.2	108.6
181	3.68	9.2	3.73	1276.9	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	765.0	109.0
182	3.68	9.2	3.73	1281.51	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	767.9	109.4
183	3.68	9.2	3.73	1286.13	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	770.7	109.8
184	3.68	9.2	3.73	1282.2	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	768.4	109.5
185	3.68	9.2	3.73	1272.04	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	762.4	108.7
186	3.68	9.2	3.73	1261.87	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	756.4	107.8
187	3.68	9.2	3.73	1251.71	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	750.4	106.9
188	3.68	9.2	3.73	1241.54	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	744.3	106.1
189	3.68	9.2	3.73	1231.38	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	738.3	105.2
190	3.68	9.2	3.73	1224.44	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	734.2	104.6
191	3.68	9.2	3.73	1217.61	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	730.2	104.1
192	3.68	16.0	3.83	1194.87	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	1277.7	182.1
193	3.68	17.1	3.85	1153.55	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	1324.4	188.7
194	3.68	17.6	3.86	1108.39	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	1310.5	186.8
195	3.68	26.0	4.1	1040.51	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	1892.6	269.7
196	3.68	26.0	4.1	951.05	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	1729.9	246.5
197	3.68	31.1	4.3	847.12	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	1902.8	271.2
198	3.68	43.7	5.09	667.43	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	2374.4	338.4
199	3.68	46.3	5.33	417.68	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	1628.5	232.1
200	3.68	49.0	5.61	143.51	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	614.0	87.5

Superficie Nr...2 Fattore di sicurezza=1.31

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (kN)	Kh•Wi (kN)	Kv•Wi (kN)	c (kN/m <sup>2</sup> )	Fi (°)	Ui (kN)	N'i (kN)	Ti (kN)
1	2.11	0.7	2.11	2.32	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	-12.6	-1.7
2	2.11	0.7	2.11	6.97	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	-12.5	-1.7
3	2.11	0.7	2.11	17.8	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	-12.1	-1.7
4	2.11	0.7	2.11	31.51	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	-11.7	-1.6
5	2.11	0.7	2.11	45.23	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	-11.3	-1.6
6	2.11	0.7	2.11	58.94	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	-10.8	-1.5
7	2.11	0.7	2.11	72.65	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	-10.4	-1.4
8	2.11	0.7	2.11	86.36	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	-10.0	-1.4
9	2.11	0.7	2.11	101.18	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	-9.5	-1.3
10	2.11	0.7	2.11	123.18	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	-8.9	-1.2
11	2.11	0.7	2.11	145.18	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	-8.2	-1.1
12	2.11	0.7	2.11	167.18	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	-7.6	-1.0
13	2.11	0.7	2.11	189.18	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	-6.9	-1.0
14	2.11	0.7	2.11	197.66	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	-6.7	-0.9
15	2.11	0.7	2.11	203.25	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	-6.5	-0.9
16	2.11	0.7	2.11	208.84	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	-6.2	-0.9
17	2.11	0.7	2.11	214.43	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	-6.0	-0.8
18	2.11	0.7	2.11	220.01	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	-5.8	-0.8
19	2.11	0.7	2.11	225.6	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	-5.6	-0.8
20	2.11	0.7	2.11	236.24	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	-5.3	-0.7
21	2.11	0.7	2.11	249.31	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	-4.9	-0.7
22	2.11	0.7	2.11	262.39	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	-4.4	-0.6
23	2.11	0.7	2.11	275.47	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	-4.0	-0.6
24	2.11	0.7	2.11	288.54	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	-3.6	-0.5
25	2.11	0.7	2.11	301.62	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	-3.2	-0.4
26	2.11	0.7	2.11	316.87	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	-2.8	-0.4
27	2.11	0.7	2.11	341.5	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	-2.0	-0.3
28	2.11	0.7	2.11	366.13	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	-1.3	-0.2
29	2.11	0.7	2.11	390.77	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	-0.6	-0.1
30	2.11	0.7	2.11	410.27	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	0.0	0.0
31	2.11	0.7	2.11	426.45	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	0.5	0.1
32	2.11	0.7	2.11	442.63	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	1.0	0.1
33	2.11	1.9	2.11	457.92	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	22.6	3.1
34	2.11	2.6	2.11	471.85	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	35.4	4.9
35	2.11	2.6	2.11	485.3	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	36.7	5.1
36	2.11	2.6	2.11	498.75	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	38.1	5.3
37	2.11	2.6	2.11	512.21	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	39.5	5.5
38	2.11	2.6	2.11	525.66	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	40.9	5.6
39	2.11	2.6	2.11	539.11	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	42.2	5.8
40	2.11	2.6	2.11	550.77	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	43.4	6.0
41	2.11	2.6	2.11	556.06	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	44.0	6.1
42	2.11	2.6	2.11	561.35	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	44.6	6.2
43	2.11	2.6	2.11	566.63	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	45.2	6.2
44	2.11	2.6	2.11	571.92	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	45.7	6.3
45	2.11	2.6	2.11	577.21	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	46.3	6.4
46	2.11	2.6	2.11	582.49	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	46.9	6.5
47	2.11	2.6	2.11	587.99	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	47.5	6.6
48	2.11	2.6	2.11	596.72	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	48.4	6.7
49	2.11	2.6	2.11	605.45	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	49.3	6.8
50	2.11	2.6	2.11	614.17	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	50.2	6.9
51	2.11	2.6	2.11	622.9	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	51.2	7.1
52	2.11	2.6	2.11	631.63	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	52.1	7.2
53	2.11	2.6	2.11	640.35	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	53.0	7.3
54	2.11	2.6	2.11	643.57	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	53.4	7.4
55	2.11	2.6	2.11	639.83	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	53.1	7.3
56	2.11	2.6	2.11	636.09	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	52.8	7.3
57	2.11	2.6	2.11	632.35	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	52.5	7.2
58	2.11	2.6	2.11	628.6	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	52.2	7.2

59	2.11	2.6	2.11	624.86	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	51.9	7.2
60	2.11	2.6	2.11	630.11	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	52.4	7.2
61	2.11	2.6	2.11	638.94	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	53.4	7.4
62	2.11	2.6	2.11	647.76	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	54.3	7.5
63	2.11	3.2	2.11	656.17	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	69.4	9.6
64	2.11	7.3	2.12	661.17	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	173.0	23.9
65	2.11	7.3	2.12	663.18	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	173.6	24.0
66	2.11	7.3	2.12	665.19	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	174.2	24.1
67	2.11	7.3	2.12	667.2	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	174.8	24.2
68	2.11	7.3	2.12	669.21	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	175.4	24.2
69	2.11	7.3	2.12	671.22	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	176.1	24.3
70	2.11	7.3	2.12	673.23	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	176.7	24.4
71	2.11	7.3	2.12	675.24	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	177.3	24.5
72	2.11	7.3	2.12	677.25	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	177.9	24.6
73	2.11	7.3	2.12	679.26	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	178.5	24.7
74	2.11	7.3	2.12	681.27	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	179.2	24.8
75	2.11	7.3	2.12	683.28	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	179.8	24.8
76	2.11	7.3	2.12	685.29	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	180.4	24.9
77	2.11	7.3	2.12	687.3	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	181.0	25.0
78	2.11	7.3	2.12	688.29	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	181.3	25.1
79	2.11	7.3	2.12	680.66	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	179.3	24.8
80	2.11	7.3	2.12	673.03	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	177.3	24.5
81	2.11	7.3	2.12	665.4	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	175.2	24.2
82	2.11	7.3	2.12	657.77	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	173.2	23.9
83	2.11	7.3	2.12	650.14	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	171.2	23.7
84	2.11	7.3	2.12	642.51	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	169.1	23.4
85	2.11	7.3	2.12	634.88	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	167.1	23.1
86	2.11	7.3	2.12	627.25	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	165.1	22.8
87	2.11	7.3	2.12	619.62	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	163.0	22.5
88	2.11	7.3	2.12	611.99	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	161.0	22.2
89	2.11	7.3	2.12	604.36	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	159.0	22.0
90	2.11	7.3	2.12	596.73	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	156.9	21.7
91	2.11	7.3	2.12	589.1	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	154.9	21.4
92	2.11	7.3	2.12	581.47	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	152.9	21.1
93	2.11	7.3	2.12	573.85	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	150.8	20.8
94	2.11	7.3	2.12	566.22	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	148.8	20.6
95	2.11	7.3	2.12	566.11	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	148.8	20.6
96	2.11	7.3	2.12	567.09	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	149.2	20.6
97	2.11	7.3	2.12	568.07	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	149.5	20.7
98	2.11	7.3	2.12	569.05	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	149.8	20.7
99	2.11	7.3	2.12	570.03	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	150.2	20.8
100	2.11	7.3	2.12	571.0	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	150.5	20.8
101	2.11	7.3	2.12	571.98	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	150.8	20.8
102	2.11	7.3	2.12	572.96	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	151.2	20.9
103	2.11	7.3	2.12	573.94	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	151.5	20.9
104	2.11	7.3	2.12	574.92	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	151.8	21.0
105	2.11	7.3	2.12	575.89	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	152.2	21.0
106	2.11	7.3	2.12	576.87	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	152.5	21.1
107	2.11	7.3	2.12	577.85	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	152.8	21.1
108	2.11	7.3	2.12	578.83	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	153.2	21.2
109	2.11	7.3	2.12	579.8	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	153.5	21.2
110	2.11	7.3	2.12	580.78	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	153.8	21.3
111	2.11	7.3	2.12	584.45	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	154.9	21.4
112	2.11	7.3	2.12	588.76	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	156.2	21.6
113	2.11	7.3	2.12	593.06	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	157.4	21.7
114	2.11	7.3	2.12	597.37	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	158.7	21.9
115	2.11	7.3	2.12	608.14	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	161.7	22.3
116	2.11	7.3	2.12	657.94	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	175.4	24.2
117	2.11	7.3	2.12	669.03	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	178.5	24.7
118	2.11	7.3	2.12	672.42	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	179.5	24.8
119	2.11	7.3	2.12	675.8	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	180.5	24.9
120	2.11	7.3	2.12	679.18	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	181.5	25.1
121	2.11	7.3	2.12	682.57	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	182.5	25.2

122	2.11	7.3	2.12	683.28	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	182.8	25.3
123	2.11	7.3	2.12	683.32	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	182.9	25.3
124	2.11	7.9	2.13	682.94	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	197.8	27.3
125	2.11	9.2	2.13	681.18	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	231.4	32.0
126	2.11	9.2	2.13	678.45	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	230.5	31.9
127	2.11	9.2	2.13	675.73	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	229.6	31.7
128	2.11	9.2	2.13	673.0	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	228.7	31.6
129	2.11	9.2	2.13	670.28	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	227.9	31.5
130	2.11	9.2	2.13	667.56	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	227.0	31.4
131	2.11	9.2	2.13	664.83	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	226.1	31.2
132	2.11	9.2	2.13	662.11	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	225.2	31.1
133	2.11	9.2	2.13	657.61	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	223.7	30.9
134	2.11	9.2	2.13	652.37	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	222.0	30.7
135	2.11	9.2	2.13	647.13	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	220.2	30.4
136	2.11	9.2	2.13	641.89	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	218.5	30.2
137	2.11	9.2	2.13	636.65	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	216.7	29.9
138	2.11	9.2	2.13	631.41	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	215.0	29.7
139	2.11	9.2	2.13	626.17	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	213.2	29.5
140	2.11	9.2	2.13	620.94	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	211.5	29.2
141	2.11	9.2	2.13	615.7	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	209.7	29.0
142	2.11	9.2	2.13	619.01	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	210.9	29.1
143	2.11	9.2	2.13	625.81	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	213.3	29.5
144	2.11	9.2	2.13	632.61	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	215.8	29.8
145	2.11	9.2	2.13	639.41	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	218.2	30.1
146	2.11	9.2	2.13	646.21	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	220.6	30.5
147	2.11	9.2	2.13	653.01	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	223.0	30.8
148	2.11	9.2	2.13	659.82	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	225.5	31.2
149	2.11	9.2	2.13	666.62	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	227.9	31.5
150	2.11	9.2	2.13	673.42	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	230.3	31.8
151	2.11	9.2	2.13	680.22	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	232.7	32.2
152	2.11	9.2	2.13	687.02	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	235.2	32.5
153	2.11	9.2	2.13	693.82	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	237.6	32.8
154	2.11	9.2	2.13	700.62	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	240.0	33.2
155	2.11	9.2	2.13	707.43	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	242.4	33.5
156	2.11	9.2	2.13	714.23	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	244.9	33.8
157	2.11	9.2	2.13	716.34	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	245.6	33.9
158	2.11	9.2	2.13	717.86	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	246.2	34.0
159	2.11	9.2	2.13	719.37	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	246.8	34.1
160	2.11	9.2	2.13	720.88	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	247.4	34.2
161	2.11	9.2	2.13	722.39	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	248.0	34.3
162	2.11	9.2	2.13	723.9	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	248.6	34.3
163	2.11	9.2	2.13	725.41	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	249.2	34.4
164	2.11	9.2	2.13	726.92	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	249.8	34.5
165	2.11	9.2	2.13	728.43	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	250.4	34.6
166	2.11	9.2	2.13	729.94	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	250.9	34.7
167	2.11	9.2	2.13	731.45	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	251.5	34.8
168	2.11	9.2	2.13	732.96	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	252.1	34.8
169	2.11	9.2	2.13	734.47	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	252.7	34.9
170	2.11	9.2	2.13	735.99	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	253.3	35.0
171	2.11	9.2	2.13	735.77	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	253.3	35.0
172	2.11	9.2	2.13	732.45	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	252.2	34.8
173	2.11	9.2	2.13	729.12	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	251.1	34.7
174	2.11	9.2	2.13	725.79	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	250.0	34.5
175	2.11	9.2	2.13	722.46	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	248.9	34.4
176	2.11	9.2	2.13	719.14	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	247.8	34.2
177	2.11	9.2	2.13	715.81	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	246.8	34.1
178	2.11	9.2	2.13	712.48	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	245.7	33.9
179	2.11	9.2	2.13	709.15	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	244.6	33.8
180	2.11	9.2	2.13	705.82	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	243.5	33.6
181	2.11	9.2	2.13	703.1	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	242.6	33.5
182	2.11	9.2	2.13	700.87	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	241.9	33.4
183	2.11	9.2	2.13	698.63	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	241.2	33.3
184	2.11	9.2	2.13	696.39	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	240.5	33.2

185	2.11	13.1	2.16	691.2	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	345.2	47.7
186	2.11	17.1	2.2	679.92	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	450.3	62.2
187	2.11	17.1	2.2	665.52	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	440.8	60.9
188	2.11	17.1	2.2	651.12	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	431.3	59.6
189	2.11	17.1	2.2	636.72	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	421.8	58.3
190	2.11	22.5	2.28	617.98	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	549.1	75.9
191	2.11	26.0	2.34	591.8	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	621.5	85.9
192	2.11	26.0	2.34	562.52	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	590.8	81.6
193	2.11	26.0	2.34	533.24	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	560.0	77.4
194	2.11	26.0	2.34	503.95	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	529.3	73.1
195	2.11	38.9	2.7	461.56	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	800.1	110.6
196	2.11	43.7	2.91	391.49	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	804.5	111.2
197	2.11	43.7	2.91	313.52	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	644.3	89.0
198	2.11	46.8	3.08	230.97	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	529.8	73.2
199	2.11	48.9	3.2	140.54	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	346.4	47.9
200	2.11	48.9	3.2	46.84	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	115.4	15.9

Superficie Nr...3 Fattore di sicurezza=1.28

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (kN)	Kh•Wi (kN)	Kv•Wi (kN)	c (kN/m²)	Fi (°)	Ui (kN)	N'i (kN)	Ti (kN)
1	2.39	-1.1	2.39	31.47	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	-18.0	-2.5
2	2.39	-1.1	2.39	94.41	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	-20.8	-2.9
3	2.39	-1.1	2.39	157.35	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	-23.7	-3.3
4	2.39	-1.1	2.39	220.29	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	-26.5	-3.7
5	2.39	-1.1	2.39	284.25	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	-29.4	-4.2
6	2.39	-1.1	2.39	366.54	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	-33.1	-4.7
7	2.39	-1.1	2.39	448.84	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	-36.9	-5.2
8	2.39	-1.1	2.39	531.14	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	-40.6	-5.7
9	2.39	-1.1	2.39	613.43	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	-44.3	-6.3
10	2.39	-1.1	2.39	695.73	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	-48.1	-6.8
11	2.39	-1.1	2.39	700.07	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	-48.2	-6.8
12	2.39	-1.1	2.39	702.37	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	-48.2	-6.8
13	2.39	-1.1	2.39	704.66	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	-48.2	-6.8
14	2.39	-1.1	2.39	706.95	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	-48.3	-6.8
15	2.39	-1.1	2.39	722.7	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	-48.9	-6.9
16	2.39	-1.1	2.39	745.61	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	-49.9	-7.0
17	2.39	-1.1	2.39	768.53	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	-50.9	-7.2
18	2.39	-1.1	2.39	791.44	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	-51.8	-7.3
19	2.39	-1.1	2.39	814.35	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	-52.8	-7.5
20	2.39	-1.1	2.39	837.26	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	-53.8	-7.6
21	2.39	-1.0	2.39	860.08	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	-51.1	-7.2
22	2.39	1.1	2.39	880.82	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	28.0	4.0
23	2.39	1.1	2.39	899.58	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	29.0	4.1
24	2.39	1.1	2.39	918.34	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	30.0	4.2
25	2.39	1.1	2.39	937.68	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	31.0	4.4
26	2.39	1.1	2.39	958.46	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	32.1	4.5
27	2.39	1.1	2.39	979.23	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	33.2	4.7
28	2.39	1.1	2.39	1000.01	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	34.3	4.8
29	2.39	1.1	2.39	1020.78	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	35.4	5.0
30	2.39	1.1	2.39	1041.56	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	36.5	5.2
31	2.39	1.1	2.39	1062.33	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	37.6	5.3
32	2.39	1.1	2.39	1083.11	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	38.7	5.5
33	2.39	1.1	2.39	1103.16	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	39.7	5.6
34	2.39	1.1	2.39	1119.76	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	40.6	5.7
35	2.39	1.1	2.39	1136.36	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	41.5	5.9
36	2.39	1.1	2.39	1152.96	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	42.4	6.0
37	2.39	1.1	2.39	1169.57	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	43.3	6.1
38	2.39	1.1	2.39	1186.17	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	44.2	6.2
39	2.39	1.1	2.39	1209.45	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	45.4	6.4
40	2.39	1.1	2.39	1233.97	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	46.7	6.6

41	2.39	1.1	2.39	1258.5	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	47.9	6.8
42	2.39	2.2	2.39	1282.06	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	105.3	14.9
43	2.39	3.7	2.39	1300.74	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	190.9	27.0
44	2.39	3.7	2.39	1311.29	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	192.6	27.2
45	2.39	3.7	2.39	1321.85	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	194.4	27.5
46	2.39	3.7	2.39	1332.41	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	196.1	27.7
47	2.39	3.7	2.39	1342.97	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	197.8	28.0
48	2.39	3.7	2.39	1353.53	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	199.6	28.2
49	2.39	3.7	2.39	1364.08	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	201.3	28.4
50	2.39	3.7	2.39	1374.64	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	203.0	28.7
51	2.39	3.7	2.39	1374.41	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	203.1	28.7
52	2.39	3.7	2.39	1367.55	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	202.1	28.6
53	2.39	3.7	2.39	1360.69	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	201.1	28.4
54	2.39	3.7	2.39	1353.83	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	200.1	28.3
55	2.39	3.7	2.39	1346.97	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	199.1	28.1
56	2.39	3.7	2.39	1340.11	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	198.1	28.0
57	2.39	3.7	2.39	1333.25	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	197.1	27.9
58	2.39	3.7	2.39	1326.39	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	196.2	27.7
59	2.39	3.7	2.39	1319.53	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	195.2	27.6
60	2.39	4.2	2.4	1312.22	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	221.0	31.2
61	2.39	6.2	2.4	1302.53	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	334.2	47.2
62	2.39	6.2	2.4	1290.92	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	331.2	46.8
63	2.39	6.2	2.4	1279.3	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	328.2	46.4
64	2.39	6.2	2.4	1267.69	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	325.2	45.9
65	2.39	6.2	2.4	1260.35	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	323.3	45.7
66	2.39	6.2	2.4	1299.87	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	333.9	47.2
67	2.39	6.2	2.4	1339.4	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	344.4	48.7
68	2.39	6.2	2.4	1378.92	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	355.0	50.2
69	2.39	6.2	2.4	1418.45	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	365.6	51.7
70	2.39	6.2	2.4	1434.38	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	369.9	52.3
71	2.39	6.2	2.4	1422.76	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	366.9	51.8
72	2.39	6.2	2.4	1411.15	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	363.9	51.4
73	2.39	6.2	2.4	1399.53	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	360.9	51.0
74	2.39	6.2	2.4	1387.92	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	357.9	50.6
75	2.39	6.2	2.4	1376.3	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	354.9	50.1
76	2.39	6.2	2.4	1364.69	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	351.9	49.7
77	2.39	6.2	2.4	1353.07	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	348.9	49.3
78	2.39	6.2	2.4	1341.46	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	345.9	48.9
79	2.39	6.2	2.4	1329.84	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	342.9	48.4
80	2.39	7.5	2.41	1317.0	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	413.5	58.4
81	2.39	7.7	2.41	1302.8	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	416.5	58.8
82	2.39	7.7	2.41	1288.48	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	411.9	58.2
83	2.39	7.7	2.41	1274.16	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	407.3	57.5
84	2.39	7.7	2.41	1259.83	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	402.7	56.9
85	2.39	7.7	2.41	1245.51	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	398.1	56.2
86	2.39	7.7	2.41	1231.19	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	393.5	55.6
87	2.39	7.7	2.41	1216.87	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	388.9	54.9
88	2.39	7.7	2.41	1239.73	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	396.4	56.0
89	2.39	7.7	2.41	1271.81	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	407.0	57.5
90	2.39	7.7	2.41	1303.88	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	417.6	59.0
91	2.39	7.7	2.41	1335.95	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	428.2	60.5
92	2.39	7.7	2.41	1368.03	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	438.8	62.0
93	2.39	7.7	2.41	1380.89	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	443.1	62.6
94	2.39	7.7	2.41	1376.94	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	441.8	62.4
95	2.39	7.7	2.41	1361.92	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	437.0	61.7
96	2.39	7.7	2.41	1346.91	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	432.2	61.1
97	2.39	7.7	2.41	1331.9	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	427.4	60.4
98	2.39	7.7	2.41	1358.13	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	436.0	61.6
99	2.39	8.8	2.42	1380.74	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	510.9	72.2
100	2.39	9.5	2.42	1381.47	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	551.7	77.9
101	2.39	9.5	2.42	1381.56	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	551.9	78.0
102	2.39	9.5	2.42	1381.65	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	552.0	78.0
103	2.39	9.5	2.42	1390.27	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	555.6	78.5

104	2.39	9.5	2.42	1400.02	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	559.6	79.1
105	2.39	9.5	2.42	1409.76	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	563.6	79.6
106	2.39	9.5	2.42	1418.24	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	567.2	80.1
107	2.39	9.5	2.42	1406.69	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	562.5	79.5
108	2.39	9.5	2.42	1395.14	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	557.9	78.8
109	2.39	9.5	2.42	1383.59	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	553.3	78.2
110	2.39	9.5	2.42	1372.03	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	548.7	77.5
111	2.39	9.5	2.42	1360.48	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	544.2	76.9
112	2.39	9.5	2.42	1348.93	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	539.5	76.2
113	2.39	9.5	2.42	1337.38	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	534.9	75.6
114	2.39	9.5	2.42	1325.83	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	530.3	74.9
115	2.39	9.5	2.42	1314.28	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	525.7	74.3
116	2.39	9.5	2.42	1302.67	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	524.9	74.2
117	2.39	11.6	2.44	1289.04	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	634.7	89.7
118	2.39	11.6	2.44	1274.72	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	627.7	88.7
119	2.39	11.6	2.44	1263.66	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	622.3	87.9
120	2.39	11.6	2.44	1252.6	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	616.8	87.1
121	2.39	11.6	2.44	1241.54	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	611.4	86.4
122	2.39	11.6	2.44	1230.48	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	606.0	85.6
123	2.39	11.6	2.44	1219.42	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	600.6	84.9
124	2.39	11.6	2.44	1208.36	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	595.2	84.1
125	2.39	11.6	2.44	1197.3	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	589.7	83.3
126	2.39	11.6	2.44	1186.24	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	584.3	82.6
127	2.39	11.6	2.44	1175.18	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	578.9	81.8
128	2.39	11.6	2.44	1162.52	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	572.7	80.9
129	2.39	11.6	2.44	1148.02	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	565.5	79.9
130	2.39	11.6	2.44	1133.53	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	558.4	78.9
131	2.39	11.6	2.44	1119.03	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	551.3	77.9
132	2.39	11.6	2.44	1104.54	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	544.1	76.9
133	2.39	11.6	2.44	1090.04	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	537.0	75.9
134	2.39	11.6	2.44	1076.67	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	530.4	74.9
135	2.39	11.6	2.44	1073.85	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	529.1	74.8
136	2.39	11.6	2.44	1071.03	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	527.8	74.6
137	2.39	11.6	2.44	1068.21	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	526.5	74.4
138	2.39	11.6	2.44	1065.39	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	525.2	74.2
139	2.39	11.6	2.44	1062.57	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	523.8	74.0
140	2.39	11.6	2.44	1063.23	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	524.3	74.1
141	2.39	11.6	2.44	1071.08	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	528.2	74.6
142	2.39	11.6	2.44	1078.93	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	532.2	75.2
143	2.39	11.6	2.44	1086.79	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	536.2	75.8
144	2.39	11.6	2.44	1083.49	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	534.7	75.5
145	2.39	11.6	2.44	1070.2	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	528.2	74.6
146	2.39	11.6	2.44	1056.92	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	521.6	73.7
147	2.39	11.6	2.44	1043.64	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	515.1	72.8
148	2.39	11.6	2.44	1030.35	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	508.6	71.8
149	2.39	11.6	2.44	1018.12	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	502.6	71.0
150	2.39	11.6	2.44	1014.48	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	500.8	70.8
151	2.39	11.6	2.44	1010.84	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	499.1	70.5
152	2.39	11.9	2.44	1006.86	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	513.1	72.5
153	2.39	12.4	2.45	1002.03	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	533.4	75.4
154	2.39	12.4	2.45	996.71	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	530.6	75.0
155	2.39	12.4	2.45	997.24	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	531.0	75.0
156	2.39	12.4	2.45	1006.8	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	536.2	75.8
157	2.39	12.4	2.45	1016.36	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	541.4	76.5
158	2.39	12.4	2.45	1023.34	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	545.3	77.0
159	2.39	12.4	2.45	1022.01	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	544.6	76.9
160	2.39	12.4	2.45	1020.68	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	544.0	76.9
161	2.39	12.4	2.45	1019.36	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	543.4	76.8
162	2.39	12.4	2.45	1018.03	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	542.8	76.7
163	2.39	12.4	2.45	1016.71	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	542.1	76.6
164	2.39	12.4	2.45	1015.38	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	541.5	76.5
165	2.39	12.4	2.45	1014.06	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	540.9	76.4
166	2.39	12.4	2.45	1012.73	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	540.3	76.3

167	2.39	12.4	2.45	1010.52	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	539.2	76.2
168	2.39	12.4	2.45	998.68	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	532.9	75.3
169	2.39	12.4	2.45	986.84	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	526.6	74.4
170	2.39	12.4	2.45	975.0	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	520.4	73.5
171	2.39	12.4	2.45	963.15	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	514.1	72.6
172	2.39	12.4	2.45	951.31	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	507.8	71.7
173	2.39	12.4	2.45	939.47	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	501.6	70.9
174	2.39	12.4	2.45	931.07	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	497.1	70.2
175	2.39	12.4	2.45	923.66	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	493.2	69.7
176	2.39	12.4	2.45	916.25	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	489.4	69.1
177	2.39	12.4	2.45	908.84	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	485.5	68.6
178	2.39	12.4	2.45	901.43	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	481.6	68.0
179	2.39	12.4	2.45	894.02	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	477.7	67.5
180	2.39	12.4	2.45	871.45	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	465.7	65.8
181	2.39	12.4	2.45	847.98	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	453.2	64.0
182	2.39	12.4	2.45	824.51	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	440.7	62.3
183	2.39	12.4	2.45	801.04	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	428.2	60.5
184	2.39	12.4	2.45	777.58	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	415.7	58.7
185	2.39	12.4	2.45	768.63	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	410.9	58.1
186	2.39	12.4	2.45	761.35	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	407.1	57.5
187	2.39	12.4	2.45	754.06	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	403.3	57.0
188	2.39	17.6	2.51	741.64	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	570.6	80.6
189	2.39	18.9	2.53	722.74	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	600.9	84.9
190	2.39	18.9	2.53	702.49	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	584.1	82.5
191	2.39	18.9	2.53	682.23	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	567.3	80.1
192	2.39	18.9	2.53	661.98	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	550.5	77.8
193	2.39	31.1	2.79	627.84	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	920.5	130.0
194	2.39	35.6	2.94	573.9	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	997.0	140.8
195	2.39	35.6	2.94	514.02	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	893.0	126.2
196	2.39	35.6	2.94	454.14	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	789.0	111.5
197	2.39	42.9	3.26	382.86	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	864.8	122.2
198	2.39	50.7	3.77	284.6	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	845.2	119.4
199	2.39	50.7	3.77	170.78	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	507.2	71.7
200	2.39	50.7	3.77	56.93	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	169.2	23.9

Superficie Nr...4 Fattore di sicurezza=1.38

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (kN)	Kh•Wi (kN)	Kv•Wi (kN)	c (kN/m <sup>2</sup> )	Fi (°)	Ui (kN)	N'i (kN)	Ti (kN)
1	1.71	-1.1	1.71	16.08	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	-41.9	-5.5
2	1.71	-1.1	1.71	48.25	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	-42.8	-5.6
3	1.71	-1.1	1.71	80.41	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	-43.7	-5.7
4	1.71	-1.1	1.71	112.57	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	-44.6	-5.9
5	1.71	-1.1	1.71	144.74	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	-45.5	-6.0
6	1.71	-1.1	1.71	176.9	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	-46.4	-6.1
7	1.71	-1.1	1.71	211.82	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	-47.4	-6.2
8	1.71	-1.1	1.71	253.88	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	-48.6	-6.4
9	1.71	-1.1	1.71	295.93	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	-49.8	-6.6
10	1.71	-1.1	1.71	337.99	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	-51.1	-6.7
11	1.71	-1.1	1.71	380.04	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	-52.3	-6.9
12	1.71	-1.1	1.71	422.1	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	-53.5	-7.0
13	1.71	-1.1	1.71	464.15	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	-54.8	-7.2
14	1.71	-1.1	1.71	499.06	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	-55.7	-7.3
15	1.71	-1.1	1.71	500.23	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	-55.6	-7.3
16	1.71	-1.1	1.71	501.41	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	-55.4	-7.3
17	1.71	-1.1	1.71	502.58	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	-55.2	-7.3
18	1.71	-1.1	1.71	503.75	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	-55.1	-7.2
19	1.71	-1.1	1.71	504.92	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	-54.9	-7.2
20	1.71	-1.1	1.71	507.45	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	-54.8	-7.2
21	1.71	-1.1	1.71	519.16	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	-55.0	-7.2
22	1.71	-1.1	1.71	530.87	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	-55.2	-7.2

23	1.71	-1.1	1.71	542.58	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	-55.4	-7.3
24	1.71	-1.1	1.71	554.29	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	-55.5	-7.3
25	1.71	-1.1	1.71	566.0	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	-55.7	-7.3
26	1.71	-1.1	1.71	577.71	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	-55.9	-7.4
27	1.71	-1.1	1.71	589.42	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	-56.1	-7.4
28	1.71	-1.1	1.71	601.12	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	-56.3	-7.4
29	1.71	-1.1	1.71	612.83	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	-56.5	-7.4
30	1.71	0.4	1.71	623.81	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	-26.8	-3.5
31	1.71	1.1	1.71	633.73	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	-12.5	-1.6
32	1.71	1.1	1.71	643.32	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	-12.0	-1.6
33	1.71	1.1	1.71	652.9	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	-11.4	-1.5
34	1.71	1.1	1.71	662.49	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	-10.9	-1.4
35	1.71	1.1	1.71	672.73	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	-10.3	-1.4
36	1.71	1.1	1.71	683.34	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	-9.7	-1.3
37	1.71	1.1	1.71	693.96	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	-9.1	-1.2
38	1.71	1.1	1.71	704.58	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	-8.5	-1.1
39	1.71	1.1	1.71	715.19	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	-8.0	-1.0
40	1.71	1.1	1.71	725.81	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	-7.4	-1.0
41	1.71	1.1	1.71	736.43	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	-6.8	-0.9
42	1.71	1.1	1.71	747.04	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	-6.2	-0.8
43	1.71	1.1	1.71	757.66	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	-5.6	-0.7
44	1.71	1.1	1.71	768.28	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	-5.0	-0.7
45	1.71	1.1	1.71	778.89	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	-4.4	-0.6
46	1.71	1.1	1.71	788.91	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	-3.9	-0.5
47	1.71	1.1	1.71	797.4	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	-3.4	-0.4
48	1.71	1.1	1.71	805.88	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	-2.8	-0.4
49	1.71	1.1	1.71	814.36	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	-2.3	-0.3
50	1.71	1.1	1.71	822.85	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	-1.8	-0.2
51	1.71	1.1	1.71	831.33	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	-1.3	-0.2
52	1.71	1.1	1.71	839.82	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	-0.8	-0.1
53	1.71	1.1	1.71	848.3	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	-0.3	0.0
54	1.71	1.1	1.71	860.11	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	0.3	0.0
55	1.71	1.1	1.71	872.65	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	1.0	0.1
56	1.71	1.1	1.71	885.18	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	1.6	0.2
57	1.71	1.1	1.71	897.71	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	2.3	0.3
58	1.71	1.1	1.71	910.25	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	3.0	0.4
59	1.71	3.2	1.71	921.8	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	63.2	8.3
60	1.71	3.7	1.71	930.1	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	78.0	10.3
61	1.71	3.7	1.71	935.5	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	78.9	10.4
62	1.71	3.7	1.71	940.89	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	79.7	10.5
63	1.71	3.7	1.71	946.29	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	80.5	10.6
64	1.71	3.7	1.71	951.68	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	81.4	10.7
65	1.71	3.7	1.71	957.08	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	82.2	10.8
66	1.71	3.7	1.71	962.47	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	83.0	10.9
67	1.71	3.7	1.71	967.87	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	83.9	11.0
68	1.71	3.7	1.71	973.26	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	84.7	11.1
69	1.71	3.7	1.71	978.66	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	85.5	11.2
70	1.71	3.7	1.71	984.06	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	86.3	11.3
71	1.71	3.7	1.71	983.01	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	86.4	11.4
72	1.71	3.7	1.71	979.51	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	86.2	11.3
73	1.71	3.7	1.71	976.0	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	86.0	11.3
74	1.71	3.7	1.71	972.5	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	85.8	11.3
75	1.71	3.7	1.71	968.99	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	85.6	11.3
76	1.71	3.7	1.71	965.48	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	85.5	11.2
77	1.71	3.7	1.71	961.98	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	85.3	11.2
78	1.71	3.7	1.71	958.47	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	85.1	11.2
79	1.71	3.7	1.71	954.97	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	84.9	11.2
80	1.71	3.7	1.71	951.46	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	84.7	11.1
81	1.71	3.7	1.71	947.95	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	84.5	11.1
82	1.71	3.7	1.71	944.45	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	84.3	11.1
83	1.71	3.7	1.71	940.94	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	84.1	11.1
84	1.71	4.5	1.71	937.03	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	108.7	14.3
85	1.71	6.2	1.72	931.91	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	157.8	20.7

86	1.71	6.2	1.72	925.97	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	156.9	20.6
87	1.71	6.2	1.72	920.04	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	155.9	20.5
88	1.71	6.2	1.72	914.1	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	155.0	20.4
89	1.71	6.2	1.72	908.17	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	154.0	20.2
90	1.71	6.2	1.72	902.23	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	153.1	20.1
91	1.71	6.2	1.72	906.48	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	154.1	20.3
92	1.71	6.2	1.72	926.68	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	158.3	20.8
93	1.71	6.2	1.72	946.88	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	162.4	21.3
94	1.71	6.2	1.72	967.08	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	166.6	21.9
95	1.71	6.2	1.72	987.28	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	170.7	22.4
96	1.71	6.2	1.72	1007.48	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	174.9	23.0
97	1.71	6.2	1.72	1027.67	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	179.0	23.5
98	1.71	6.2	1.72	1023.73	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	178.5	23.5
99	1.71	6.2	1.72	1017.79	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	177.5	23.3
100	1.71	6.2	1.72	1011.86	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	176.6	23.2
101	1.71	6.2	1.72	1005.92	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	175.6	23.1
102	1.71	6.2	1.72	999.98	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	174.7	23.0
103	1.71	6.2	1.72	994.05	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	173.7	22.8
104	1.71	6.2	1.72	988.11	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	172.8	22.7
105	1.71	6.2	1.72	982.18	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	171.8	22.6
106	1.71	6.2	1.72	976.24	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	170.9	22.5
107	1.71	6.2	1.72	970.3	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	169.9	22.3
108	1.71	6.2	1.72	964.37	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	169.0	22.2
109	1.71	6.2	1.72	958.43	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	168.0	22.1
110	1.71	6.2	1.72	952.5	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	167.1	22.0
111	1.71	6.7	1.72	946.34	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	180.0	23.7
112	1.71	7.7	1.72	939.49	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	207.7	27.3
113	1.71	7.7	1.72	932.17	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	206.2	27.1
114	1.71	7.7	1.72	924.84	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	204.6	26.9
115	1.71	7.7	1.72	917.52	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	203.1	26.7
116	1.71	7.7	1.72	910.2	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	201.5	26.5
117	1.71	7.7	1.72	902.88	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	199.9	26.3
118	1.71	7.7	1.72	895.56	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	198.4	26.1
119	1.71	7.7	1.72	888.24	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	196.8	25.9
120	1.71	7.7	1.72	880.92	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	195.3	25.7
121	1.71	7.7	1.72	873.6	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	193.7	25.5
122	1.71	7.7	1.72	871.5	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	193.4	25.4
123	1.71	7.7	1.72	887.88	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	197.6	26.0
124	1.71	7.7	1.72	904.27	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	201.7	26.5
125	1.71	7.7	1.72	920.66	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	205.9	27.1
126	1.71	7.7	1.72	937.05	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	210.1	27.6
127	1.71	7.7	1.72	953.44	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	214.2	28.2
128	1.71	7.7	1.72	969.83	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	218.4	28.7
129	1.71	7.7	1.72	982.0	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	221.5	29.1
130	1.71	7.7	1.72	987.76	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	223.1	29.3
131	1.71	7.7	1.72	986.59	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	223.0	29.3
132	1.71	7.7	1.72	978.91	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	221.4	29.1
133	1.71	7.7	1.72	971.24	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	219.8	28.9
134	1.71	7.7	1.72	963.57	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	218.1	28.7
135	1.71	7.7	1.72	955.89	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	216.5	28.5
136	1.71	7.7	1.72	953.24	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	216.0	28.4
137	1.71	7.7	1.72	973.06	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	221.0	29.0
138	1.71	8.4	1.73	986.95	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	246.4	32.4
139	1.71	9.5	1.73	987.53	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	281.6	37.0
140	1.71	9.5	1.73	987.57	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	281.8	37.0
141	1.71	9.5	1.73	987.62	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	282.0	37.1
142	1.71	9.5	1.73	987.66	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	282.2	37.1
143	1.71	9.5	1.73	989.45	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	283.0	37.2
144	1.71	9.5	1.73	994.43	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	284.7	37.4
145	1.71	9.5	1.73	999.4	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	286.4	37.6
146	1.71	9.5	1.73	1004.38	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	288.1	37.9
147	1.71	9.5	1.73	1009.36	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	289.7	38.1
148	1.71	9.5	1.73	1014.32	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	291.4	38.3

149	1.71	9.5	1.73	1008.42	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	289.9	38.1
150	1.71	9.5	1.73	1002.51	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	288.3	37.9
151	1.71	9.5	1.73	996.61	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	286.8	37.7
152	1.71	9.5	1.73	990.71	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	285.2	37.5
153	1.71	9.5	1.73	984.8	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	283.7	37.3
154	1.71	9.5	1.73	978.9	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	282.1	37.1
155	1.71	9.5	1.73	973.0	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	280.6	36.9
156	1.71	9.5	1.73	967.1	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	279.0	36.7
157	1.71	9.5	1.73	961.19	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	277.5	36.5
158	1.71	9.5	1.73	955.29	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	275.9	36.3
159	1.71	9.5	1.73	949.39	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	274.4	36.1
160	1.71	9.5	1.73	943.49	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	272.8	35.9
161	1.71	9.5	1.73	937.58	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	271.3	35.7
162	1.71	9.5	1.73	931.68	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	269.7	35.5
163	1.71	13.8	1.76	923.64	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	397.3	52.2
164	1.71	15.0	1.77	912.84	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	430.2	56.5
165	1.71	15.0	1.77	902.64	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	425.5	55.9
166	1.71	15.0	1.77	893.53	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	421.3	55.4
167	1.71	15.0	1.77	884.42	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	417.2	54.8
168	1.71	15.0	1.77	875.31	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	413.0	54.3
169	1.71	15.0	1.77	866.21	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	408.9	53.7
170	1.71	15.0	1.77	857.1	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	404.7	53.2
171	1.71	15.0	1.77	847.99	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	400.5	52.6
172	1.71	15.0	1.77	838.89	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	396.4	52.1
173	1.71	15.0	1.77	829.78	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	392.2	51.6
174	1.71	15.0	1.77	820.67	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	388.1	51.0
175	1.71	17.1	1.79	810.5	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	440.0	57.8
176	1.71	26.4	1.91	794.1	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	700.8	92.1
177	1.71	26.4	1.91	772.53	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	681.9	89.6
178	1.71	26.4	1.91	750.97	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	662.9	87.1
179	1.71	26.4	1.91	728.0	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	642.7	84.5
180	1.71	26.4	1.91	704.67	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	622.2	81.8
181	1.71	26.4	1.91	681.35	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	601.7	79.1
182	1.71	34.5	2.07	652.83	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	798.9	105.0
183	1.71	35.6	2.1	618.35	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	788.6	103.6
184	1.71	35.6	2.1	583.09	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	743.6	97.7
185	1.71	35.6	2.1	547.82	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	698.6	91.8
186	1.71	35.6	2.1	512.56	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	653.6	85.9
187	1.71	35.6	2.1	477.29	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	608.7	80.0
188	1.71	38.9	2.2	444.82	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	639.8	84.1
189	1.71	41.3	2.27	408.66	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	638.6	83.9
190	1.71	41.3	2.27	370.61	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	579.1	76.1
191	1.71	41.3	2.27	332.55	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	519.6	68.3
192	1.71	41.3	2.27	294.5	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	460.2	60.5
193	1.71	41.3	2.27	256.44	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	400.7	52.7
194	1.71	41.3	2.27	218.39	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	341.2	44.8
195	1.71	41.3	2.27	180.33	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	281.7	37.0
196	1.71	41.3	2.27	146.71	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	229.2	30.1
197	1.71	41.3	2.27	114.11	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	178.2	23.4
198	1.71	41.3	2.27	81.51	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	127.3	16.7
199	1.71	41.3	2.27	48.9	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	76.4	10.0
200	1.71	41.3	2.27	16.3	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	25.5	3.3



**Analisi di stabilità dei pendii con: BELL (1968)**

Lat./Long.	44.195456/10.941047
Normativa	NTC 2008
Numero di strati	1.0
Numero dei conci	200.0
Grado di sicurezza ritenuto accettabile	1.0
Coefficiente parziale resistenza	1.1
Analisi	Condizione drenata
Superficie di forma generica	

**Coefficienti sismici [N.T.C.]**

**Dati generali**

Tipo opera:	2 - Opere ordinarie
Classe d'uso:	Classe II
Vita nominale:	50.0 [anni]
Vita di riferimento:	50.0 [anni]

**Parametri sismici su sito di riferimento**

Categoria sottosuolo:	C
Categoria topografica:	T1

S.L. Stato limite	TR Tempo ritorno [anni]	ag [m/s <sup>2</sup> ]	F0 [-]	TC* [sec]
S.L.O.	30.0	0.59	2.48	0.25
S.L.D.	50.0	0.75	2.45	0.26
S.L.V.	475.0	1.77	2.46	0.29
S.L.C.	975.0	2.23	2.47	0.3

**Coefficienti sismici orizzontali e verticali**

Opera: Stabilità dei pendii e Fondazioni

S.L. Stato limite	amax [m/s <sup>2</sup> ]	beta [-]	kh [-]	kv [sec]
S.L.O.	0.885	0.2	0.0181	0.009
S.L.D.	1.125	0.2	0.0229	0.0115
S.L.V.	2.5374	0.24	0.0621	0.0311
S.L.C.	3.0394	0.28	0.0868	0.0434

Coefficiente azione sismica orizzontale 0.0621

Coefficiente azione sismica verticale 0.0311

**Vertici profilo**

N	X m	y m
1	28.72	47.29
2	59.14	47.95
3	69.77	54.04
4	81.91	63.19
5	92.24	63.22
6	117.0	68.08
7	136.4	72.25
8	149.14	74.49
9	160.06	77.23
10	178.35	80.22
11	213.09	80.22
12	224.14	85.53
13	266.34	85.53
14	278.0	90.61
15	281.21	91.38
16	290.33	91.32
17	293.52	92.92
18	301.99	94.34
19	311.13	96.7

20	322.42	97.36
21	339.28	98.34
22	347.27	99.14
23	355.93	100.02
24	362.74	100.7
25	377.96	101.74
26	391.76	104.2
27	400.83	106.73
28	413.78	107.76
29	427.44	110.09
30	434.98	112.43
31	445.76	114.68
32	456.86	116.99
33	471.93	118.63
34	485.87	120.74
35	497.93	120.74
36	537.12	126.69
37	571.31	127.9
38	605.14	132.63
39	614.97	134.39
40	617.72	136.4
41	628.33	138.19
42	651.68	141.19
43	670.63	143.04
44	682.06	145.82
45	701.85	150.64
46	708.93	151.91
47	732.45	156.13
48	753.1	158.63
49	784.1	162.78
50	817.24	163.17
51	855.43	163.49

**Vertici superficie Nr...1**

N	X m	y m
1	59.14	47.95
2	109.22	47.0
3	158.55	47.98
4	202.09	50.79
5	248.23	55.83
6	294.25	62.02
7	336.3	69.03
8	421.56	86.48
9	506.55	105.23
10	634.63	121.59
11	762.71	142.23
12	773.04	145.41
13	783.36	150.45
14	789.89	156.68
15	795.37	162.98

**Vertici superficie Nr...2**

N	X m	y m
1	372.4	101.46
2	442.26	102.32
3	506.55	105.23
4	634.63	121.59
5	762.71	142.23
6	773.04	145.41
7	783.36	150.45
8	789.89	156.68
9	795.38	162.98

**Vertici superficie Nr...3**

N	X m	y m
1	59.14	47.95
2	109.22	47.0
3	158.55	47.98
4	202.09	50.79
5	248.17	55.82
6	294.25	62.02
7	336.3	69.03
8	421.42	86.46
9	506.55	105.23
10	518.72	109.39
11	528.94	116.7
12	537.12	126.69

**Vertici superficie Nr...4**

N	X m	y m
1	59.14	47.95
2	109.22	47.0
3	158.55	47.98
4	202.09	50.79
5	248.23	55.83
6	294.25	62.02
7	336.3	69.03
8	357.83	74.81
9	368.6	80.16
10	379.36	87.88
11	400.83	106.73

**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	Si

**Stratigrafia**

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

Strato	c (kN/m <sup>2</sup> )	cu (kN/m <sup>2</sup> )	Fi (°)	G (t/m <sup>3</sup> )	Gs (t/m <sup>3</sup> )	K (Kg/cm <sup>3</sup> )	Litologia
1			14	1.9		0.00	

Superficie Nr...1 Fattore di sicurezza=0.86

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (kN)	Kh•Wi (kN)	Kv•Wi (kN)	c (kN/m <sup>2</sup> )	Fi (°)	Ui (kN)	N'i (kN)	Ti (kN)
1	3.68	-1.1	3.68	74.65	4.64	2.32	0.0	11.3	0.0	21.3	4.5
2	3.68	-1.1	3.68	223.95	13.91	6.96	0.0	11.3	0.0	11.1	2.3
3	3.68	-1.1	3.68	373.25	23.18	11.61	0.0	11.3	0.0	0.9	0.2
4	3.68	-1.1	3.68	550.67	34.2	17.13	0.0	11.3	0.0	-11.1	-2.3
5	3.68	-1.1	3.68	745.89	46.32	23.2	0.0	11.3	0.0	-24.4	-5.1
6	3.68	-1.1	3.68	941.1	58.44	29.27	0.0	11.3	0.0	-37.6	-7.9
7	3.68	-1.1	3.68	1076.5	66.85	33.48	0.0	11.3	0.0	-46.9	-9.9
8	3.68	-1.1	3.68	1081.94	67.19	33.65	0.0	11.3	0.0	-47.4	-10.0
9	3.68	-1.1	3.68	1087.38	67.53	33.82	0.0	11.3	0.0	-47.9	-10.1
10	3.68	-1.1	3.68	1117.73	69.41	34.76	0.0	11.3	0.0	-50.1	-10.5
11	3.68	-1.1	3.68	1172.08	72.79	36.45	0.0	11.3	0.0	-53.8	-11.3
12	3.68	-1.1	3.68	1226.43	76.16	38.14	0.0	11.3	0.0	-57.6	-12.1
13	3.68	-1.1	3.68	1280.78	79.54	39.83	0.0	11.3	0.0	-61.4	-12.9
14	3.68	-0.2	3.68	1333.19	82.79	41.46	0.0	11.3	0.0	7.2	1.5

15	3.68	1.1	3.68	1380.66	85.74	42.94	0.0	11.3	0.0	121.6	25.6
16	3.68	1.1	3.68	1425.16	88.5	44.32	0.0	11.3	0.0	124.6	26.2
17	3.68	1.1	3.68	1473.39	91.5	45.82	0.0	11.3	0.0	127.9	26.9
18	3.68	1.1	3.68	1522.67	94.56	47.36	0.0	11.3	0.0	131.2	27.6
19	3.68	1.1	3.68	1571.96	97.62	48.89	0.0	11.3	0.0	134.6	28.3
20	3.68	1.1	3.68	1621.24	100.68	50.42	0.0	11.3	0.0	137.9	29.0
21	3.68	1.1	3.68	1670.52	103.74	51.95	0.0	11.3	0.0	141.3	29.7
22	3.68	1.1	3.68	1714.73	106.49	53.33	0.0	11.3	0.0	144.2	30.3
23	3.68	1.1	3.68	1754.12	108.93	54.55	0.0	11.3	0.0	146.9	30.9
24	3.68	1.1	3.68	1793.5	111.38	55.78	0.0	11.3	0.0	149.5	31.4
25	3.68	1.1	3.68	1833.82	113.88	57.03	0.0	11.3	0.0	152.2	32.0
26	3.68	1.1	3.68	1892.0	117.49	58.84	0.0	11.3	0.0	156.2	32.8
27	3.68	1.1	3.68	1950.18	121.11	60.65	0.0	11.3	0.0	160.2	33.7
28	3.68	3.7	3.69	2000.95	124.26	62.23	0.0	11.3	0.0	475.2	99.9
29	3.68	3.7	3.69	2026.03	125.82	63.01	0.0	11.3	0.0	482.9	101.5
30	3.68	3.7	3.69	2051.08	127.37	63.79	0.0	11.3	0.0	488.5	102.7
31	3.68	3.7	3.69	2076.12	128.93	64.57	0.0	11.3	0.0	494.0	103.9
32	3.68	3.7	3.69	2101.17	130.48	65.35	0.0	11.3	0.0	499.6	105.0
33	3.68	3.7	3.69	2121.52	131.75	65.98	0.0	11.3	0.0	504.1	106.0
34	3.68	3.7	3.69	2105.25	130.74	65.47	0.0	11.3	0.0	500.2	105.2
35	3.68	3.7	3.69	2088.97	129.73	64.97	0.0	11.3	0.0	496.4	104.4
36	3.68	3.7	3.69	2072.7	128.71	64.46	0.0	11.3	0.0	492.6	103.6
37	3.68	3.7	3.69	2056.43	127.7	63.95	0.0	11.3	0.0	488.8	102.8
38	3.68	3.7	3.69	2040.15	126.69	63.45	0.0	11.3	0.0	484.9	102.0
39	3.68	4.1	3.69	2022.94	125.62	62.91	0.0	11.3	0.0	533.7	112.2
40	3.68	6.2	3.7	2000.1	124.21	62.2	0.0	11.3	0.0	790.6	166.2
41	3.68	6.2	3.7	1972.54	122.49	61.35	0.0	11.3	0.0	779.8	164.0
42	3.68	6.2	3.7	1944.99	120.78	60.49	0.0	11.3	0.0	769.1	161.7
43	3.68	6.2	3.7	1999.42	124.16	62.18	0.0	11.3	0.0	789.9	166.1
44	3.68	6.2	3.7	2093.18	129.99	65.1	0.0	11.3	0.0	825.8	173.6
45	3.68	6.2	3.7	2186.94	135.81	68.01	0.0	11.3	0.0	861.8	181.2
46	3.68	6.2	3.7	2198.85	136.55	68.38	0.0	11.3	0.0	866.2	182.1
47	3.68	6.2	3.7	2171.3	134.84	67.53	0.0	11.3	0.0	855.5	179.9
48	3.68	6.2	3.7	2143.74	133.13	66.67	0.0	11.3	0.0	844.7	177.6
49	3.68	6.2	3.7	2116.19	131.42	65.81	0.0	11.3	0.0	834.0	175.4
50	3.68	6.2	3.7	2088.64	129.7	64.96	0.0	11.3	0.0	823.3	173.1
51	3.68	6.2	3.7	2061.08	127.99	64.1	0.0	11.3	0.0	812.6	170.8
52	3.68	7.1	3.71	2031.51	126.16	63.18	0.0	11.3	0.0	915.9	192.6
53	3.68	7.7	3.71	1998.71	124.12	62.16	0.0	11.3	0.0	967.8	203.5
54	3.68	7.7	3.71	1964.73	122.01	61.1	0.0	11.3	0.0	951.6	200.1
55	3.68	7.7	3.71	1930.75	119.9	60.05	0.0	11.3	0.0	935.3	196.6
56	3.68	7.7	3.71	1896.76	117.79	58.99	0.0	11.3	0.0	919.1	193.2
57	3.68	7.7	3.71	1885.73	117.1	58.65	0.0	11.3	0.0	913.7	192.1
58	3.68	7.7	3.71	1961.81	121.83	61.01	0.0	11.3	0.0	949.6	199.7
59	3.68	7.7	3.71	2037.88	126.55	63.38	0.0	11.3	0.0	985.6	207.2
60	3.68	7.7	3.71	2111.91	131.15	65.68	0.0	11.3	0.0	1020.6	214.6
61	3.68	7.7	3.71	2128.14	132.16	66.18	0.0	11.3	0.0	1028.1	216.2
62	3.68	7.7	3.71	2092.51	129.95	65.08	0.0	11.3	0.0	1011.1	212.6
63	3.68	7.7	3.71	2056.89	127.73	63.97	0.0	11.3	0.0	994.1	209.0
64	3.68	7.9	3.72	2109.22	130.98	65.6	0.0	11.3	0.0	1049.2	220.6
65	3.68	9.5	3.73	2127.68	132.13	66.17	0.0	11.3	0.0	1268.1	266.6
66	3.68	9.5	3.73	2127.88	132.14	66.18	0.0	11.3	0.0	1268.1	266.6
67	3.68	9.5	3.73	2140.07	132.9	66.56	0.0	11.3	0.0	1275.1	268.1
68	3.68	9.5	3.73	2163.18	134.33	67.27	0.0	11.3	0.0	1288.6	270.9
69	3.68	9.5	3.73	2184.29	135.64	67.93	0.0	11.3	0.0	1300.8	273.5
70	3.68	9.5	3.73	2156.89	133.94	67.08	0.0	11.3	0.0	1284.6	270.1
71	3.68	9.5	3.73	2129.49	132.24	66.23	0.0	11.3	0.0	1268.4	266.7
72	3.68	9.5	3.73	2102.09	130.54	65.38	0.0	11.3	0.0	1252.1	263.3
73	3.68	9.5	3.73	2074.69	128.84	64.52	0.0	11.3	0.0	1235.9	259.8
74	3.68	9.5	3.73	2047.3	127.14	63.67	0.0	11.3	0.0	1219.7	256.4
75	3.68	9.5	3.73	2019.9	125.44	62.82	0.0	11.3	0.0	1203.5	253.0
76	3.68	10.9	3.75	1989.12	123.52	61.86	0.0	11.3	0.0	1372.7	288.6
77	3.68	11.6	3.76	1957.77	121.58	60.89	0.0	11.3	0.0	1428.9	300.4

78	3.68	11.6	3.76	1931.54	119.95	60.07	0.0	11.3	0.0	1409.8	296.4
79	3.68	11.6	3.76	1905.31	118.32	59.26	0.0	11.3	0.0	1390.8	292.4
80	3.68	11.6	3.76	1879.07	116.69	58.44	0.0	11.3	0.0	1371.7	288.4
81	3.68	11.6	3.76	1852.84	115.06	57.62	0.0	11.3	0.0	1352.7	284.4
82	3.68	11.6	3.76	1826.6	113.43	56.81	0.0	11.3	0.0	1333.6	280.4
83	3.68	11.6	3.76	1800.2	111.79	55.99	0.0	11.3	0.0	1314.4	276.4
84	3.68	11.6	3.76	1765.82	109.66	54.92	0.0	11.3	0.0	1289.5	271.1
85	3.68	11.6	3.76	1731.44	107.52	53.85	0.0	11.3	0.0	1264.5	265.9
86	3.68	11.6	3.76	1697.05	105.39	52.78	0.0	11.3	0.0	1239.6	260.6
87	3.68	11.6	3.76	1662.67	103.25	51.71	0.0	11.3	0.0	1214.7	255.4
88	3.68	11.6	3.76	1652.76	102.64	51.4	0.0	11.3	0.0	1207.4	253.8
89	3.68	11.6	3.76	1646.07	102.22	51.19	0.0	11.3	0.0	1202.4	252.8
90	3.68	11.6	3.76	1639.39	101.81	50.98	0.0	11.3	0.0	1197.5	251.8
91	3.68	11.6	3.76	1636.16	101.61	50.88	0.0	11.3	0.0	1195.0	251.2
92	3.68	11.6	3.76	1654.8	102.76	51.46	0.0	11.3	0.0	1208.3	254.0
93	3.68	11.6	3.76	1673.43	103.92	52.04	0.0	11.3	0.0	1221.6	256.8
94	3.68	11.6	3.76	1658.4	102.99	51.58	0.0	11.3	0.0	1210.6	254.5
95	3.68	11.6	3.76	1626.89	101.03	50.6	0.0	11.3	0.0	1187.8	249.7
96	3.68	11.6	3.76	1595.39	99.07	49.62	0.0	11.3	0.0	1164.9	244.9
97	3.68	11.6	3.76	1567.37	97.33	48.75	0.0	11.3	0.0	1144.6	240.6
98	3.68	11.6	3.76	1558.74	96.8	48.48	0.0	11.3	0.0	1138.2	239.3
99	3.68	12.0	3.76	1549.03	96.19	48.17	0.0	11.3	0.0	1177.8	247.6
100	3.68	12.4	3.77	1537.31	95.47	47.81	0.0	11.3	0.0	1208.4	254.1
101	3.68	12.4	3.77	1540.28	95.65	47.9	0.0	11.3	0.0	1210.5	254.5
102	3.68	12.4	3.77	1562.96	97.06	48.61	0.0	11.3	0.0	1228.0	258.2
103	3.68	12.4	3.77	1575.48	97.84	49.0	0.0	11.3	0.0	1237.6	260.2
104	3.68	12.4	3.77	1572.33	97.64	48.9	0.0	11.3	0.0	1235.0	259.7
105	3.68	12.4	3.77	1569.18	97.45	48.8	0.0	11.3	0.0	1232.5	259.1
106	3.68	12.4	3.77	1566.03	97.25	48.7	0.0	11.3	0.0	1229.9	258.6
107	3.68	12.4	3.77	1562.88	97.05	48.61	0.0	11.3	0.0	1227.3	258.0
108	3.68	12.4	3.77	1559.73	96.86	48.51	0.0	11.3	0.0	1224.7	257.5
109	3.68	12.4	3.77	1545.36	95.97	48.06	0.0	11.3	0.0	1213.4	255.1
110	3.68	12.4	3.77	1517.26	94.22	47.19	0.0	11.3	0.0	1191.4	250.5
111	3.68	12.4	3.77	1489.16	92.48	46.31	0.0	11.3	0.0	1169.5	245.9
112	3.68	12.4	3.77	1461.07	90.73	45.44	0.0	11.3	0.0	1147.5	241.3
113	3.68	12.4	3.77	1436.7	89.22	44.68	0.0	11.3	0.0	1128.4	237.2
114	3.68	12.4	3.77	1419.11	88.13	44.13	0.0	11.3	0.0	1114.6	234.3
115	3.68	12.4	3.77	1401.52	87.03	43.59	0.0	11.3	0.0	1100.8	231.4
116	3.68	12.4	3.77	1383.94	85.94	43.04	0.0	11.3	0.0	1087.0	228.5
117	3.68	12.4	3.77	1344.74	83.51	41.82	0.0	11.3	0.0	1056.4	222.1
118	3.68	12.4	3.77	1289.06	80.05	40.09	0.0	11.3	0.0	1013.0	213.0
119	3.68	12.4	3.77	1233.39	76.59	38.36	0.0	11.3	0.0	969.6	203.9
120	3.68	12.4	3.77	1188.88	73.83	36.97	0.0	11.3	0.0	934.9	196.6
121	3.68	12.4	3.77	1171.59	72.76	36.44	0.0	11.3	0.0	921.3	193.7
122	3.68	10.1	3.74	1159.56	72.01	36.06	0.0	11.3	0.0	741.3	155.9
123	3.68	7.3	3.71	1159.25	71.99	36.05	0.0	11.3	0.0	532.1	111.9
124	3.68	7.3	3.71	1165.39	72.37	36.24	0.0	11.3	0.0	534.7	112.4
125	3.68	7.3	3.71	1171.53	72.75	36.43	0.0	11.3	0.0	537.3	113.0
126	3.68	7.3	3.71	1177.67	73.13	36.63	0.0	11.3	0.0	540.0	113.5
127	3.68	7.3	3.71	1183.82	73.51	36.82	0.0	11.3	0.0	542.6	114.1
128	3.68	7.3	3.71	1189.96	73.9	37.01	0.0	11.3	0.0	545.2	114.6
129	3.68	7.3	3.71	1196.1	74.28	37.2	0.0	11.3	0.0	547.8	115.2
130	3.68	7.3	3.71	1202.24	74.66	37.39	0.0	11.3	0.0	550.5	115.7
131	3.68	7.3	3.71	1189.42	73.86	36.99	0.0	11.3	0.0	544.6	114.5
132	3.68	7.3	3.71	1166.11	72.42	36.27	0.0	11.3	0.0	534.0	112.3
133	3.68	7.3	3.71	1142.8	70.97	35.54	0.0	11.3	0.0	523.3	110.0
134	3.68	7.3	3.71	1119.5	69.52	34.82	0.0	11.3	0.0	512.7	107.8
135	3.68	7.3	3.71	1096.19	68.07	34.09	0.0	11.3	0.0	502.1	105.6
136	3.68	7.3	3.71	1072.88	66.63	33.37	0.0	11.3	0.0	491.5	103.3
137	3.68	7.3	3.71	1049.57	65.18	32.64	0.0	11.3	0.0	480.8	101.1
138	3.68	7.3	3.71	1026.27	63.73	31.92	0.0	11.3	0.0	470.2	98.9
139	3.68	7.3	3.71	1002.96	62.28	31.19	0.0	11.3	0.0	459.6	96.6
140	3.68	7.3	3.71	989.04	61.42	30.76	0.0	11.3	0.0	453.2	95.3

141	3.68	7.3	3.71	992.03	61.61	30.85	0.0	11.3	0.0	454.4	95.5
142	3.68	7.3	3.71	995.02	61.79	30.95	0.0	11.3	0.0	455.6	95.8
143	3.68	7.3	3.71	998.01	61.98	31.04	0.0	11.3	0.0	456.8	96.0
144	3.68	7.3	3.71	1000.99	62.16	31.13	0.0	11.3	0.0	458.0	96.3
145	3.68	7.3	3.71	1003.98	62.35	31.22	0.0	11.3	0.0	459.3	96.6
146	3.68	7.3	3.71	1006.97	62.53	31.32	0.0	11.3	0.0	460.5	96.8
147	3.68	7.3	3.71	1009.96	62.72	31.41	0.0	11.3	0.0	461.7	97.1
148	3.68	7.3	3.71	1012.94	62.9	31.5	0.0	11.3	0.0	462.9	97.3
149	3.68	7.3	3.71	1017.61	63.19	31.65	0.0	11.3	0.0	464.9	97.7
150	3.68	7.3	3.71	1030.76	64.01	32.06	0.0	11.3	0.0	470.6	99.0
151	3.68	7.3	3.71	1043.91	64.83	32.47	0.0	11.3	0.0	476.4	100.2
152	3.68	7.3	3.71	1125.89	69.92	35.02	0.0	11.3	0.0	513.2	107.9
153	3.68	7.3	3.71	1172.14	72.79	36.45	0.0	11.3	0.0	533.9	112.2
154	3.68	7.3	3.71	1182.48	73.43	36.78	0.0	11.3	0.0	538.4	113.2
155	3.68	7.3	3.71	1192.82	74.07	37.1	0.0	11.3	0.0	542.9	114.1
156	3.68	7.3	3.71	1194.31	74.17	37.14	0.0	11.3	0.0	543.5	114.3
157	3.68	8.5	3.72	1191.67	74.0	37.06	0.0	11.3	0.0	633.8	133.3
158	3.68	9.2	3.73	1184.82	73.58	36.85	0.0	11.3	0.0	678.5	142.7
159	3.68	9.2	3.73	1176.5	73.06	36.59	0.0	11.3	0.0	673.7	141.6
160	3.68	9.2	3.73	1168.18	72.54	36.33	0.0	11.3	0.0	668.8	140.6
161	3.68	9.2	3.73	1159.86	72.03	36.07	0.0	11.3	0.0	663.9	139.6
162	3.68	9.2	3.73	1147.54	71.26	35.69	0.0	11.3	0.0	656.8	138.1
163	3.68	9.2	3.73	1131.53	70.27	35.19	0.0	11.3	0.0	647.6	136.2
164	3.68	9.2	3.73	1115.53	69.27	34.69	0.0	11.3	0.0	638.4	134.2
165	3.68	9.2	3.73	1099.53	68.28	34.2	0.0	11.3	0.0	629.1	132.3
166	3.68	9.2	3.73	1083.52	67.29	33.7	0.0	11.3	0.0	619.9	130.3
167	3.68	9.2	3.73	1081.21	67.14	33.63	0.0	11.3	0.0	618.5	130.0
168	3.68	9.2	3.73	1101.99	68.43	34.27	0.0	11.3	0.0	630.1	132.5
169	3.68	9.2	3.73	1122.77	69.72	34.92	0.0	11.3	0.0	641.8	134.9
170	3.68	9.2	3.73	1143.55	71.01	35.56	0.0	11.3	0.0	653.5	137.4
171	3.68	9.2	3.73	1164.33	72.3	36.21	0.0	11.3	0.0	665.2	139.8
172	3.68	9.2	3.73	1185.1	73.59	36.86	0.0	11.3	0.0	676.8	142.3
173	3.68	9.2	3.73	1205.88	74.89	37.5	0.0	11.3	0.0	688.5	144.7
174	3.68	9.2	3.73	1226.66	76.18	38.15	0.0	11.3	0.0	700.1	147.2
175	3.68	9.2	3.73	1247.44	77.47	38.8	0.0	11.3	0.0	711.8	149.7
176	3.68	9.2	3.73	1253.82	77.86	38.99	0.0	11.3	0.0	715.3	150.4
177	3.68	9.2	3.73	1258.44	78.15	39.14	0.0	11.3	0.0	717.8	150.9
178	3.68	9.2	3.73	1263.05	78.44	39.28	0.0	11.3	0.0	720.3	151.4
179	3.68	9.2	3.73	1267.67	78.72	39.42	0.0	11.3	0.0	722.8	152.0
180	3.68	9.2	3.73	1272.28	79.01	39.57	0.0	11.3	0.0	725.3	152.5
181	3.68	9.2	3.73	1276.9	79.3	39.71	0.0	11.3	0.0	727.7	153.0
182	3.68	9.2	3.73	1281.51	79.58	39.86	0.0	11.3	0.0	730.2	153.5
183	3.68	9.2	3.73	1286.13	79.87	40.0	0.0	11.3	0.0	732.7	154.1
184	3.68	9.2	3.73	1282.2	79.62	39.88	0.0	11.3	0.0	730.4	153.6
185	3.68	9.2	3.73	1272.04	78.99	39.56	0.0	11.3	0.0	724.4	152.3
186	3.68	9.2	3.73	1261.87	78.36	39.24	0.0	11.3	0.0	718.5	151.1
187	3.68	9.2	3.73	1251.71	77.73	38.93	0.0	11.3	0.0	712.6	149.8
188	3.68	9.2	3.73	1241.54	77.1	38.61	0.0	11.3	0.0	706.7	148.6
189	3.68	9.2	3.73	1231.38	76.47	38.3	0.0	11.3	0.0	700.8	147.3
190	3.68	9.2	3.73	1224.44	76.04	38.08	0.0	11.3	0.0	696.8	146.5
191	3.68	9.2	3.73	1217.61	75.61	37.87	0.0	11.3	0.0	692.7	145.6
192	3.68	16.0	3.83	1194.87	74.2	37.16	0.0	11.3	0.0	1210.6	254.5
193	3.68	17.1	3.85	1153.55	71.64	35.88	0.0	11.3	0.0	1254.6	263.8
194	3.68	17.6	3.86	1108.39	68.83	34.47	0.0	11.3	0.0	1241.3	261.0
195	3.68	26.0	4.1	1040.51	64.62	32.36	0.0	11.3	0.0	1791.8	376.7
196	3.68	26.0	4.1	951.05	59.06	29.58	0.0	11.3	0.0	1637.7	344.3
197	3.68	31.1	4.3	847.12	52.61	26.35	0.0	11.3	0.0	1801.1	378.7
198	3.68	43.7	5.09	667.43	41.45	20.76	0.0	11.3	0.0	2247.1	472.5
199	3.68	46.3	5.33	417.68	25.94	12.99	0.0	11.3	0.0	1541.2	324.0
200	3.68	49.0	5.61	143.51	8.91	4.46	0.0	11.3	0.0	581.0	122.2

## Superficie Nr...2 Fattore di sicurezza=0.88

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (kN)	Kh•Wi (kN)	Kv•Wi (kN)	c (kN/m <sup>2</sup> )	Fi (°)	Ui (kN)	N'i (kN)	Ti (kN)
1	2.11	0.7	2.11	2.32	0.14	0.07	0.0	11.3	0.0	-3.4	-0.7
2	2.11	0.7	2.11	6.97	0.43	0.22	0.0	11.3	0.0	-3.2	-0.7
3	2.11	0.7	2.11	17.8	1.11	0.55	0.0	11.3	0.0	-2.9	-0.6
4	2.11	0.7	2.11	31.51	1.96	0.98	0.0	11.3	0.0	-2.6	-0.5
5	2.11	0.7	2.11	45.23	2.81	1.41	0.0	11.3	0.0	-2.2	-0.5
6	2.11	0.7	2.11	58.94	3.66	1.83	0.0	11.3	0.0	-1.9	-0.4
7	2.11	0.7	2.11	72.65	4.51	2.26	0.0	11.3	0.0	-1.5	-0.3
8	2.11	0.7	2.11	86.36	5.36	2.69	0.0	11.3	0.0	-1.1	-0.2
9	2.11	0.7	2.11	101.18	6.28	3.15	0.0	11.3	0.0	-0.7	-0.2
10	2.11	0.7	2.11	123.18	7.65	3.83	0.0	11.3	0.0	-0.2	0.0
11	2.11	0.7	2.11	145.18	9.02	4.52	0.0	11.3	0.0	0.4	0.1
12	2.11	0.7	2.11	167.18	10.38	5.2	0.0	11.3	0.0	1.0	0.2
13	2.11	0.7	2.11	189.18	11.75	5.88	0.0	11.3	0.0	1.5	0.3
14	2.11	0.7	2.11	197.66	12.27	6.15	0.0	11.3	0.0	1.8	0.4
15	2.11	0.7	2.11	203.25	12.62	6.32	0.0	11.3	0.0	1.9	0.4
16	2.11	0.7	2.11	208.84	12.97	6.49	0.0	11.3	0.0	2.1	0.4
17	2.11	0.7	2.11	214.43	13.32	6.67	0.0	11.3	0.0	2.2	0.5
18	2.11	0.7	2.11	220.01	13.66	6.84	0.0	11.3	0.0	2.4	0.5
19	2.11	0.7	2.11	225.6	14.01	7.02	0.0	11.3	0.0	2.6	0.5
20	2.11	0.7	2.11	236.24	14.67	7.35	0.0	11.3	0.0	2.8	0.6
21	2.11	0.7	2.11	249.31	15.48	7.75	0.0	11.3	0.0	3.2	0.7
22	2.11	0.7	2.11	262.39	16.29	8.16	0.0	11.3	0.0	3.5	0.7
23	2.11	0.7	2.11	275.47	17.11	8.57	0.0	11.3	0.0	3.9	0.8
24	2.11	0.7	2.11	288.54	17.92	8.97	0.0	11.3	0.0	4.2	0.9
25	2.11	0.7	2.11	301.62	18.73	9.38	0.0	11.3	0.0	4.6	0.9
26	2.11	0.7	2.11	316.87	19.68	9.85	0.0	11.3	0.0	5.0	1.0
27	2.11	0.7	2.11	341.5	21.21	10.62	0.0	11.3	0.0	5.6	1.2
28	2.11	0.7	2.11	366.13	22.74	11.39	0.0	11.3	0.0	6.2	1.3
29	2.11	0.7	2.11	390.77	24.27	12.15	0.0	11.3	0.0	6.9	1.4
30	2.11	0.7	2.11	410.27	25.48	12.76	0.0	11.3	0.0	7.4	1.5
31	2.11	0.7	2.11	426.45	26.48	13.26	0.0	11.3	0.0	7.8	1.6
32	2.11	0.7	2.11	442.63	27.49	13.77	0.0	11.3	0.0	8.2	1.7
33	2.11	1.9	2.11	457.92	28.44	14.24	0.0	11.3	0.0	28.8	5.9
34	2.11	2.6	2.11	471.85	29.3	14.67	0.0	11.3	0.0	40.9	8.4
35	2.11	2.6	2.11	485.3	30.14	15.09	0.0	11.3	0.0	42.2	8.7
36	2.11	2.6	2.11	498.75	30.97	15.51	0.0	11.3	0.0	43.4	8.9
37	2.11	2.6	2.11	512.21	31.81	15.93	0.0	11.3	0.0	44.7	9.2
38	2.11	2.6	2.11	525.66	32.64	16.35	0.0	11.3	0.0	46.0	9.5
39	2.11	2.6	2.11	539.11	33.48	16.77	0.0	11.3	0.0	47.2	9.7
40	2.11	2.6	2.11	550.77	34.2	17.13	0.0	11.3	0.0	48.3	9.9
41	2.11	2.6	2.11	556.06	34.53	17.29	0.0	11.3	0.0	48.9	10.1
42	2.11	2.6	2.11	561.35	34.86	17.46	0.0	11.3	0.0	49.4	10.2
43	2.11	2.6	2.11	566.63	35.19	17.62	0.0	11.3	0.0	49.9	10.3
44	2.11	2.6	2.11	571.92	35.52	17.79	0.0	11.3	0.0	50.4	10.4
45	2.11	2.6	2.11	577.21	35.84	17.95	0.0	11.3	0.0	50.9	10.5
46	2.11	2.6	2.11	582.49	36.17	18.12	0.0	11.3	0.0	51.4	10.6
47	2.11	2.6	2.11	587.99	36.51	18.29	0.0	11.3	0.0	51.9	10.7
48	2.11	2.6	2.11	596.72	37.06	18.56	0.0	11.3	0.0	52.7	10.9
49	2.11	2.6	2.11	605.45	37.6	18.83	0.0	11.3	0.0	53.6	11.0
50	2.11	2.6	2.11	614.17	38.14	19.1	0.0	11.3	0.0	54.4	11.2
51	2.11	2.6	2.11	622.9	38.68	19.37	0.0	11.3	0.0	55.2	11.4
52	2.11	2.6	2.11	631.63	39.22	19.64	0.0	11.3	0.0	56.1	11.5
53	2.11	2.6	2.11	640.35	39.77	19.92	0.0	11.3	0.0	56.9	11.7
54	2.11	2.6	2.11	643.57	39.97	20.01	0.0	11.3	0.0	57.2	11.8
55	2.11	2.6	2.11	639.83	39.73	19.9	0.0	11.3	0.0	56.9	11.7
56	2.11	2.6	2.11	636.09	39.5	19.78	0.0	11.3	0.0	56.5	11.6
57	2.11	2.6	2.11	632.35	39.27	19.67	0.0	11.3	0.0	56.2	11.6
58	2.11	2.6	2.11	628.6	39.04	19.55	0.0	11.3	0.0	55.9	11.5

59	2.11	2.6	2.11	624.86	38.8	19.43	0.0	11.3	0.0	55.5	11.4
60	2.11	2.6	2.11	630.11	39.13	19.6	0.0	11.3	0.0	56.0	11.5
61	2.11	2.6	2.11	638.94	39.68	19.87	0.0	11.3	0.0	56.9	11.7
62	2.11	2.6	2.11	647.76	40.23	20.15	0.0	11.3	0.0	57.7	11.9
63	2.11	3.2	2.11	656.17	40.75	20.41	0.0	11.3	0.0	72.1	14.8
64	2.11	7.3	2.12	661.17	41.06	20.56	0.0	11.3	0.0	170.7	35.1
65	2.11	7.3	2.12	663.18	41.18	20.62	0.0	11.3	0.0	171.3	35.2
66	2.11	7.3	2.12	665.19	41.31	20.69	0.0	11.3	0.0	171.8	35.4
67	2.11	7.3	2.12	667.2	41.43	20.75	0.0	11.3	0.0	172.3	35.5
68	2.11	7.3	2.12	669.21	41.56	20.81	0.0	11.3	0.0	172.9	35.6
69	2.11	7.3	2.12	671.22	41.68	20.87	0.0	11.3	0.0	173.4	35.7
70	2.11	7.3	2.12	673.23	41.81	20.94	0.0	11.3	0.0	174.0	35.8
71	2.11	7.3	2.12	675.24	41.93	21.0	0.0	11.3	0.0	174.5	35.9
72	2.11	7.3	2.12	677.25	42.06	21.06	0.0	11.3	0.0	175.1	36.0
73	2.11	7.3	2.12	679.26	42.18	21.12	0.0	11.3	0.0	175.6	36.1
74	2.11	7.3	2.12	681.27	42.31	21.19	0.0	11.3	0.0	176.2	36.3
75	2.11	7.3	2.12	683.28	42.43	21.25	0.0	11.3	0.0	176.7	36.4
76	2.11	7.3	2.12	685.29	42.56	21.31	0.0	11.3	0.0	177.2	36.5
77	2.11	7.3	2.12	687.3	42.68	21.38	0.0	11.3	0.0	177.8	36.6
78	2.11	7.3	2.12	688.29	42.74	21.41	0.0	11.3	0.0	178.1	36.6
79	2.11	7.3	2.12	680.66	42.27	21.17	0.0	11.3	0.0	176.1	36.2
80	2.11	7.3	2.12	673.03	41.79	20.93	0.0	11.3	0.0	174.1	35.8
81	2.11	7.3	2.12	665.4	41.32	20.69	0.0	11.3	0.0	172.1	35.4
82	2.11	7.3	2.12	657.77	40.85	20.46	0.0	11.3	0.0	170.1	35.0
83	2.11	7.3	2.12	650.14	40.37	20.22	0.0	11.3	0.0	168.2	34.6
84	2.11	7.3	2.12	642.51	39.9	19.98	0.0	11.3	0.0	166.2	34.2
85	2.11	7.3	2.12	634.88	39.43	19.74	0.0	11.3	0.0	164.2	33.8
86	2.11	7.3	2.12	627.25	38.95	19.51	0.0	11.3	0.0	162.2	33.4
87	2.11	7.3	2.12	619.62	38.48	19.27	0.0	11.3	0.0	160.2	33.0
88	2.11	7.3	2.12	611.99	38.0	19.03	0.0	11.3	0.0	158.3	32.6
89	2.11	7.3	2.12	604.36	37.53	18.8	0.0	11.3	0.0	156.3	32.2
90	2.11	7.3	2.12	596.73	37.06	18.56	0.0	11.3	0.0	154.3	31.8
91	2.11	7.3	2.12	589.1	36.58	18.32	0.0	11.3	0.0	152.3	31.3
92	2.11	7.3	2.12	581.47	36.11	18.08	0.0	11.3	0.0	150.3	30.9
93	2.11	7.3	2.12	573.85	35.64	17.85	0.0	11.3	0.0	148.4	30.5
94	2.11	7.3	2.12	566.22	35.16	17.61	0.0	11.3	0.0	146.4	30.1
95	2.11	7.3	2.12	566.11	35.16	17.61	0.0	11.3	0.0	146.4	30.1
96	2.11	7.3	2.12	567.09	35.22	17.64	0.0	11.3	0.0	146.6	30.2
97	2.11	7.3	2.12	568.07	35.28	17.67	0.0	11.3	0.0	146.9	30.2
98	2.11	7.3	2.12	569.05	35.34	17.7	0.0	11.3	0.0	147.2	30.3
99	2.11	7.3	2.12	570.03	35.4	17.73	0.0	11.3	0.0	147.5	30.3
100	2.11	7.3	2.12	571.0	35.46	17.76	0.0	11.3	0.0	147.7	30.4
101	2.11	7.3	2.12	571.98	35.52	17.79	0.0	11.3	0.0	148.0	30.5
102	2.11	7.3	2.12	572.96	35.58	17.82	0.0	11.3	0.0	148.3	30.5
103	2.11	7.3	2.12	573.94	35.64	17.85	0.0	11.3	0.0	148.6	30.6
104	2.11	7.3	2.12	574.92	35.7	17.88	0.0	11.3	0.0	148.8	30.6
105	2.11	7.3	2.12	575.89	35.76	17.91	0.0	11.3	0.0	149.1	30.7
106	2.11	7.3	2.12	576.87	35.82	17.94	0.0	11.3	0.0	149.4	30.7
107	2.11	7.3	2.12	577.85	35.88	17.97	0.0	11.3	0.0	149.6	30.8
108	2.11	7.3	2.12	578.83	35.95	18.0	0.0	11.3	0.0	149.9	30.9
109	2.11	7.3	2.12	579.8	36.01	18.03	0.0	11.3	0.0	150.2	30.9
110	2.11	7.3	2.12	580.78	36.07	18.06	0.0	11.3	0.0	150.5	31.0
111	2.11	7.3	2.12	584.45	36.29	18.18	0.0	11.3	0.0	151.4	31.2
112	2.11	7.3	2.12	588.76	36.56	18.31	0.0	11.3	0.0	152.6	31.4
113	2.11	7.3	2.12	593.06	36.83	18.44	0.0	11.3	0.0	153.7	31.6
114	2.11	7.3	2.12	597.37	37.1	18.58	0.0	11.3	0.0	154.9	31.9
115	2.11	7.3	2.12	608.14	37.77	18.91	0.0	11.3	0.0	157.7	32.5
116	2.11	7.3	2.12	657.94	40.86	20.46	0.0	11.3	0.0	170.8	35.1
117	2.11	7.3	2.12	669.03	41.55	20.81	0.0	11.3	0.0	173.7	35.7
118	2.11	7.3	2.12	672.42	41.76	20.91	0.0	11.3	0.0	174.6	35.9
119	2.11	7.3	2.12	675.8	41.97	21.02	0.0	11.3	0.0	175.5	36.1
120	2.11	7.3	2.12	679.18	42.18	21.12	0.0	11.3	0.0	176.4	36.3
121	2.11	7.3	2.12	682.57	42.39	21.23	0.0	11.3	0.0	177.3	36.5

122	2.11	7.3	2.12	683.28	42.43	21.25	0.0	11.3	0.0	177.5	36.5
123	2.11	7.3	2.12	683.32	42.43	21.25	0.0	11.3	0.0	177.5	36.5
124	2.11	7.9	2.13	682.94	42.41	21.24	0.0	11.3	0.0	191.7	39.5
125	2.11	9.2	2.13	681.18	42.3	21.18	0.0	11.3	0.0	223.7	46.0
126	2.11	9.2	2.13	678.45	42.13	21.1	0.0	11.3	0.0	222.8	45.9
127	2.11	9.2	2.13	675.73	41.96	21.02	0.0	11.3	0.0	221.9	45.7
128	2.11	9.2	2.13	673.0	41.79	20.93	0.0	11.3	0.0	221.0	45.5
129	2.11	9.2	2.13	670.28	41.62	20.85	0.0	11.3	0.0	220.1	45.3
130	2.11	9.2	2.13	667.56	41.46	20.76	0.0	11.3	0.0	219.3	45.1
131	2.11	9.2	2.13	664.83	41.29	20.68	0.0	11.3	0.0	218.4	44.9
132	2.11	9.2	2.13	662.11	41.12	20.59	0.0	11.3	0.0	217.5	44.8
133	2.11	9.2	2.13	657.61	40.84	20.45	0.0	11.3	0.0	216.0	44.5
134	2.11	9.2	2.13	652.37	40.51	20.29	0.0	11.3	0.0	214.3	44.1
135	2.11	9.2	2.13	647.13	40.19	20.13	0.0	11.3	0.0	212.6	43.8
136	2.11	9.2	2.13	641.89	39.86	19.96	0.0	11.3	0.0	210.9	43.4
137	2.11	9.2	2.13	636.65	39.54	19.8	0.0	11.3	0.0	209.2	43.1
138	2.11	9.2	2.13	631.41	39.21	19.64	0.0	11.3	0.0	207.5	42.7
139	2.11	9.2	2.13	626.17	38.89	19.47	0.0	11.3	0.0	205.7	42.3
140	2.11	9.2	2.13	620.94	38.56	19.31	0.0	11.3	0.0	204.0	42.0
141	2.11	9.2	2.13	615.7	38.23	19.15	0.0	11.3	0.0	202.3	41.6
142	2.11	9.2	2.13	619.01	38.44	19.25	0.0	11.3	0.0	203.4	41.9
143	2.11	9.2	2.13	625.81	38.86	19.46	0.0	11.3	0.0	205.7	42.3
144	2.11	9.2	2.13	632.61	39.29	19.67	0.0	11.3	0.0	208.0	42.8
145	2.11	9.2	2.13	639.41	39.71	19.89	0.0	11.3	0.0	210.2	43.3
146	2.11	9.2	2.13	646.21	40.13	20.1	0.0	11.3	0.0	212.5	43.7
147	2.11	9.2	2.13	653.01	40.55	20.31	0.0	11.3	0.0	214.7	44.2
148	2.11	9.2	2.13	659.82	40.97	20.52	0.0	11.3	0.0	217.0	44.7
149	2.11	9.2	2.13	666.62	41.4	20.73	0.0	11.3	0.0	219.3	45.1
150	2.11	9.2	2.13	673.42	41.82	20.94	0.0	11.3	0.0	221.5	45.6
151	2.11	9.2	2.13	680.22	42.24	21.15	0.0	11.3	0.0	223.8	46.1
152	2.11	9.2	2.13	687.02	42.66	21.37	0.0	11.3	0.0	226.1	46.5
153	2.11	9.2	2.13	693.82	43.09	21.58	0.0	11.3	0.0	228.3	47.0
154	2.11	9.2	2.13	700.62	43.51	21.79	0.0	11.3	0.0	230.6	47.5
155	2.11	9.2	2.13	707.43	43.93	22.0	0.0	11.3	0.0	232.9	47.9
156	2.11	9.2	2.13	714.23	44.35	22.21	0.0	11.3	0.0	235.1	48.4
157	2.11	9.2	2.13	716.34	44.48	22.28	0.0	11.3	0.0	235.8	48.5
158	2.11	9.2	2.13	717.86	44.58	22.33	0.0	11.3	0.0	236.4	48.6
159	2.11	9.2	2.13	719.37	44.67	22.37	0.0	11.3	0.0	236.9	48.8
160	2.11	9.2	2.13	720.88	44.77	22.42	0.0	11.3	0.0	237.4	48.9
161	2.11	9.2	2.13	722.39	44.86	22.47	0.0	11.3	0.0	237.9	49.0
162	2.11	9.2	2.13	723.9	44.95	22.51	0.0	11.3	0.0	238.4	49.1
163	2.11	9.2	2.13	725.41	45.05	22.56	0.0	11.3	0.0	238.9	49.2
164	2.11	9.2	2.13	726.92	45.14	22.61	0.0	11.3	0.0	239.5	49.3
165	2.11	9.2	2.13	728.43	45.24	22.65	0.0	11.3	0.0	240.0	49.4
166	2.11	9.2	2.13	729.94	45.33	22.7	0.0	11.3	0.0	240.5	49.5
167	2.11	9.2	2.13	731.45	45.42	22.75	0.0	11.3	0.0	241.0	49.6
168	2.11	9.2	2.13	732.96	45.52	22.8	0.0	11.3	0.0	241.5	49.7
169	2.11	9.2	2.13	734.47	45.61	22.84	0.0	11.3	0.0	242.0	49.8
170	2.11	9.2	2.13	735.99	45.7	22.89	0.0	11.3	0.0	242.6	49.9
171	2.11	9.2	2.13	735.77	45.69	22.88	0.0	11.3	0.0	242.5	49.9
172	2.11	9.2	2.13	732.45	45.48	22.78	0.0	11.3	0.0	241.4	49.7
173	2.11	9.2	2.13	729.12	45.28	22.68	0.0	11.3	0.0	240.3	49.5
174	2.11	9.2	2.13	725.79	45.07	22.57	0.0	11.3	0.0	239.3	49.2
175	2.11	9.2	2.13	722.46	44.86	22.47	0.0	11.3	0.0	238.2	49.0
176	2.11	9.2	2.13	719.14	44.66	22.37	0.0	11.3	0.0	237.1	48.8
177	2.11	9.2	2.13	715.81	44.45	22.26	0.0	11.3	0.0	236.0	48.6
178	2.11	9.2	2.13	712.48	44.25	22.16	0.0	11.3	0.0	234.9	48.4
179	2.11	9.2	2.13	709.15	44.04	22.05	0.0	11.3	0.0	233.9	48.1
180	2.11	9.2	2.13	705.82	43.83	21.95	0.0	11.3	0.0	232.8	47.9
181	2.11	9.2	2.13	703.1	43.66	21.87	0.0	11.3	0.0	231.9	47.7
182	2.11	9.2	2.13	700.87	43.52	21.8	0.0	11.3	0.0	231.2	47.6
183	2.11	9.2	2.13	698.63	43.38	21.73	0.0	11.3	0.0	230.4	47.4
184	2.11	9.2	2.13	696.39	43.25	21.66	0.0	11.3	0.0	229.7	47.3

185	2.11	13.1	2.16	691.2	42.92	21.5	0.0	11.3	0.0	329.4	67.8
186	2.11	17.1	2.2	679.92	42.22	21.15	0.0	11.3	0.0	429.5	88.4
187	2.11	17.1	2.2	665.52	41.33	20.7	0.0	11.3	0.0	420.4	86.5
188	2.11	17.1	2.2	651.12	40.43	20.25	0.0	11.3	0.0	411.3	84.7
189	2.11	17.1	2.2	636.72	39.54	19.8	0.0	11.3	0.0	402.2	82.8
190	2.11	22.5	2.28	617.98	38.38	19.22	0.0	11.3	0.0	523.4	107.7
191	2.11	26.0	2.34	591.8	36.75	18.4	0.0	11.3	0.0	592.3	121.9
192	2.11	26.0	2.34	562.52	34.93	17.49	0.0	11.3	0.0	563.0	115.9
193	2.11	26.0	2.34	533.24	33.11	16.58	0.0	11.3	0.0	533.7	109.8
194	2.11	26.0	2.34	503.95	31.3	15.67	0.0	11.3	0.0	504.4	103.8
195	2.11	38.9	2.7	461.56	28.66	14.35	0.0	11.3	0.0	762.2	156.9
196	2.11	43.7	2.91	391.49	24.31	12.18	0.0	11.3	0.0	766.3	157.7
197	2.11	43.7	2.91	313.52	19.47	9.75	0.0	11.3	0.0	613.7	126.3
198	2.11	46.8	3.08	230.97	14.34	7.18	0.0	11.3	0.0	504.7	103.9
199	2.11	48.9	3.2	140.54	8.73	4.37	0.0	11.3	0.0	330.0	67.9
200	2.11	48.9	3.2	46.84	2.91	1.46	0.0	11.3	0.0	109.9	22.6

Superficie Nr...3 Fattore di sicurezza=0.87

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (kN)	Kh•Wi (kN)	Kv•Wi (kN)	c (kN/m²)	Fi (°)	Ui (kN)	N'i (kN)	Ti (kN)
1	2.39	-1.1	2.39	31.47	1.95	0.98	0.0	11.3	0.0	21.8	4.5
2	2.39	-1.1	2.39	94.41	5.86	2.94	0.0	11.3	0.0	18.9	3.9
3	2.39	-1.1	2.39	157.35	9.77	4.89	0.0	11.3	0.0	16.1	3.3
4	2.39	-1.1	2.39	220.29	13.68	6.85	0.0	11.3	0.0	13.2	2.8
5	2.39	-1.1	2.39	284.25	17.65	8.84	0.0	11.3	0.0	10.3	2.1
6	2.39	-1.1	2.39	366.54	22.76	11.4	0.0	11.3	0.0	6.6	1.4
7	2.39	-1.1	2.39	448.84	27.87	13.96	0.0	11.3	0.0	2.9	0.6
8	2.39	-1.1	2.39	531.14	32.98	16.52	0.0	11.3	0.0	-0.8	-0.2
9	2.39	-1.1	2.39	613.43	38.09	19.08	0.0	11.3	0.0	-4.6	-0.9
10	2.39	-1.1	2.39	695.73	43.2	21.64	0.0	11.3	0.0	-8.3	-1.7
11	2.39	-1.1	2.39	700.07	43.47	21.77	0.0	11.3	0.0	-8.6	-1.8
12	2.39	-1.1	2.39	702.37	43.62	21.84	0.0	11.3	0.0	-8.8	-1.8
13	2.39	-1.1	2.39	704.66	43.76	21.91	0.0	11.3	0.0	-9.0	-1.9
14	2.39	-1.1	2.39	706.95	43.9	21.99	0.0	11.3	0.0	-9.2	-1.9
15	2.39	-1.1	2.39	722.7	44.88	22.48	0.0	11.3	0.0	-10.0	-2.1
16	2.39	-1.1	2.39	745.61	46.3	23.19	0.0	11.3	0.0	-11.1	-2.3
17	2.39	-1.1	2.39	768.53	47.73	23.9	0.0	11.3	0.0	-12.3	-2.6
18	2.39	-1.1	2.39	791.44	49.15	24.61	0.0	11.3	0.0	-13.4	-2.8
19	2.39	-1.1	2.39	814.35	50.57	25.33	0.0	11.3	0.0	-14.5	-3.0
20	2.39	-1.1	2.39	837.26	51.99	26.04	0.0	11.3	0.0	-15.6	-3.3
21	2.39	-1.0	2.39	860.08	53.41	26.75	0.0	11.3	0.0	-13.3	-2.8
22	2.39	1.1	2.39	880.82	54.7	27.39	0.0	11.3	0.0	61.0	12.7
23	2.39	1.1	2.39	899.58	55.86	27.98	0.0	11.3	0.0	61.8	12.9
24	2.39	1.1	2.39	918.34	57.03	28.56	0.0	11.3	0.0	62.5	13.0
25	2.39	1.1	2.39	937.68	58.23	29.16	0.0	11.3	0.0	63.3	13.2
26	2.39	1.1	2.39	958.46	59.52	29.81	0.0	11.3	0.0	64.1	13.4
27	2.39	1.1	2.39	979.23	60.81	30.45	0.0	11.3	0.0	65.0	13.5
28	2.39	1.1	2.39	1000.01	62.1	31.1	0.0	11.3	0.0	65.8	13.7
29	2.39	1.1	2.39	1020.78	63.39	31.75	0.0	11.3	0.0	66.6	13.9
30	2.39	1.1	2.39	1041.56	64.68	32.39	0.0	11.3	0.0	67.5	14.1
31	2.39	1.1	2.39	1062.33	65.97	33.04	0.0	11.3	0.0	68.3	14.2
32	2.39	1.1	2.39	1083.11	67.26	33.68	0.0	11.3	0.0	69.1	14.4
33	2.39	1.1	2.39	1103.16	68.51	34.31	0.0	11.3	0.0	69.9	14.6
34	2.39	1.1	2.39	1119.76	69.54	34.82	0.0	11.3	0.0	70.6	14.7
35	2.39	1.1	2.39	1136.36	70.57	35.34	0.0	11.3	0.0	71.2	14.8
36	2.39	1.1	2.39	1152.96	71.6	35.86	0.0	11.3	0.0	71.9	15.0
37	2.39	1.1	2.39	1169.57	72.63	36.37	0.0	11.3	0.0	72.5	15.1
38	2.39	1.1	2.39	1186.17	73.66	36.89	0.0	11.3	0.0	73.2	15.2
39	2.39	1.1	2.39	1209.45	75.11	37.61	0.0	11.3	0.0	74.1	15.4
40	2.39	1.1	2.39	1233.97	76.63	38.38	0.0	11.3	0.0	75.1	15.6

41	2.39	1.1	2.39	1258.5	78.15	39.14	0.0	11.3	0.0	76.1	15.9
42	2.39	2.2	2.39	1282.06	79.62	39.87	0.0	11.3	0.0	129.9	27.1
43	2.39	3.7	2.39	1300.74	80.78	40.45	0.0	11.3	0.0	210.4	43.8
44	2.39	3.7	2.39	1311.29	81.43	40.78	0.0	11.3	0.0	211.8	44.1
45	2.39	3.7	2.39	1321.85	82.09	41.11	0.0	11.3	0.0	213.3	44.4
46	2.39	3.7	2.39	1332.41	82.74	41.44	0.0	11.3	0.0	214.7	44.7
47	2.39	3.7	2.39	1342.97	83.4	41.77	0.0	11.3	0.0	216.2	45.0
48	2.39	3.7	2.39	1353.53	84.05	42.09	0.0	11.3	0.0	217.6	45.3
49	2.39	3.7	2.39	1364.08	84.71	42.42	0.0	11.3	0.0	219.0	45.6
50	2.39	3.7	2.39	1374.64	85.37	42.75	0.0	11.3	0.0	220.5	45.9
51	2.39	3.7	2.39	1374.41	85.35	42.74	0.0	11.3	0.0	220.3	45.9
52	2.39	3.7	2.39	1367.55	84.92	42.53	0.0	11.3	0.0	219.2	45.7
53	2.39	3.7	2.39	1360.69	84.5	42.32	0.0	11.3	0.0	218.1	45.4
54	2.39	3.7	2.39	1353.83	84.07	42.1	0.0	11.3	0.0	216.9	45.2
55	2.39	3.7	2.39	1346.97	83.65	41.89	0.0	11.3	0.0	215.8	45.0
56	2.39	3.7	2.39	1340.11	83.22	41.68	0.0	11.3	0.0	214.7	44.7
57	2.39	3.7	2.39	1333.25	82.79	41.46	0.0	11.3	0.0	213.5	44.5
58	2.39	3.7	2.39	1326.39	82.37	41.25	0.0	11.3	0.0	212.4	44.3
59	2.39	3.7	2.39	1319.53	81.94	41.04	0.0	11.3	0.0	211.3	44.0
60	2.39	4.2	2.4	1312.22	81.49	40.81	0.0	11.3	0.0	235.5	49.1
61	2.39	6.2	2.4	1302.53	80.89	40.51	0.0	11.3	0.0	341.9	71.2
62	2.39	6.2	2.4	1290.92	80.17	40.15	0.0	11.3	0.0	338.9	70.6
63	2.39	6.2	2.4	1279.3	79.44	39.79	0.0	11.3	0.0	335.9	70.0
64	2.39	6.2	2.4	1267.69	78.72	39.43	0.0	11.3	0.0	332.8	69.4
65	2.39	6.2	2.4	1260.35	78.27	39.2	0.0	11.3	0.0	330.9	68.9
66	2.39	6.2	2.4	1299.87	80.72	40.43	0.0	11.3	0.0	340.6	71.0
67	2.39	6.2	2.4	1339.4	83.18	41.66	0.0	11.3	0.0	350.4	73.0
68	2.39	6.2	2.4	1378.92	85.63	42.88	0.0	11.3	0.0	360.2	75.0
69	2.39	6.2	2.4	1418.45	88.09	44.11	0.0	11.3	0.0	369.9	77.1
70	2.39	6.2	2.4	1434.38	89.07	44.61	0.0	11.3	0.0	373.8	77.9
71	2.39	6.2	2.4	1422.76	88.35	44.25	0.0	11.3	0.0	370.8	77.3
72	2.39	6.2	2.4	1411.15	87.63	43.89	0.0	11.3	0.0	367.8	76.6
73	2.39	6.2	2.4	1399.53	86.91	43.53	0.0	11.3	0.0	364.7	76.0
74	2.39	6.2	2.4	1387.92	86.19	43.16	0.0	11.3	0.0	361.7	75.4
75	2.39	6.2	2.4	1376.3	85.47	42.8	0.0	11.3	0.0	358.7	74.7
76	2.39	6.2	2.4	1364.69	84.75	42.44	0.0	11.3	0.0	355.7	74.1
77	2.39	6.2	2.4	1353.07	84.03	42.08	0.0	11.3	0.0	352.7	73.5
78	2.39	6.2	2.4	1341.46	83.3	41.72	0.0	11.3	0.0	349.6	72.9
79	2.39	6.2	2.4	1329.84	82.58	41.36	0.0	11.3	0.0	346.6	72.2
80	2.39	7.5	2.41	1317.0	81.79	40.96	0.0	11.3	0.0	412.9	86.0
81	2.39	7.7	2.41	1302.8	80.9	40.52	0.0	11.3	0.0	415.6	86.6
82	2.39	7.7	2.41	1288.48	80.01	40.07	0.0	11.3	0.0	411.1	85.6
83	2.39	7.7	2.41	1274.16	79.13	39.63	0.0	11.3	0.0	406.5	84.7
84	2.39	7.7	2.41	1259.83	78.24	39.18	0.0	11.3	0.0	402.0	83.8
85	2.39	7.7	2.41	1245.51	77.35	38.74	0.0	11.3	0.0	397.5	82.8
86	2.39	7.7	2.41	1231.19	76.46	38.29	0.0	11.3	0.0	392.9	81.9
87	2.39	7.7	2.41	1216.87	75.57	37.84	0.0	11.3	0.0	388.4	80.9
88	2.39	7.7	2.41	1239.73	76.99	38.56	0.0	11.3	0.0	395.3	82.4
89	2.39	7.7	2.41	1271.81	78.98	39.55	0.0	11.3	0.0	405.1	84.4
90	2.39	7.7	2.41	1303.88	80.97	40.55	0.0	11.3	0.0	414.9	86.4
91	2.39	7.7	2.41	1335.95	82.96	41.55	0.0	11.3	0.0	424.6	88.5
92	2.39	7.7	2.41	1368.03	84.95	42.55	0.0	11.3	0.0	434.4	90.5
93	2.39	7.7	2.41	1380.89	85.75	42.95	0.0	11.3	0.0	438.2	91.3
94	2.39	7.7	2.41	1376.94	85.51	42.82	0.0	11.3	0.0	436.9	91.0
95	2.39	7.7	2.41	1361.92	84.58	42.36	0.0	11.3	0.0	432.2	90.0
96	2.39	7.7	2.41	1346.91	83.64	41.89	0.0	11.3	0.0	427.4	89.1
97	2.39	7.7	2.41	1331.9	82.71	41.42	0.0	11.3	0.0	422.7	88.1
98	2.39	7.7	2.41	1358.13	84.34	42.24	0.0	11.3	0.0	430.7	89.7
99	2.39	8.8	2.42	1380.74	85.74	42.94	0.0	11.3	0.0	501.0	104.4
100	2.39	9.5	2.42	1381.47	85.79	42.96	0.0	11.3	0.0	539.3	112.4
101	2.39	9.5	2.42	1381.56	85.79	42.97	0.0	11.3	0.0	539.2	112.4
102	2.39	9.5	2.42	1381.65	85.8	42.97	0.0	11.3	0.0	539.1	112.3
103	2.39	9.5	2.42	1390.27	86.34	43.24	0.0	11.3	0.0	542.3	113.0

104	2.39	9.5	2.42	1400.02	86.94	43.54	0.0	11.3	0.0	545.9	113.7
105	2.39	9.5	2.42	1409.76	87.55	43.84	0.0	11.3	0.0	549.5	114.5
106	2.39	9.5	2.42	1418.24	88.07	44.11	0.0	11.3	0.0	552.7	115.2
107	2.39	9.5	2.42	1406.69	87.36	43.75	0.0	11.3	0.0	548.1	114.2
108	2.39	9.5	2.42	1395.14	86.64	43.39	0.0	11.3	0.0	543.6	113.3
109	2.39	9.5	2.42	1383.59	85.92	43.03	0.0	11.3	0.0	539.1	112.3
110	2.39	9.5	2.42	1372.03	85.2	42.67	0.0	11.3	0.0	534.5	111.4
111	2.39	9.5	2.42	1360.48	84.49	42.31	0.0	11.3	0.0	530.0	110.4
112	2.39	9.5	2.42	1348.93	83.77	41.95	0.0	11.3	0.0	525.5	109.5
113	2.39	9.5	2.42	1337.38	83.05	41.59	0.0	11.3	0.0	520.9	108.5
114	2.39	9.5	2.42	1325.83	82.33	41.23	0.0	11.3	0.0	516.4	107.6
115	2.39	9.5	2.42	1314.28	81.62	40.87	0.0	11.3	0.0	511.9	106.7
116	2.39	9.5	2.42	1302.67	80.9	40.51	0.0	11.3	0.0	510.9	106.4
117	2.39	11.6	2.44	1289.04	80.05	40.09	0.0	11.3	0.0	614.2	128.0
118	2.39	11.6	2.44	1274.72	79.16	39.64	0.0	11.3	0.0	607.4	126.6
119	2.39	11.6	2.44	1263.66	78.47	39.3	0.0	11.3	0.0	602.1	125.5
120	2.39	11.6	2.44	1252.6	77.79	38.96	0.0	11.3	0.0	596.8	124.3
121	2.39	11.6	2.44	1241.54	77.1	38.61	0.0	11.3	0.0	591.5	123.2
122	2.39	11.6	2.44	1230.48	76.41	38.27	0.0	11.3	0.0	586.2	122.1
123	2.39	11.6	2.44	1219.42	75.73	37.92	0.0	11.3	0.0	580.9	121.0
124	2.39	11.6	2.44	1208.36	75.04	37.58	0.0	11.3	0.0	575.6	119.9
125	2.39	11.6	2.44	1197.3	74.35	37.24	0.0	11.3	0.0	570.3	118.8
126	2.39	11.6	2.44	1186.24	73.67	36.89	0.0	11.3	0.0	565.0	117.7
127	2.39	11.6	2.44	1175.18	72.98	36.55	0.0	11.3	0.0	559.7	116.6
128	2.39	11.6	2.44	1162.52	72.19	36.15	0.0	11.3	0.0	553.6	115.4
129	2.39	11.6	2.44	1148.02	71.29	35.7	0.0	11.3	0.0	546.7	113.9
130	2.39	11.6	2.44	1133.53	70.39	35.25	0.0	11.3	0.0	539.8	112.5
131	2.39	11.6	2.44	1119.03	69.49	34.8	0.0	11.3	0.0	532.9	111.0
132	2.39	11.6	2.44	1104.54	68.59	34.35	0.0	11.3	0.0	526.0	109.6
133	2.39	11.6	2.44	1090.04	67.69	33.9	0.0	11.3	0.0	519.0	108.1
134	2.39	11.6	2.44	1076.67	66.86	33.48	0.0	11.3	0.0	512.6	106.8
135	2.39	11.6	2.44	1073.85	66.69	33.4	0.0	11.3	0.0	511.2	106.5
136	2.39	11.6	2.44	1071.03	66.51	33.31	0.0	11.3	0.0	509.8	106.2
137	2.39	11.6	2.44	1068.21	66.34	33.22	0.0	11.3	0.0	508.3	105.9
138	2.39	11.6	2.44	1065.39	66.16	33.13	0.0	11.3	0.0	506.9	105.6
139	2.39	11.6	2.44	1062.57	65.99	33.05	0.0	11.3	0.0	505.5	105.3
140	2.39	11.6	2.44	1063.23	66.03	33.07	0.0	11.3	0.0	505.6	105.4
141	2.39	11.6	2.44	1071.08	66.51	33.31	0.0	11.3	0.0	509.2	106.1
142	2.39	11.6	2.44	1078.93	67.0	33.55	0.0	11.3	0.0	512.8	106.8
143	2.39	11.6	2.44	1086.79	67.49	33.8	0.0	11.3	0.0	516.3	107.6
144	2.39	11.6	2.44	1083.49	67.28	33.7	0.0	11.3	0.0	514.7	107.2
145	2.39	11.6	2.44	1070.2	66.46	33.28	0.0	11.3	0.0	508.3	105.9
146	2.39	11.6	2.44	1056.92	65.63	32.87	0.0	11.3	0.0	502.0	104.6
147	2.39	11.6	2.44	1043.64	64.81	32.46	0.0	11.3	0.0	495.6	103.3
148	2.39	11.6	2.44	1030.35	63.98	32.04	0.0	11.3	0.0	489.3	101.9
149	2.39	11.6	2.44	1018.12	63.23	31.66	0.0	11.3	0.0	483.4	100.7
150	2.39	11.6	2.44	1014.48	63.0	31.55	0.0	11.3	0.0	481.6	100.3
151	2.39	11.6	2.44	1010.84	62.77	31.44	0.0	11.3	0.0	479.8	100.0
152	2.39	11.9	2.44	1006.86	62.53	31.31	0.0	11.3	0.0	492.8	102.7
153	2.39	12.4	2.45	1002.03	62.23	31.16	0.0	11.3	0.0	511.7	106.6
154	2.39	12.4	2.45	996.71	61.9	31.0	0.0	11.3	0.0	508.9	106.0
155	2.39	12.4	2.45	997.24	61.93	31.01	0.0	11.3	0.0	509.1	106.1
156	2.39	12.4	2.45	1006.8	62.52	31.31	0.0	11.3	0.0	513.8	107.1
157	2.39	12.4	2.45	1016.36	63.12	31.61	0.0	11.3	0.0	518.5	108.0
158	2.39	12.4	2.45	1023.34	63.55	31.83	0.0	11.3	0.0	521.9	108.7
159	2.39	12.4	2.45	1022.01	63.47	31.78	0.0	11.3	0.0	521.1	108.6
160	2.39	12.4	2.45	1020.68	63.38	31.74	0.0	11.3	0.0	520.3	108.4
161	2.39	12.4	2.45	1019.36	63.3	31.7	0.0	11.3	0.0	519.5	108.3
162	2.39	12.4	2.45	1018.03	63.22	31.66	0.0	11.3	0.0	518.7	108.1
163	2.39	12.4	2.45	1016.71	63.14	31.62	0.0	11.3	0.0	518.0	107.9
164	2.39	12.4	2.45	1015.38	63.06	31.58	0.0	11.3	0.0	517.2	107.8
165	2.39	12.4	2.45	1014.06	62.97	31.54	0.0	11.3	0.0	516.4	107.6
166	2.39	12.4	2.45	1012.73	62.89	31.5	0.0	11.3	0.0	515.6	107.4

167	2.39	12.4	2.45	1010.52	62.75	31.43	0.0	11.3	0.0	514.3	107.2
168	2.39	12.4	2.45	998.68	62.02	31.06	0.0	11.3	0.0	508.3	105.9
169	2.39	12.4	2.45	986.84	61.28	30.69	0.0	11.3	0.0	502.1	104.6
170	2.39	12.4	2.45	975.0	60.55	30.32	0.0	11.3	0.0	496.1	103.4
171	2.39	12.4	2.45	963.15	59.81	29.95	0.0	11.3	0.0	489.9	102.1
172	2.39	12.4	2.45	951.31	59.08	29.59	0.0	11.3	0.0	483.9	100.8
173	2.39	12.4	2.45	939.47	58.34	29.22	0.0	11.3	0.0	477.8	99.5
174	2.39	12.4	2.45	931.07	57.82	28.96	0.0	11.3	0.0	473.4	98.6
175	2.39	12.4	2.45	923.66	57.36	28.73	0.0	11.3	0.0	469.5	97.8
176	2.39	12.4	2.45	916.25	56.9	28.5	0.0	11.3	0.0	465.7	97.0
177	2.39	12.4	2.45	908.84	56.44	28.26	0.0	11.3	0.0	461.8	96.2
178	2.39	12.4	2.45	901.43	55.98	28.03	0.0	11.3	0.0	457.9	95.4
179	2.39	12.4	2.45	894.02	55.52	27.8	0.0	11.3	0.0	454.1	94.6
180	2.39	12.4	2.45	871.45	54.12	27.1	0.0	11.3	0.0	442.6	92.2
181	2.39	12.4	2.45	847.98	52.66	26.37	0.0	11.3	0.0	430.6	89.7
182	2.39	12.4	2.45	824.51	51.2	25.64	0.0	11.3	0.0	418.6	87.2
183	2.39	12.4	2.45	801.04	49.74	24.91	0.0	11.3	0.0	406.6	84.7
184	2.39	12.4	2.45	777.58	48.29	24.18	0.0	11.3	0.0	394.7	82.2
185	2.39	12.4	2.45	768.63	47.73	23.9	0.0	11.3	0.0	390.0	81.3
186	2.39	12.4	2.45	761.35	47.28	23.68	0.0	11.3	0.0	386.2	80.5
187	2.39	12.4	2.45	754.06	46.83	23.45	0.0	11.3	0.0	382.4	79.7
188	2.39	17.6	2.51	741.64	46.06	23.07	0.0	11.3	0.0	539.8	112.5
189	2.39	18.9	2.53	722.74	44.88	22.48	0.0	11.3	0.0	568.1	118.4
190	2.39	18.9	2.53	702.49	43.62	21.85	0.0	11.3	0.0	552.1	115.0
191	2.39	18.9	2.53	682.23	42.37	21.22	0.0	11.3	0.0	536.1	111.7
192	2.39	18.9	2.53	661.98	41.11	20.59	0.0	11.3	0.0	520.1	108.4
193	2.39	31.1	2.79	627.84	38.99	19.53	0.0	11.3	0.0	868.4	180.9
194	2.39	35.6	2.94	573.9	35.64	17.85	0.0	11.3	0.0	940.3	195.9
195	2.39	35.6	2.94	514.02	31.92	15.99	0.0	11.3	0.0	842.2	175.5
196	2.39	35.6	2.94	454.14	28.2	14.12	0.0	11.3	0.0	744.0	155.0
197	2.39	42.9	3.26	382.86	23.78	11.91	0.0	11.3	0.0	815.2	169.9
198	2.39	50.7	3.77	284.6	17.67	8.85	0.0	11.3	0.0	796.7	166.0
199	2.39	50.7	3.77	170.78	10.61	5.31	0.0	11.3	0.0	478.1	99.6
200	2.39	50.7	3.77	56.93	3.54	1.77	0.0	11.3	0.0	159.5	33.2

Superficie Nr...4 Fattore di sicurezza=0.92

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (kN)	Kh•Wi (kN)	Kv•Wi (kN)	c (kN/m <sup>2</sup> )	Fi (°)	Ui (kN)	N'i (kN)	Ti (kN)
1	1.71	-1.1	1.71	16.08	1.0	0.5	0.0	11.3	0.0	-6.2	-1.2
2	1.71	-1.1	1.71	48.25	3.0	1.5	0.0	11.3	0.0	-7.3	-1.4
3	1.71	-1.1	1.71	80.41	4.99	2.5	0.0	11.3	0.0	-8.3	-1.6
4	1.71	-1.1	1.71	112.57	6.99	3.5	0.0	11.3	0.0	-9.3	-1.8
5	1.71	-1.1	1.71	144.74	8.99	4.5	0.0	11.3	0.0	-10.3	-2.0
6	1.71	-1.1	1.71	176.9	10.99	5.5	0.0	11.3	0.0	-11.3	-2.2
7	1.71	-1.1	1.71	211.82	13.15	6.59	0.0	11.3	0.0	-12.4	-2.4
8	1.71	-1.1	1.71	253.88	15.77	7.9	0.0	11.3	0.0	-13.7	-2.7
9	1.71	-1.1	1.71	295.93	18.38	9.2	0.0	11.3	0.0	-15.0	-3.0
10	1.71	-1.1	1.71	337.99	20.99	10.51	0.0	11.3	0.0	-16.3	-3.2
11	1.71	-1.1	1.71	380.04	23.6	11.82	0.0	11.3	0.0	-17.6	-3.5
12	1.71	-1.1	1.71	422.1	26.21	13.13	0.0	11.3	0.0	-18.9	-3.7
13	1.71	-1.1	1.71	464.15	28.82	14.44	0.0	11.3	0.0	-20.3	-4.0
14	1.71	-1.1	1.71	499.06	30.99	15.52	0.0	11.3	0.0	-21.4	-4.2
15	1.71	-1.1	1.71	500.23	31.06	15.56	0.0	11.3	0.0	-21.4	-4.2
16	1.71	-1.1	1.71	501.41	31.14	15.59	0.0	11.3	0.0	-21.4	-4.2
17	1.71	-1.1	1.71	502.58	31.21	15.63	0.0	11.3	0.0	-21.4	-4.2
18	1.71	-1.1	1.71	503.75	31.28	15.67	0.0	11.3	0.0	-21.4	-4.2
19	1.71	-1.1	1.71	504.92	31.36	15.7	0.0	11.3	0.0	-21.4	-4.2
20	1.71	-1.1	1.71	507.45	31.51	15.78	0.0	11.3	0.0	-21.5	-4.2
21	1.71	-1.1	1.71	519.16	32.24	16.15	0.0	11.3	0.0	-21.8	-4.3
22	1.71	-1.1	1.71	530.87	32.97	16.51	0.0	11.3	0.0	-22.1	-4.4

23	1.71	-1.1	1.71	542.58	33.69	16.87	0.0	11.3	0.0	-22.5	-4.5
24	1.71	-1.1	1.71	554.29	34.42	17.24	0.0	11.3	0.0	-22.8	-4.5
25	1.71	-1.1	1.71	566.0	35.15	17.6	0.0	11.3	0.0	-23.2	-4.6
26	1.71	-1.1	1.71	577.71	35.88	17.97	0.0	11.3	0.0	-23.5	-4.7
27	1.71	-1.1	1.71	589.42	36.6	18.33	0.0	11.3	0.0	-23.9	-4.7
28	1.71	-1.1	1.71	601.12	37.33	18.69	0.0	11.3	0.0	-24.2	-4.8
29	1.71	-1.1	1.71	612.83	38.06	19.06	0.0	11.3	0.0	-24.6	-4.9
30	1.71	0.4	1.71	623.81	38.74	19.4	0.0	11.3	0.0	3.2	0.6
31	1.71	1.1	1.71	633.73	39.35	19.71	0.0	11.3	0.0	16.4	3.2
32	1.71	1.1	1.71	643.32	39.95	20.01	0.0	11.3	0.0	16.7	3.3
33	1.71	1.1	1.71	652.9	40.55	20.31	0.0	11.3	0.0	17.1	3.4
34	1.71	1.1	1.71	662.49	41.14	20.6	0.0	11.3	0.0	17.4	3.5
35	1.71	1.1	1.71	672.73	41.78	20.92	0.0	11.3	0.0	17.8	3.5
36	1.71	1.1	1.71	683.34	42.44	21.25	0.0	11.3	0.0	18.2	3.6
37	1.71	1.1	1.71	693.96	43.09	21.58	0.0	11.3	0.0	18.6	3.7
38	1.71	1.1	1.71	704.58	43.75	21.91	0.0	11.3	0.0	19.0	3.8
39	1.71	1.1	1.71	715.19	44.41	22.24	0.0	11.3	0.0	19.4	3.8
40	1.71	1.1	1.71	725.81	45.07	22.57	0.0	11.3	0.0	19.7	3.9
41	1.71	1.1	1.71	736.43	45.73	22.9	0.0	11.3	0.0	20.1	4.0
42	1.71	1.1	1.71	747.04	46.39	23.23	0.0	11.3	0.0	20.5	4.1
43	1.71	1.1	1.71	757.66	47.05	23.56	0.0	11.3	0.0	20.9	4.1
44	1.71	1.1	1.71	768.28	47.71	23.89	0.0	11.3	0.0	21.3	4.2
45	1.71	1.1	1.71	778.89	48.37	24.22	0.0	11.3	0.0	21.7	4.3
46	1.71	1.1	1.71	788.91	48.99	24.54	0.0	11.3	0.0	22.0	4.4
47	1.71	1.1	1.71	797.4	49.52	24.8	0.0	11.3	0.0	22.3	4.4
48	1.71	1.1	1.71	805.88	50.05	25.06	0.0	11.3	0.0	22.7	4.5
49	1.71	1.1	1.71	814.36	50.57	25.33	0.0	11.3	0.0	23.0	4.5
50	1.71	1.1	1.71	822.85	51.1	25.59	0.0	11.3	0.0	23.3	4.6
51	1.71	1.1	1.71	831.33	51.63	25.85	0.0	11.3	0.0	23.6	4.7
52	1.71	1.1	1.71	839.82	52.15	26.12	0.0	11.3	0.0	23.9	4.7
53	1.71	1.1	1.71	848.3	52.68	26.38	0.0	11.3	0.0	24.2	4.8
54	1.71	1.1	1.71	860.11	53.41	26.75	0.0	11.3	0.0	24.7	4.9
55	1.71	1.1	1.71	872.65	54.19	27.14	0.0	11.3	0.0	25.1	5.0
56	1.71	1.1	1.71	885.18	54.97	27.53	0.0	11.3	0.0	25.6	5.1
57	1.71	1.1	1.71	897.71	55.75	27.92	0.0	11.3	0.0	26.0	5.1
58	1.71	1.1	1.71	910.25	56.53	28.31	0.0	11.3	0.0	26.5	5.2
59	1.71	3.2	1.71	921.8	57.24	28.67	0.0	11.3	0.0	82.9	16.4
60	1.71	3.7	1.71	930.1	57.76	28.93	0.0	11.3	0.0	96.7	19.1
61	1.71	3.7	1.71	935.5	58.09	29.09	0.0	11.3	0.0	97.3	19.3
62	1.71	3.7	1.71	940.89	58.43	29.26	0.0	11.3	0.0	97.9	19.4
63	1.71	3.7	1.71	946.29	58.76	29.43	0.0	11.3	0.0	98.5	19.5
64	1.71	3.7	1.71	951.68	59.1	29.6	0.0	11.3	0.0	99.1	19.6
65	1.71	3.7	1.71	957.08	59.43	29.77	0.0	11.3	0.0	99.8	19.7
66	1.71	3.7	1.71	962.47	59.77	29.93	0.0	11.3	0.0	100.4	19.9
67	1.71	3.7	1.71	967.87	60.1	30.1	0.0	11.3	0.0	101.0	20.0
68	1.71	3.7	1.71	973.26	60.44	30.27	0.0	11.3	0.0	101.6	20.1
69	1.71	3.7	1.71	978.66	60.77	30.44	0.0	11.3	0.0	102.2	20.2
70	1.71	3.7	1.71	984.06	61.11	30.6	0.0	11.3	0.0	102.8	20.3
71	1.71	3.7	1.71	983.01	61.05	30.57	0.0	11.3	0.0	102.7	20.3
72	1.71	3.7	1.71	979.51	60.83	30.46	0.0	11.3	0.0	102.4	20.3
73	1.71	3.7	1.71	976.0	60.61	30.35	0.0	11.3	0.0	102.0	20.2
74	1.71	3.7	1.71	972.5	60.39	30.24	0.0	11.3	0.0	101.7	20.1
75	1.71	3.7	1.71	968.99	60.17	30.14	0.0	11.3	0.0	101.3	20.0
76	1.71	3.7	1.71	965.48	59.96	30.03	0.0	11.3	0.0	101.0	20.0
77	1.71	3.7	1.71	961.98	59.74	29.92	0.0	11.3	0.0	100.6	19.9
78	1.71	3.7	1.71	958.47	59.52	29.81	0.0	11.3	0.0	100.3	19.8
79	1.71	3.7	1.71	954.97	59.3	29.7	0.0	11.3	0.0	99.9	19.8
80	1.71	3.7	1.71	951.46	59.09	29.59	0.0	11.3	0.0	99.6	19.7
81	1.71	3.7	1.71	947.95	58.87	29.48	0.0	11.3	0.0	99.2	19.6
82	1.71	3.7	1.71	944.45	58.65	29.37	0.0	11.3	0.0	98.9	19.6
83	1.71	3.7	1.71	940.94	58.43	29.26	0.0	11.3	0.0	98.5	19.5
84	1.71	4.5	1.71	937.03	58.19	29.14	0.0	11.3	0.0	121.5	24.0
85	1.71	6.2	1.72	931.91	57.87	28.98	0.0	11.3	0.0	167.5	33.1

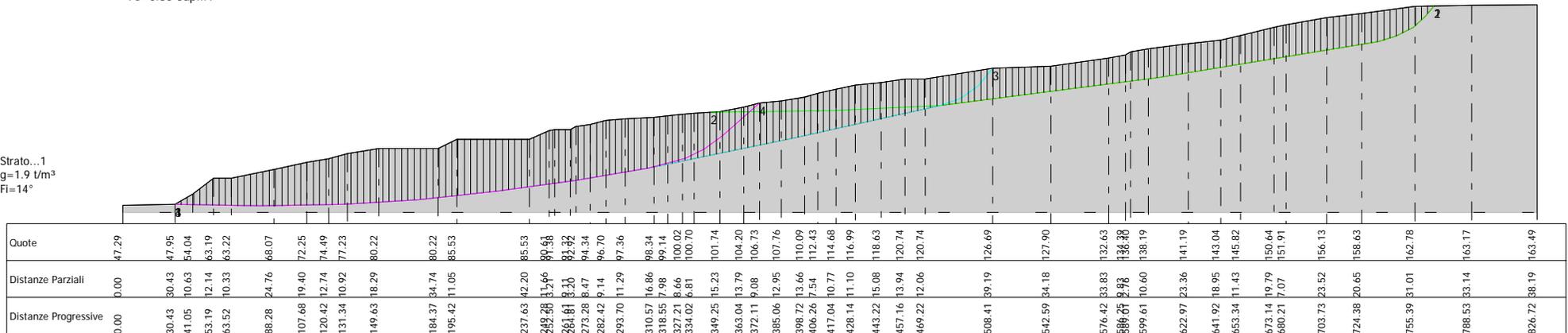
86	1.71	6.2	1.72	925.97	57.5	28.8	0.0	11.3	0.0	166.5	32.9
87	1.71	6.2	1.72	920.04	57.13	28.61	0.0	11.3	0.0	165.4	32.7
88	1.71	6.2	1.72	914.1	56.77	28.43	0.0	11.3	0.0	164.4	32.5
89	1.71	6.2	1.72	908.17	56.4	28.24	0.0	11.3	0.0	163.3	32.3
90	1.71	6.2	1.72	902.23	56.03	28.06	0.0	11.3	0.0	162.2	32.1
91	1.71	6.2	1.72	906.48	56.29	28.19	0.0	11.3	0.0	163.1	32.3
92	1.71	6.2	1.72	926.68	57.55	28.82	0.0	11.3	0.0	166.8	33.0
93	1.71	6.2	1.72	946.88	58.8	29.45	0.0	11.3	0.0	170.5	33.7
94	1.71	6.2	1.72	967.08	60.06	30.08	0.0	11.3	0.0	174.3	34.5
95	1.71	6.2	1.72	987.28	61.31	30.7	0.0	11.3	0.0	178.0	35.2
96	1.71	6.2	1.72	1007.48	62.56	31.33	0.0	11.3	0.0	181.7	36.0
97	1.71	6.2	1.72	1027.67	63.82	31.96	0.0	11.3	0.0	185.4	36.7
98	1.71	6.2	1.72	1023.73	63.57	31.84	0.0	11.3	0.0	184.8	36.6
99	1.71	6.2	1.72	1017.79	63.2	31.65	0.0	11.3	0.0	183.7	36.3
100	1.71	6.2	1.72	1011.86	62.84	31.47	0.0	11.3	0.0	182.6	36.1
101	1.71	6.2	1.72	1005.92	62.47	31.28	0.0	11.3	0.0	181.6	35.9
102	1.71	6.2	1.72	999.98	62.1	31.1	0.0	11.3	0.0	180.5	35.7
103	1.71	6.2	1.72	994.05	61.73	30.91	0.0	11.3	0.0	179.5	35.5
104	1.71	6.2	1.72	988.11	61.36	30.73	0.0	11.3	0.0	178.4	35.3
105	1.71	6.2	1.72	982.18	60.99	30.55	0.0	11.3	0.0	177.3	35.1
106	1.71	6.2	1.72	976.24	60.62	30.36	0.0	11.3	0.0	176.3	34.9
107	1.71	6.2	1.72	970.3	60.26	30.18	0.0	11.3	0.0	175.2	34.7
108	1.71	6.2	1.72	964.37	59.89	29.99	0.0	11.3	0.0	174.2	34.5
109	1.71	6.2	1.72	958.43	59.52	29.81	0.0	11.3	0.0	173.1	34.2
110	1.71	6.2	1.72	952.5	59.15	29.62	0.0	11.3	0.0	172.0	34.0
111	1.71	6.7	1.72	946.34	58.77	29.43	0.0	11.3	0.0	184.0	36.4
112	1.71	7.7	1.72	939.49	58.34	29.22	0.0	11.3	0.0	209.9	41.5
113	1.71	7.7	1.72	932.17	57.89	28.99	0.0	11.3	0.0	208.3	41.2
114	1.71	7.7	1.72	924.84	57.43	28.76	0.0	11.3	0.0	206.7	40.9
115	1.71	7.7	1.72	917.52	56.98	28.53	0.0	11.3	0.0	205.0	40.6
116	1.71	7.7	1.72	910.2	56.52	28.31	0.0	11.3	0.0	203.4	40.2
117	1.71	7.7	1.72	902.88	56.07	28.08	0.0	11.3	0.0	201.8	39.9
118	1.71	7.7	1.72	895.56	55.61	27.85	0.0	11.3	0.0	200.2	39.6
119	1.71	7.7	1.72	888.24	55.16	27.62	0.0	11.3	0.0	198.5	39.3
120	1.71	7.7	1.72	880.92	54.7	27.4	0.0	11.3	0.0	196.9	39.0
121	1.71	7.7	1.72	873.6	54.25	27.17	0.0	11.3	0.0	195.3	38.6
122	1.71	7.7	1.72	871.5	54.12	27.1	0.0	11.3	0.0	194.8	38.5
123	1.71	7.7	1.72	887.88	55.14	27.61	0.0	11.3	0.0	198.6	39.3
124	1.71	7.7	1.72	904.27	56.16	28.12	0.0	11.3	0.0	202.3	40.0
125	1.71	7.7	1.72	920.66	57.17	28.63	0.0	11.3	0.0	206.0	40.8
126	1.71	7.7	1.72	937.05	58.19	29.14	0.0	11.3	0.0	209.8	41.5
127	1.71	7.7	1.72	953.44	59.21	29.65	0.0	11.3	0.0	213.5	42.2
128	1.71	7.7	1.72	969.83	60.23	30.16	0.0	11.3	0.0	217.2	43.0
129	1.71	7.7	1.72	982.0	60.98	30.54	0.0	11.3	0.0	220.0	43.5
130	1.71	7.7	1.72	987.76	61.34	30.72	0.0	11.3	0.0	221.4	43.8
131	1.71	7.7	1.72	986.59	61.27	30.68	0.0	11.3	0.0	221.1	43.7
132	1.71	7.7	1.72	978.91	60.79	30.44	0.0	11.3	0.0	219.4	43.4
133	1.71	7.7	1.72	971.24	60.31	30.21	0.0	11.3	0.0	217.7	43.1
134	1.71	7.7	1.72	963.57	59.84	29.97	0.0	11.3	0.0	216.0	42.7
135	1.71	7.7	1.72	955.89	59.36	29.73	0.0	11.3	0.0	214.3	42.4
136	1.71	7.7	1.72	953.24	59.2	29.65	0.0	11.3	0.0	213.7	42.3
137	1.71	7.7	1.72	973.06	60.43	30.26	0.0	11.3	0.0	218.2	43.2
138	1.71	8.4	1.73	986.95	61.29	30.69	0.0	11.3	0.0	242.0	47.9
139	1.71	9.5	1.73	987.53	61.33	30.71	0.0	11.3	0.0	274.8	54.4
140	1.71	9.5	1.73	987.57	61.33	30.71	0.0	11.3	0.0	274.8	54.4
141	1.71	9.5	1.73	987.62	61.33	30.71	0.0	11.3	0.0	274.9	54.4
142	1.71	9.5	1.73	987.66	61.33	30.72	0.0	11.3	0.0	274.9	54.4
143	1.71	9.5	1.73	989.45	61.44	30.77	0.0	11.3	0.0	275.4	54.5
144	1.71	9.5	1.73	994.43	61.75	30.93	0.0	11.3	0.0	276.9	54.8
145	1.71	9.5	1.73	999.4	62.06	31.08	0.0	11.3	0.0	278.3	55.1
146	1.71	9.5	1.73	1004.38	62.37	31.24	0.0	11.3	0.0	279.7	55.3
147	1.71	9.5	1.73	1009.36	62.68	31.39	0.0	11.3	0.0	281.1	55.6
148	1.71	9.5	1.73	1014.32	62.99	31.55	0.0	11.3	0.0	282.6	55.9

149	1.71	9.5	1.73	1008.42	62.62	31.36	0.0	11.3	0.0	280.9	55.6
150	1.71	9.5	1.73	1002.51	62.26	31.18	0.0	11.3	0.0	279.3	55.3
151	1.71	9.5	1.73	996.61	61.89	30.99	0.0	11.3	0.0	277.7	54.9
152	1.71	9.5	1.73	990.71	61.52	30.81	0.0	11.3	0.0	276.1	54.6
153	1.71	9.5	1.73	984.8	61.16	30.63	0.0	11.3	0.0	274.4	54.3
154	1.71	9.5	1.73	978.9	60.79	30.44	0.0	11.3	0.0	272.8	54.0
155	1.71	9.5	1.73	973.0	60.42	30.26	0.0	11.3	0.0	271.2	53.7
156	1.71	9.5	1.73	967.1	60.06	30.08	0.0	11.3	0.0	269.6	53.3
157	1.71	9.5	1.73	961.19	59.69	29.89	0.0	11.3	0.0	267.9	53.0
158	1.71	9.5	1.73	955.29	59.32	29.71	0.0	11.3	0.0	266.3	52.7
159	1.71	9.5	1.73	949.39	58.96	29.53	0.0	11.3	0.0	264.7	52.4
160	1.71	9.5	1.73	943.49	58.59	29.34	0.0	11.3	0.0	263.1	52.0
161	1.71	9.5	1.73	937.58	58.22	29.16	0.0	11.3	0.0	261.4	51.7
162	1.71	9.5	1.73	931.68	57.86	28.98	0.0	11.3	0.0	259.8	51.4
163	1.71	13.8	1.76	923.64	57.36	28.73	0.0	11.3	0.0	379.5	75.1
164	1.71	15.0	1.77	912.84	56.69	28.39	0.0	11.3	0.0	410.3	81.2
165	1.71	15.0	1.77	902.64	56.05	28.07	0.0	11.3	0.0	405.7	80.3
166	1.71	15.0	1.77	893.53	55.49	27.79	0.0	11.3	0.0	401.6	79.5
167	1.71	15.0	1.77	884.42	54.92	27.51	0.0	11.3	0.0	397.6	78.7
168	1.71	15.0	1.77	875.31	54.36	27.22	0.0	11.3	0.0	393.5	77.9
169	1.71	15.0	1.77	866.21	53.79	26.94	0.0	11.3	0.0	389.4	77.0
170	1.71	15.0	1.77	857.1	53.23	26.66	0.0	11.3	0.0	385.3	76.2
171	1.71	15.0	1.77	847.99	52.66	26.37	0.0	11.3	0.0	381.3	75.4
172	1.71	15.0	1.77	838.89	52.09	26.09	0.0	11.3	0.0	377.2	74.6
173	1.71	15.0	1.77	829.78	51.53	25.81	0.0	11.3	0.0	373.1	73.8
174	1.71	15.0	1.77	820.67	50.96	25.52	0.0	11.3	0.0	369.0	73.0
175	1.71	17.1	1.79	810.5	50.33	25.21	0.0	11.3	0.0	417.7	82.6
176	1.71	26.4	1.91	794.1	49.31	24.7	0.0	11.3	0.0	662.8	131.1
177	1.71	26.4	1.91	772.53	47.97	24.03	0.0	11.3	0.0	644.8	127.6
178	1.71	26.4	1.91	750.97	46.63	23.36	0.0	11.3	0.0	626.8	124.0
179	1.71	26.4	1.91	728.0	45.21	22.64	0.0	11.3	0.0	607.6	120.2
180	1.71	26.4	1.91	704.67	43.76	21.92	0.0	11.3	0.0	588.2	116.4
181	1.71	26.4	1.91	681.35	42.31	21.19	0.0	11.3	0.0	568.7	112.5
182	1.71	34.5	2.07	652.83	40.54	20.3	0.0	11.3	0.0	754.1	149.2
183	1.71	35.6	2.1	618.35	38.4	19.23	0.0	11.3	0.0	744.2	147.2
184	1.71	35.6	2.1	583.09	36.21	18.13	0.0	11.3	0.0	701.7	138.8
185	1.71	35.6	2.1	547.82	34.02	17.04	0.0	11.3	0.0	659.3	130.4
186	1.71	35.6	2.1	512.56	31.83	15.94	0.0	11.3	0.0	616.9	122.0
187	1.71	35.6	2.1	477.29	29.64	14.84	0.0	11.3	0.0	574.4	113.6
188	1.71	38.9	2.2	444.82	27.62	13.83	0.0	11.3	0.0	603.5	119.4
189	1.71	41.3	2.27	408.66	25.38	12.71	0.0	11.3	0.0	602.3	119.2
190	1.71	41.3	2.27	370.61	23.01	11.53	0.0	11.3	0.0	546.2	108.1
191	1.71	41.3	2.27	332.55	20.65	10.34	0.0	11.3	0.0	490.1	97.0
192	1.71	41.3	2.27	294.5	18.29	9.16	0.0	11.3	0.0	434.1	85.9
193	1.71	41.3	2.27	256.44	15.93	7.98	0.0	11.3	0.0	378.0	74.8
194	1.71	41.3	2.27	218.39	13.56	6.79	0.0	11.3	0.0	321.9	63.7
195	1.71	41.3	2.27	180.33	11.2	5.61	0.0	11.3	0.0	265.8	52.6
196	1.71	41.3	2.27	146.71	9.11	4.56	0.0	11.3	0.0	216.2	42.8
197	1.71	41.3	2.27	114.11	7.09	3.55	0.0	11.3	0.0	168.2	33.3
198	1.71	41.3	2.27	81.51	5.06	2.53	0.0	11.3	0.0	120.1	23.8
199	1.71	41.3	2.27	48.9	3.04	1.52	0.0	11.3	0.0	72.1	14.3
200	1.71	41.3	2.27	16.3	1.01	0.51	0.0	11.3	0.0	24.0	4.8

SILLA  
 VERIFICA ANALITICA DI STABILITA'  
 IN CONDIZIONI SISMICHE  
 (Approccio 1-Combinazione 2)

Fs=0.92 Sup...4  
 Fs=0.87 Sup...3  
 Fs=0.88 Sup...2  
 Fs=0.86 Sup...1

Strato...1  
 g=1.9 t/m<sup>3</sup>  
 Fi=14°





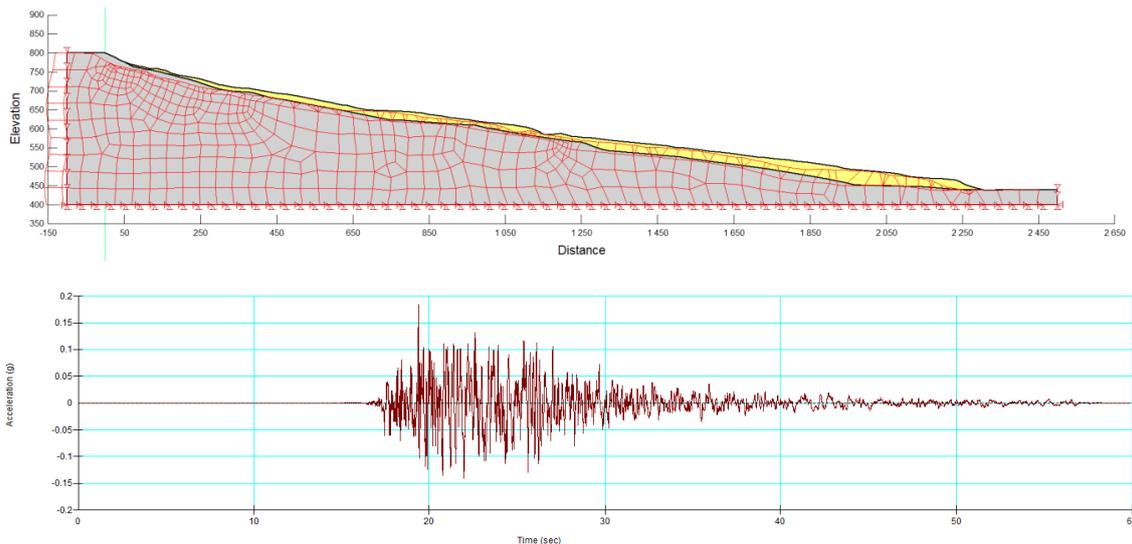
COMUNE DI GAGGIO MONTANO)



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI BOLOGNA

CONVENZIONE TRA COMUNE DI GAGGIO MONTANO  
E UNIVERSITA' DI BOLOGNA

**STUDIO A SUPPORTO DELLA MICROZONAZIONE SISMICA DI TERZO LIVELLO  
DEL CAPOLUOGO DI GAGGIO MONTANO E AREE LIMITROFE**



**REPORT INTERNO**

**Marzo 2022**

Gruppo di lavoro:

**Matteo Berti** (*Professore Ordinario in Geologia Applicata*)

**Gianluigi Di Paola** (*Assegnista di Ricerca in Geologia Applicata*)

**Rodolfo Rani** (*Studente Magistrale in Geologia e Territorio*)

**Giovanni Lattanzi** (*Assegnista di Ricerca in Geofisica della Terra Solida*)

**Silvia Castellaro** (*Professoressa Associata in Geofisica della Terra Solida*)

## SOMMARIO

1	INTRODUZIONE.....	4
2	DEFINIZIONE DEL PROBLEMA E APPROCCIO METODOLOGICO.....	5
2.1	Definizione del problema .....	5
2.2	Approccio metodologico .....	6
2.3	Documentazione e dati .....	8
3	TASK A) MODELLO GEOLOGICO-TECNICO DEL VERSANTE .....	10
3.1	Geomorfologia e stato di attività della frana .....	10
3.2	Stratigrafia .....	13
3.3	Idrogeologia.....	16
3.4	Parametri di resistenza al taglio .....	19
3.4.1	Parametri di resistenza in condizioni drenate.....	20
3.4.2	Parametri di resistenza in condizioni non drenate.....	22
3.5	Stratigrafia sismica .....	27
3.6	Modello geologico-tecnico.....	30
4	TASK B) RISPOSTA SISMICA LOCALE .....	34
4.1	Introduzione .....	34
4.2	Analisi numerica bidimensionale (2D).....	35
4.2.1	Modello geofisico del terreno.....	35
4.2.2	Accelerogrammi di input.....	38
4.2.3	Aspetti teorici generali.....	41
4.2.4	Discretizzazione della sezione di analisi .....	44
4.2.5	Risultati.....	45
4.3	Confronto con il modello di risposta sismica 1D .....	50
5	TASK C) ANALISI DI STABILITÀ.....	53
5.1	Metodologia .....	53
5.1.1	Metodo di calcolo .....	53
5.1.2	Sezione di analisi.....	55
5.1.3	Condizioni di drenaggio .....	56
5.1.4	Parametri di resistenza al taglio .....	56
5.1.5	Input sismico.....	58
5.1.6	Casi analizzati.....	59
5.2	Risultati.....	60
5.2.1	Analisi Slope: risposta Sismica Locale 1D (casi 1 e 2) e 2D (casi 3 e 4).....	60
5.2.2	Analisi con GeoStudio (casi 5 e 6).....	64

5.2.3	Microzonazione sismica 2014 (casi 7 e 8) .....	68
6	TASK D) MONITORAGGIO DI SPOSTAMENTI SISMO-INDOTTI .....	70
6.1	Premessa .....	70
6.2	Monitoraggio in continuo GPS-Raspberry Shake .....	71
6.2.1	Metodologia .....	71
6.2.2	Risultati .....	74
6.3	Analisi dei dati di interferometria satellitare .....	83
6.3.1	Metodologia .....	83
6.3.2	Risultati .....	87
6.4	Calibrazione delle analisi di stabilità tramite dati di monitoraggio .....	96
7	TASK E) RACCOMANDAZIONI PER LA ZONAZIONE SISMICA DI 3° LIVELLO .....	100

## 1 INTRODUZIONE

Il presente report illustra i risultati della Convenzione di Ricerca tra il Comune di Gaggio Montano e l'Università di Bologna (Dipartimento di Scienze Biologiche, Geologiche e Ambientali) avente come oggetto la “*Microzonazione sismica di terzo livello del Capoluogo e aree limitrofe*”.

La Convenzione è stata approvata in data 03/03/2021. Il lavoro è iniziato subito dopo l'approvazione e si è concluso a gennaio 2022.

In accordo col programma di ricerca previsto, sono state svolte le seguenti attività:

- 1) raccolta della documentazione esistente relativa a indagini, relazioni geologiche e studi pregressi sul capoluogo di Gaggio Montano
- 2) integrazione dei dati esistenti con nuove misure di falda e prove sismiche
- 3) realizzazione del modello geologico-tecnico dell'area
- 4) definizione dell'input sismico al bedrock e della risposta sismica locale
- 5) analisi di stabilità del versante di Gaggio Montano in condizioni statiche e dinamiche
- 6) integrazione delle analisi di stabilità con dati di monitoraggio degli spostamenti sismo-indotti
- 7) indicazioni per l'aggiornamento della microzonazione sismica di Gaggio Montano.

Il lavoro è stato svolto in stretta collaborazione tra l'Università di Bologna, il Comune di Gaggio Montano e l'Unione dei Comuni dell'Appennino Bolognese ed ha previsto il contributo fondamentale di studenti magistrali e assegnisti di Ricerca.

## 2 DEFINIZIONE DEL PROBLEMA E APPROCCIO METODOLOGICO

### 2.1 Definizione del problema

Gaggio Montano è un tipico esempio di centro abitato posto su un corpo di frana. È una situazione comune nell'Appennino Emiliano-Romagnolo, e più in generale in tutto il territorio nazionale, dove sono numerosi i centri abitati che si sviluppano su corpi di frana di diversa natura, estensione e grado di attività.

Il livello di rischio associato a queste situazioni è molto variegato e dipende in prima misura dal grado di attività della frana. Se la frana è soggetta a riattivazioni relativamente frequenti (parziali o totali) la convivenza risulta difficile o impossibile visti gli ingenti danni che spostamenti anche ridotti possono causare a strutture e infrastrutture. Se invece la frana si muove in modo costante, con velocità estremamente ridotte e senza parossismi frequenti, la convivenza può essere possibile.

Gaggio Montano ricade in questa seconda categoria. Il corpo di frana su cui sorge l'abitato fa parte, infatti, di una grande colata in terra che per il suo ridotto grado di attività è visibile solo da foto aeree o satellitari. Il versante non mostra aree in evoluzione rapida ed è caratterizzato da movimenti profondi ed estremamente lenti (vedi capitoli seguenti) che risultano tutto sommato compatibili con le strutture.

Nel corso degli anni sono stati effettuati numerosi studi, indagini e analisi sulla zona dell'abitato che hanno portato a individuare con chiarezza la geometria della frana, la cinematica di movimento e le caratteristiche fisico-meccaniche dei materiali. Questi studi hanno permesso tra l'altro la perimetrazione del versante secondo le norme PAI dell'Autorità di Bacino del Reno. Possiamo quindi dire che il quadro conoscitivo di Gaggio Montano è molto buono: il versante è ben conosciuto dal punto di vista geologico-tecnico, il comportamento del corpo di frana è chiaro e gli enti territoriali hanno zonato il territorio in modo da convivere in sicurezza con i movimenti della frana.

I problemi emergono quando bisogna valutare la stabilità del versante in condizioni sismiche.

Il recente aggiornamento regionale "Atto di coordinamento tecnico sugli studi di microzonazione sismica per la pianificazione territoriale ed urbanistica" (DGR 476/2021)" prevede che, in caso di frane attive, le analisi di terzo livello di approfondimento devono prestare *"particolare attenzione alla perimetrazione dell'area in frana, alla identificazione dei volumi potenzialmente instabili in condizioni sismiche, al controllo dell'entità e della velocità dei movimenti, alla distribuzione delle pressioni interstiziali, alla valutazione dei parametri di resistenza residui ed agli effetti conseguenti ad una accelerazione dei movimenti in condizioni sismiche"*. Analisi simili sono previste nelle NTC 2018 e nell'Eurocodice 8.

Queste previsioni sono però molto difficili da fare. Un corpo di frana, ed in particolare una frana di grandi dimensioni come quella di Gaggio Montano, è caratterizzata da una straordinaria complessità in termini di stratigrafia del sottosuolo, comportamento meccanico dei mezzi geologici ed assetto idrogeologico del versante. Tale complessità si manifesta già in condizioni statiche e diventa ancora maggiore in presenza di sollecitazioni sismiche. Basti pensare a fenomeni quale la degradazione

ciclica della resistenza al taglio e la generazione di sovrappressioni interstiziali durante un terremoto. Di conseguenza le analisi richieste per la microzonazione sismica sono spesso gravate da pesanti incertezze.

## 2.2 Approccio metodologico

Il principale obiettivo della Convenzione di Ricerca è quello di sviluppare un approccio metodologico funzionale alla microzonazione sismica di terzo livello di aree in frana. Tale metodologia dovrebbe avere alcune caratteristiche salienti:

- essere coerente con la normativa vigente
- utilizzare un approccio rigoroso e quantitativo
- considerare in modo esplicito le incertezze esistenti
- essere facilmente replicabile dai professionisti

L'ultimo punto è particolarmente importante. Nel mondo della ricerca sono disponibili metodi avanzati di analisi e modellazione numerica teoricamente in grado di riprodurre in dettaglio il comportamento dinamico di una frana, e quindi di fornire una microzonazione accurata del versante. L'applicazione di tali metodi non rientra però nello spirito della Convenzione. Il lavoro è stato volutamente svolto utilizzando metodi in uso nella pratica professionale, in modo che la metodologia possa essere facilmente replicata senza ricorrere a strumenti avanzati.

L'approccio proposto è illustrato in Fig. 2.2. Le celle indicano i task principali e le relazioni esistenti tra loro. Le attività svolte all'interno di ogni task sono sinteticamente descritte di seguito.

## Metodologia

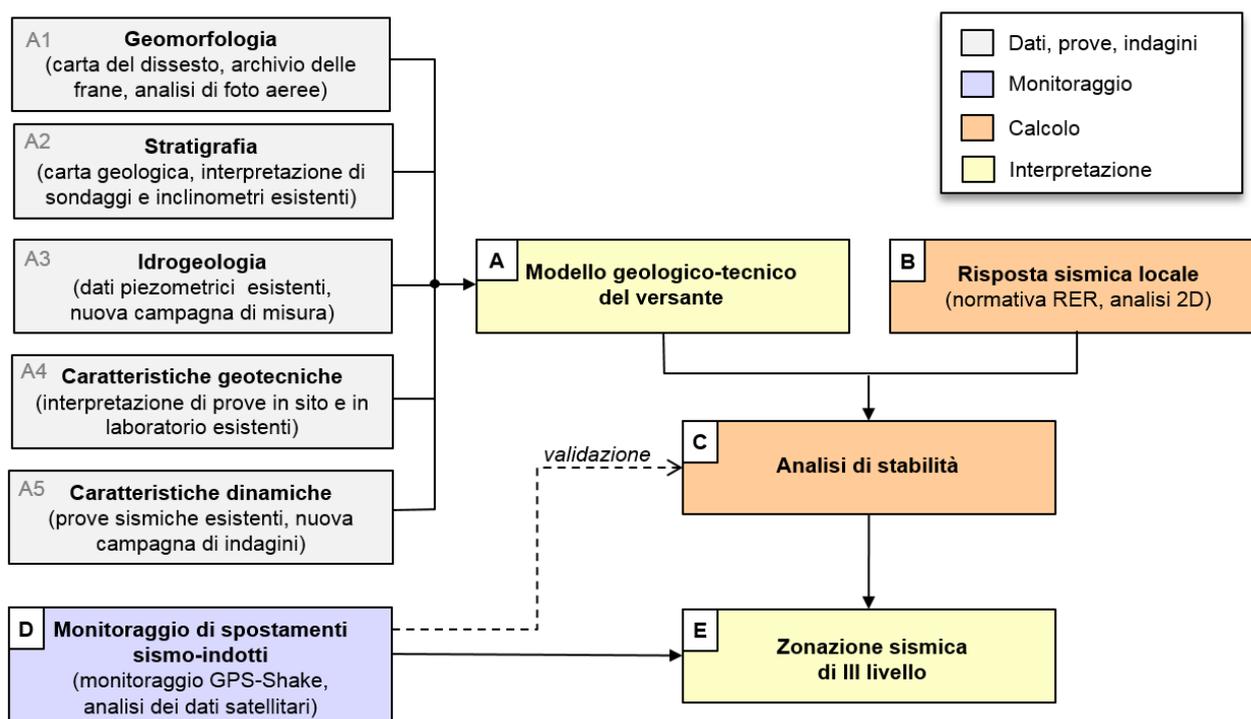


Fig. 2.2. Approccio metodologico adottato per valutare la stabilità in condizioni sismiche del versante di Gaggio Montano

### Task A) Modello geologico-tecnico del versante

Rientrano in questo task le consuete attività di caratterizzazione geologica, geomorfologica, idrogeologica e geotecnica. Nel caso di Gaggio Montano è stata raccolta una notevole mole di dati frutto di studi e indagini preesistenti, che è stata integrata da dati originali (vedi sezione successiva). Il prodotto finale è una serie di sezioni geologico-tecniche del versante che illustrano la geometria del corpo di frana, la posizione della falda e le caratteristiche dei materiali.

### Task B) Risposta sismica locale

L'input sismico al bedrock è stato determinato tramite il software REXEL v.3.5 sulla base di 7 accelerogrammi dell'European Strong-motion database spettrocompatibili con lo spettro di risposta semplificato per Gaggio Montano. A titolo di confronto sono stati utilizzati anche i 7 accelerogrammi disponibili nel sito RER EUCENTRE e i 3 tre accelerogrammi RER previsti dalla Deliberazione di Assemblea Legislativa n. 112/2007. La risposta sismica del versante è stata quindi determinata con analisi 1D e 2D. L'analisi 1D è stata condotta col software STRATA mentre quella 2D col software LSR2d (Stacec). In entrambi i casi sono stati considerati tutti gli input sismici al bedrock identificati nel task B e confrontati i risultati in termini di risposta spettrale.

### Task C) Analisi di stabilità

Le analisi di stabilità sono state eseguite col metodo dell'equilibrio limite globale, utilizzando il metodo di Newmark per il calcolo degli spostamenti sismo-indotti. Nei calcoli è stata considerata un'ampia variabilità dei parametri di resistenza al taglio e dell'input sismico, al fine di valutare l'effetto dei parametri di input sul risultato e stimare l'incertezza della previsione. In particolare, sono stati utilizzati sia i tre accelerogrammi derivati dagli Atti di Indirizzo 112/2007 che i 7 accelerogrammi risultanti dalle modellazioni 1D e 2D di risposta sismica locale, e confrontati tra loro due software diffusi nel mondo professionale (Slope e GeoStudio).

### Task D) Monitoraggio di spostamenti simo-indotti

La relazione sisma-frana è stata indagata anche utilizzando un approccio alternativo, basato sui dati di monitoraggio. I dati sono stati ottenuti da un sistema di monitoraggio appositamente installato per la Convenzione e costituito da un GPS differenziale (per misurare gli spostamenti) e un sismografo Raspberry Shake (per misurare i sismi). Sono stati inoltre analizzati i dati di monitoraggio ottenuti da interferometria satellitare disponibili nel GeoPortale del Ministero dell'ambiente, integrati con un'elaborazione dei dati Sentinel eseguita dallo spin-off Fragile s.r.l. dell'Università di Bologna.

### Task E) Zonazione sismica di terzo livello

I risultati complessivamente ottenuti sono stati infine discussi nell'ottica della microzonazione sismica di terzo livello. Come previsto dagli indirizzi regionali per la microzonazione sismica approvati con DGR 476/2001, e integrati con DGR 564/2021, sono stati identificati i volumi potenzialmente instabili in condizioni sismiche e valutata l'entità dei movimenti attesi in caso di terremoto di progetto. La stima dei movimenti ha tenuto conto sia dei risultati delle analisi di stabilità (task C) che dall'analisi dei dati di monitoraggio (task D) e considerato in modo esplicito l'affidabilità dei risultati.

Nel complesso, l'approccio proposto segue la metodologia comunemente adottata per studi di questo tipo. Particolare enfasi è stata data però alla quantificazione dell'incertezza nel modello geologico-tecnico (task A), alla definizione dell'input sismico secondo vari approcci (task B) e agli effetti di questi fattori sul risultato finale (task C). Inoltre, è stata sviluppata ed applicata un'analisi non convenzionale di dati di monitoraggio (task D) utile per verificare i risultati ottenuti con l'analisi numerica.

## **2.3 Documentazione e dati**

Per svolgere il lavoro sono stati integrati dati esistenti e dati originali.

I dati esistenti derivano da una serie di studi, lavori professionali e indagini svolte a vario titolo nella zona di Gaggio Montano. Una parte del materiale è stato recuperato presso l'Unione dei Comuni dell'Appennino Bolognese, grazie all'aiuto del Dott. Geol. Aldo Fantini, mentre un'altra è stata acquisita attraverso gli studi di microzonazione sismica. I documenti raccolti consistono essenzialmente in una serie di relazioni geologiche realizzate nell'area indagata tra il 2005 e il 2021

e di indagini di vario tipo realizzate tra il 1988 e il 2021. Tutte queste indagini sono state debitamente catalogate e consistono in:

- 44 sondaggi geognostici, di cui 24 ricadenti nel perimetro della frana;
- 21 inclinometri, di cui 9 ricadenti nel perimetro della frana;
- 18 CPT, di cui 4 ricadenti nel perimetro della frana;
- 7 DPSH, ma nessuna ricadente nel perimetro della frana;
- 31 misurazioni H/V, di cui 14 ricadenti nel perimetro della frana;
- 1 REMI esterna alla frana;
- 2 Sismiche a Rifrazione nel perimetro di frana;
- Misurazioni di 14 piezometri effettuate tra l'autunno del 1988 e l'autunno del 2001.

A questi documenti sono state aggiunte due tesi di laurea:

- Filippo Villi (2016) Analisi dei fenomeni franosi lenti nell'abitato di Gaggio Montano mediante interferometria radar. Università di Bologna;
- Saloni R. (2004) La frana di Gaggio Montano. Università di Modena e Reggio Emilia.

Tutta la documentazione esistente è stata analizzata criticamente, ed i dati di interesse sono stati digitalizzati in ambiente GIS per le successive analisi.

I dati originali raccolti per la Convenzione consistono in:

- misure freatimetriche manuali eseguite nei 9 piezometri ancora funzionanti;
- misure freatimetriche automatiche raccolte in 5 piezometri automatizzati;
- 30 indagini H/V;
- 5 indagini MASW;
- misure di spostamento in superficie ottenute con un GPS differenziale Leica GPS1200;
- misure di onde sismiche ottenute con un sismografo Raspberry Shake.

L'insieme dei dati raccolti ha permesso di ottenere un modello geologico-tecnico del versante sufficientemente accurato per le analisi di stabilità in condizioni dinamiche funzionali alla zonazione sismica di III livello.

### 3 TASK A) MODELLO GEOLOGICO-TECNICO DEL VERSANTE

#### 3.1 Geomorfologia e stato di attività della frana

La frana di Gaggio Montano è un fenomeno franoso noto e ampiamente studiato. In questa sezione ne riassumiamo quindi i soli aspetti salienti e funzionali alla microzonazione sismica.

Dal punto di vista geomorfologico, la frana di Gaggio Montano può essere classificata come “colata di terra” (classificazione di Cruden e Varnes, 1996) o come “frana complessa di scorrimento-colata”. Il deposito copre un’area di circa 60 ettari, ha una lunghezza massima di oltre 2 km, e nella parte medio-bassa è coalescente con altri corpi di frana (Fig. 3.1).

La zona sorgente è rappresentata da versanti boscati e relativamente acclivi, senza evidenze di scarpate di distacco recenti o frane in evoluzione rapida. Il corpo di frana è limitato lateralmente da due rii (Rio delle Saldine a sud, Rio delle Botti a nord) ben visibili soprattutto nella parte inferiore del versante. Il piede è chiaramente rigonfiato e termina a quota 425 m in corrispondenza dell’unione dei due rii. Il centro abitato si sviluppa quasi interamente sul corpo di frana ed oltre ad abitazioni private, infrastrutture, ed edifici pubblici comprende attività industriali di pregio come lo stabilimento Caffitaly.

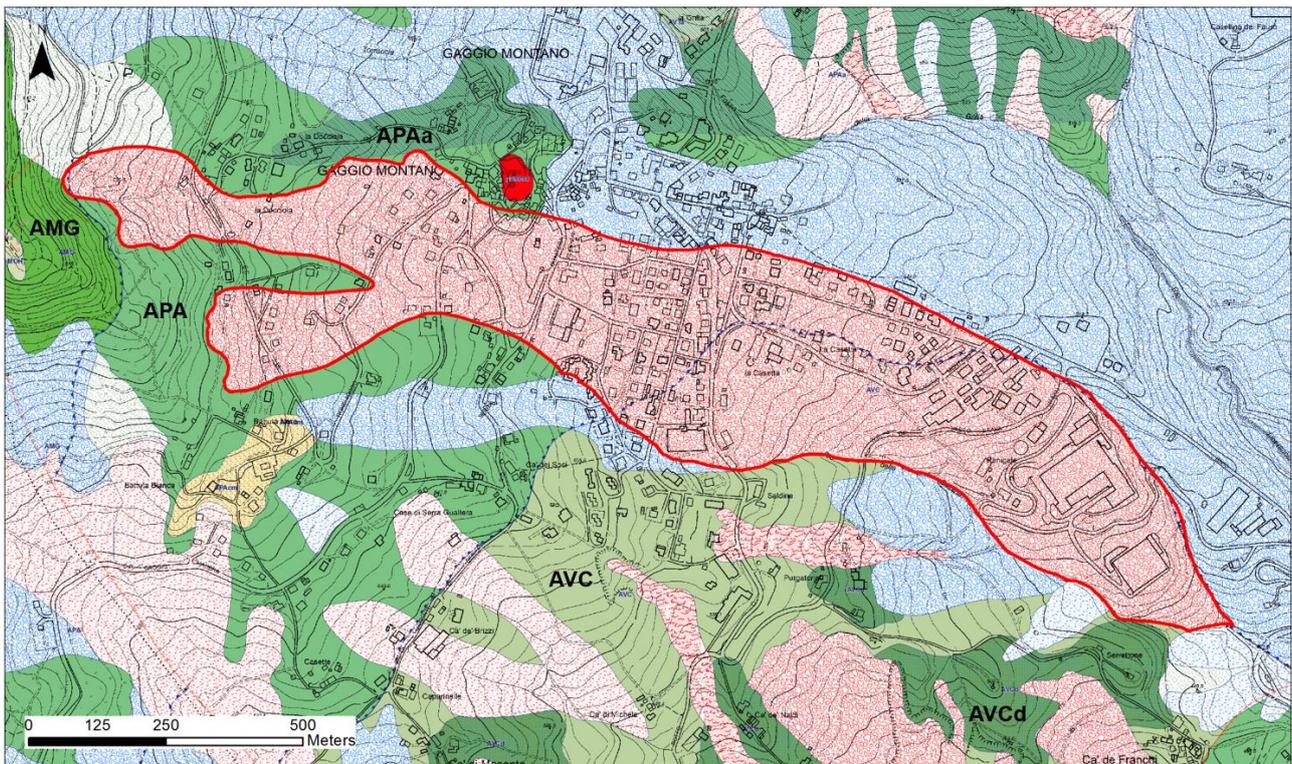


Fig. 3.1. Carta geologica di Gaggio Montano (cartografia RER). APA=Argille a Palombini; APAa=Argille a Palombini litozona argillitica; AMG=Arenarie di Monte Gabba; AVC= Argilliti variegata con calcari; AVCd= Argilliti variegata con calcari - litofacies calcareo marnosa.

Nella carta geologica regionale (Fig. 3.1), la frana è indicata come Deposito di frana attiva complessa (a1g). La cartografia RER utilizza il termine “attiva” nell’accezione di “*Deposito che ha manifestato evidenze di movimenti in atto nell’ultimo ciclo stagionale, indipendentemente dalla entità e dalla velocità degli stessi*”. Il termine va quindi inteso come una valutazione dello stato di attività recente (o meglio del grado di visibilità geomorfologica) e non indica direttamente un’elevata velocità di movimento della frana.

La frana di Gaggio Montano, infatti, è caratterizzata da movimenti estremamente lenti e misurabili sono con strumenti di precisione (vedi dopo). Allo stato attuale non ci sono segni di evoluzione rapida quali zone in evidente dissesto, fratture perimetrali fresche o deformazioni diffuse del terreno. La classificazione RER in frana “attiva” ha quindi il significato generico di “frana in movimento”. L’effettiva esistenza di movimenti lenti e continui nel tempo è d’altra parte dimostrata dalle lesioni presenti su diversi edifici del centro abitato, specie in quelli meno recenti.

Nell’archivio storico dei movimenti franosi sono riportati due eventi in epoca recente. Il più significativo è quello del 1925. La descrizione contenuta nell’archivio parla di un “*Largo movimento di terra di antica data. Gaggio Montano. Zona di distacco sul versante sotto Case Montilocco. Area compresa tra le loc. strada di Gabba, bivio Zucchi, mulattiera per le scuole a Cà Saltino, Le Coste, Casa Docciola, Cà Peri, la Casetta sotto la strada di Porretta*”. Secondo le note d’archivio però, potrebbe non trattarsi di una vera riattivazione ma della segnalazione di un fenomeno franoso attivo da anni che interessa strade e edifici. Il secondo evento è datato inverno 1988-1989 e riporta il “*rilevamento attraverso gli inclinometri di deformazioni (massimo 5 mm) nel versante in frana su cui sorge l’abitato*”. In entrambi i casi non ci sono quindi indicazioni certe di riattivazioni parossistiche del corpo di frana nell’ultimo secolo. Questo testimonia uno stato di evoluzione lenta e costante senza parossismi frequenti.

I dati inclinometrici confermano questo quadro. La tabella sottostante e la Fig. 3.2 riassumono le misure disponibili. Gli inclinometri evidenziati sono quelli posti all’interno del corpo di frana.

Nome	Est (m)	Nord (m)	Quota	z (m)	zf (m)	Inizio	Fine	Spostamento	Velocità
1A	654304	4895565	647	30.5	24	08/12/1988	22/08/1992	25	6.7
2A	654504	4895586	620.5	26.5	23	08/12/1988	21/10/1989	8	9.2
4A	654133	4895503	668.3	13.5	4	08/12/1988	13/08/1989	2	3.0
6A	654612	4895705	602.2	31	22	08/12/1988	22/08/1992	25	6.7
7A	654670	4895446	600	21	8	08/12/1988	21/10/1989	9	10.4
9A	654784	4895409	577.5	16	13	08/12/1988	21/10/1989	7	8.0
10A	654501	4895429	612.6	19	15	08/12/1988	22/08/1992	1	0.2
13A	654601	4895817	601.5	26	21	08/12/1988	21/10/1989	2	2.3
15A	654387	4895309	629.6	14.5	5	08/12/1988	22/08/1992	45	12.1
1S	654485	4895491	622	30	14	01/10/1992	26/11/1993	6	5.2
2S	654625	4895346	595	30	7	01/10/1992	26/11/1993	6	5.2
3S	654802	4895333	572	30	16	17/07/1992	26/11/1993	7	5.2
4S	654168	4895646	665	24	2	01/10/1992	27/11/1993	8	7.0
5S	654116	4895458	673	20	2	01/10/1992	26/11/1993	2	1.7
6S	654235	4895253	660	15	5	01/10/1992	28/11/2002	42	4.2

7S	654193	4895866	675	24	4	01/10/1992	26/11/1993	7	6.1
9S	654257	4896197	680	30	9	01/10/1992	05/09/2002	144	14.5
1C	654877	4895501	568	32	27	19/12/1991	04/05/1992	5	13.3
2C	655069	4895456	548	40	33	19/12/1991	26/11/2002	35	3.2
3C	655239	4895427	530	50	27	19/12/1991	04/05/1992	6	16.1
4C	654714	4895932	598	40	29	29/01/1992	11/12/1992	2	2.3
5C	654526	4896061	632	20	13	29/01/1992	11/12/1992	7	8.0
6C	654428	4896034	642	15	9	07/02/1992	18/07/2001	43	4.6
7C	654408	4896107	644	13	6	07/02/1992	21/08/2003	21	1.8
5G	654695	4895547	595	31	28	29/10/1997	17/03/2005	100	13.6
7G	654700	4895732	590	35	15	05/11/1997	17/03/2005	64	8.8
S100	654494	4896099	658	15	7	05/09/2002	21/08/2003	9	9.4
S101	654329	4895952	633	16	11	05/09/2002	21/08/2003	13	13.6
S21	654482	4895535	625	30	14	26/05/2004	15/03/2005	18	22.4
S22	654325	4895568	647	30	19	26/05/2004	15/03/2005	5	6.2
S23	654565	4895312	602	25	4	26/05/2004	15/03/2005	12	15.0
S24	654852	4895659	578	25	22	26/05/2004	15/03/2005	5	6.2

$z$ =profondità dell'inclinometro;  $z_f$ =profondità della superficie di scorrimento; inizio-fine= periodo di misura

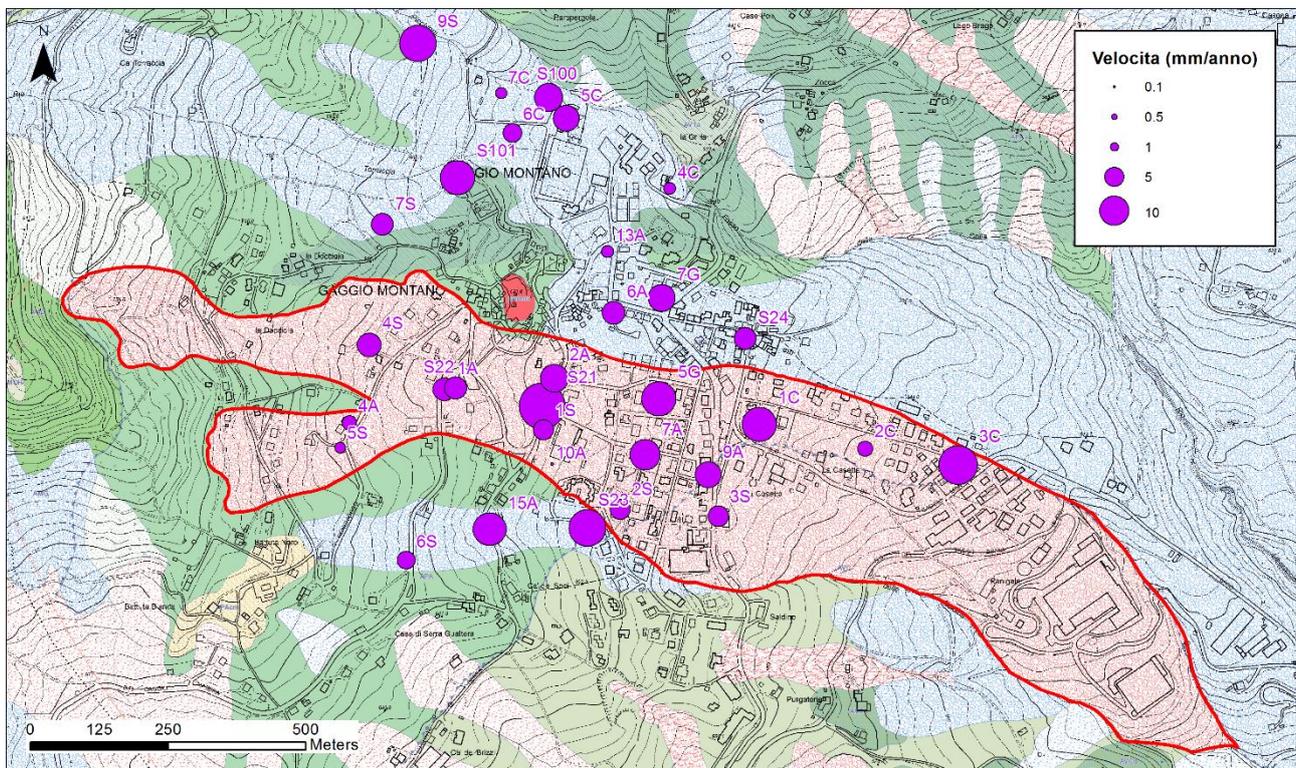


Fig. 3.2. Dati inclinometrici disponibili nel versante di Gaggio Montano. Il diametro dei simboli è proporzionale alla velocità di movimento media nell'intervallo di misura riportato in tabella.

Le misure appartengono campagne diverse svolte in differenti periodi, ed alcune misure potrebbero risentire delle opere di drenaggio realizzate sul versante nel corso del tempo. Pur con questa disomogeneità, il quadro che emerge è piuttosto chiaro. La frana di Gaggio Montano si muove con velocità mediamente comprese tra 5 e 10 mm/anno, e valori analoghi si osservano sugli altri corpi di frana che circondano l'ambito. Si tratta di velocità in linea con quelle misurate in numerose altre frane attive e quiescenti della valle del Reno, che mostrano movimenti lenti ed estremamente lenti tipicamente compresi tra 5 e 50 mm/anno.

### 3.2 Stratigrafia

Nel versante di Gaggio Montano sono stati reperiti una significativa quantità di sondaggi geognostici, spesso attrezzati con inclinometro. Questi sondaggi sono stati recuperati sia attraverso gli Studi per la Microzonazione Sismica del comune che con la consultazione di diverse relazioni geologiche depositate tra il 2005 e il 2021 presso gli uffici dell'Unione dei Comuni dell'Appennino Bolognese.

Nel complesso sono stati catalogati 44 sondaggi, 21 dei quali muniti di inclinometro, spinti ad una profondità che va da un minimo di 3.8 m (S6) a un massimo di 30.5 m (P112). Di questi sondaggi, 24 (9 attrezzati di inclinometro), ricadono all'interno del corpo di frana ed hanno profondità comprese tra i 12 m e i 30 m (Fig. 3.3 e Tab. 3.1).

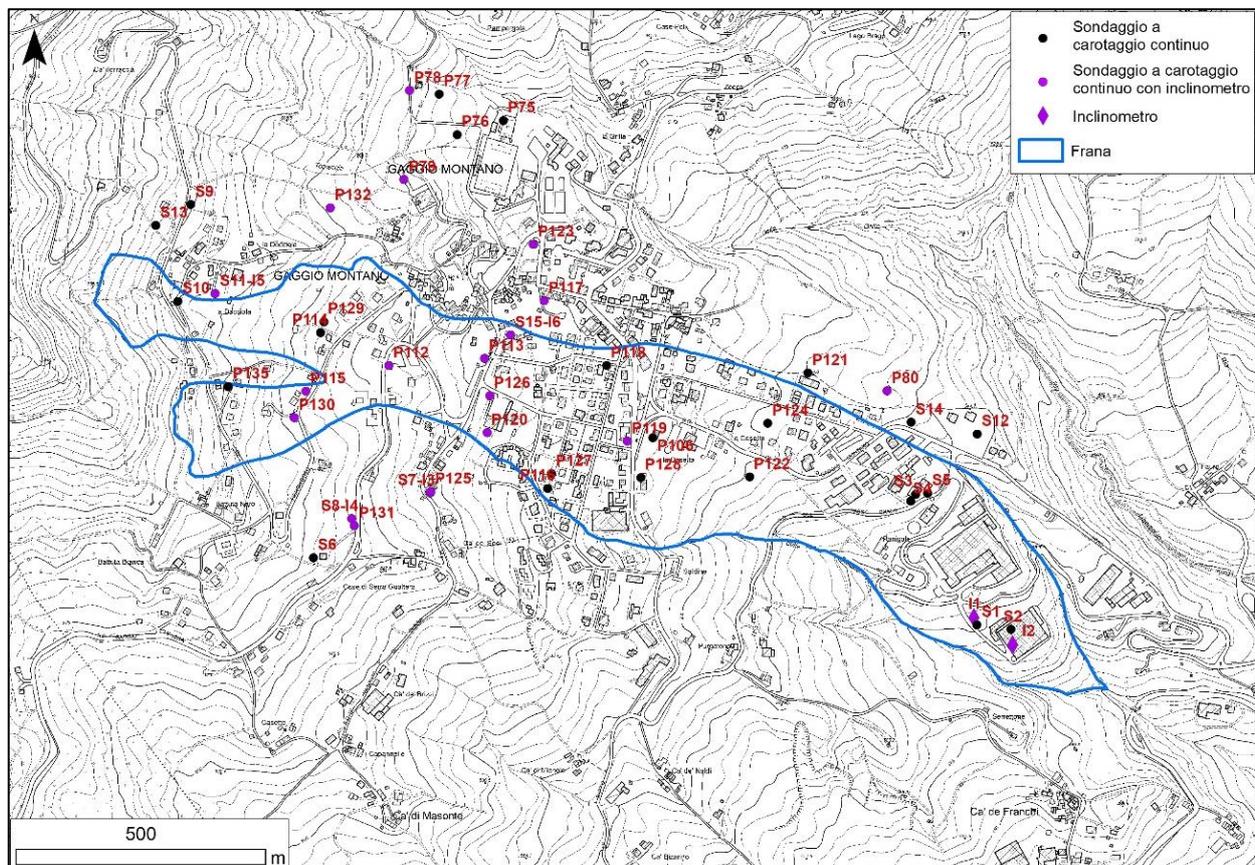


Fig. 3.3. Ubicazione dei sondaggi e degli inclinometri reperiti per il territorio di Gaggio Montano.

Sondaggio	Profondità (m)	Posizione (Coordinate WGS 84 Fuso 32)		Quota (m s.l.m.)
		E	N	
S1	25,5	655484,8	4895041,5	476
S2	25	655552,7	4895031,5	471
S3	20	655361,7	4895304,1	514
S4	12	655361,8	4895290,3	513
S5	12	655352,2	4895290,3	512,5
S10	12,5	653884,4	4895693,2	711
S15	30	654550,1	4895625,7	621
P106	35	654835,9	4895418,1	573
P112	30,5	654307,0	4895564,1	647
P113	26,5	654498,6	4895577,9	621,5
P114	15	654170,1	4895630,2	665
P115	13,5	654140,7	4895512,2	670,5
P116	15	654625,3	4895316,3	594
P118	30	654742,8	4895563,6	584
P119	16	654784,2	4895411,2	580
P120	21	654503,5	4895428,5	617
P122	28,5	655029,4	4895338,9	548
P124	31	655065,7	4895447,2	547
P126	30	654508,8	4895502,9	620
P127	30	654631,9	4895345,7	595
P128	30	654810,7	4895338,1	572,5
P129	24	654176,1	4895652,4	664,5
P130	20	654117,3	4895458,4	670
P135	15	653984,7	4895521,3	699
S6	3,8	654155,5	4895175,8	671
S7-I3	15	654389,5	4895306,7	626
S8-I4	15	654231,9	4895254,7	659,5
S9	10	653909,3	4895888,7	727
S11-I5	12	653958,8	4895709,2	703
S12	15	655484,9	4895426,1	512
S13	10	653840,0	4895846,6	736
S14	15	655352,8	4895449,4	523
P75	20	654536,0	4896058,0	630
P76	15	654443,8	4896029,5	640
P77	13	654407,4	4896111,9	645
P78	30	654348,2	4896119,0	652
P79	15	654337,2	4895939,1	652,5
P80	42	655304,8	4895512,6	531
P117	30	654618,1	4895694,3	602
P121	25	655145,8	4895548,8	544,5
P123	26,5	654596,7	4895808,2	607
P125	15	654390,7	4895310,1	628
P131	15	654237,7	4895240,5	654
P132	24	654189,5	4895882,2	673,5

*Tab. 3.1. Elenco dei sondaggi geognostici disponibili, con i valori di profondità raggiunti. Sono evidenziati in azzurro i sondaggi ricadenti nell'area di frana. I sondaggi che iniziano con S sono stati reperiti presso gli uffici dell'Unione dei Comuni dell'Appennino Bolognese mentre quelli che iniziano con P provengono dalla catalogazione effettuata per la Microzonazione sismica di Gaggio Montano.*

L'analisi critica di tutti i sondaggi disponibili ha portata all'individuazione di quattro unità stratigrafiche, descritte di seguito in ordine di profondità crescente:

- D) Strato superficiale di spessore da centimetrico a 1 m (raramente 2 m): terreni misti di origine antropica (terreno di riporto) e/o naturale (suolo), caratterizzati da elevata presenza sia di sostanza organica e resti vegetali che di calcinacci e laterizi;
- C) Strato non sempre presente, o spesso al massimo 8 m: argilla-limosa di colore bruno-nocciola con struttura caotica, presenza di segni di alterazione (patine di ossidazione e calcificazione) e di resti organici;
- B) Strato di spessore variabile tra i 5 m e 20 m: argilla grigia, generalmente più compatta e plastica dello strato superiore con struttura caotica o relitti di struttura scagliosa. All'interno sono spesso presenti inclusi calcareo-marnosi o arenacei;
- A) Substrato, con spessori certamente superiori a 30 m: argillite di colore grigio-scuro, caratterizzata da maggiore compattezza e con evidente scagliosità. I valori misurati con il pocket penetrometer sono sempre superiori a 5 kg/cm<sup>2</sup>.

Il numero di colpi delle prove SPT, riportato nelle descrizioni dei carotaggi, aumenta generalmente con la profondità. Nei due strati argillosi C e B il numero di colpi varia da 6-7 nella porzione più superficiale fino a 20-30 nelle porzioni basali, senza presentare un distacco netto fra i due litotipi. In buona parte dei sondaggi sono stati descritti trovanti di vario spessore (alcuni fino a 2 metri) di origine calcareo-marnosa e in alcuni carotaggi arenacei. I trovanti nella coltre di alterazione appartengono agli strati calcarei più competenti caratteristici del substrato APA e AVC.

Alcuni sondaggi, posizionati a quote più alte, vicino alla base della scarpata, presentano uno strato di qualche metro di materiale più grossolano (sabbia limosa, detrito di disfacimento dell'arenaria). Tale strato si pone al tetto delle argille grigie ed è con molta probabilità generato da accumuli detritici provenienti dalla scarpata sovrastante formata dalle Arenaria di Monte Gabba.

La tabella che segue descrive sinteticamente la stratigrafia dell'area in frana.

<b>Orizzonte</b>	<b>Strato</b>	<b>Spessore (m) (Minimo/Massimo)</b>	<b>Descrizione sintetica</b>
D	Terreni misti	0.05 / 2	Terreno vegetato, suolo, riporti e/o laterizi
C	Argilla bruna	0 / 8	Argilla di colore bruno-nocciola alterata con presenza abbondante di sostanza organica
B	Argilla grigia	5 / 20	Argilla grigia caratterizzata da bassa-media plasticità a tratti compatta. Spesso sono presenti inclusi calcareo-marnosi o arenacei
A	Substrato	> 30	Argilliti fissili grigio scure-nerastre estremamente deformate. Presenta trovanti calcareo-marnosi all'interno

Tutti i sondaggi sono stati reinterpretati utilizzando queste unità e le colonne ottenute sono state utilizzate per la costruzione del modello geologico-tecnico del versante (vedi sez. 3.6)

### 3.3 Idrogeologia

Per ricostruire l'assetto idrogeologico generale del versante sono stati presi in considerazione 28 piezometri realizzati durante tre campagne di indagini differenti in un intervallo temporale che va dal 1988 al 2021 (Fig. 3.4). Visto che molti di questi piezometri sono datati, si è provveduto innanzitutto alla loro verifica attraverso due campagne effettuate i giorni 12 e 17 maggio 2021.

Durante queste campagne è stato possibile appurare il corretto funzionamento di appena 9 piezometri, fortunatamente ben distribuiti nell'area d'indagine. In particolare, di questi punti di misurazione 2 sono localizzati nella parte alta della frana (P135 e S10), 4 nella zona centrale (P113, P119, N5, N64 e N25p) e 2 sono posizionati in area leggermente esterna al fenomeno franoso (N9 e P121). Il più recente dei piezometri considerati, realizzato contestualmente a queste indagini, è il N25p.

Per diversi piezometri è stato possibile reperire anche le misure di falda effettuate in passato, i cui valori sono riportati in Tab. 3.2 insieme ai periodi di analisi.

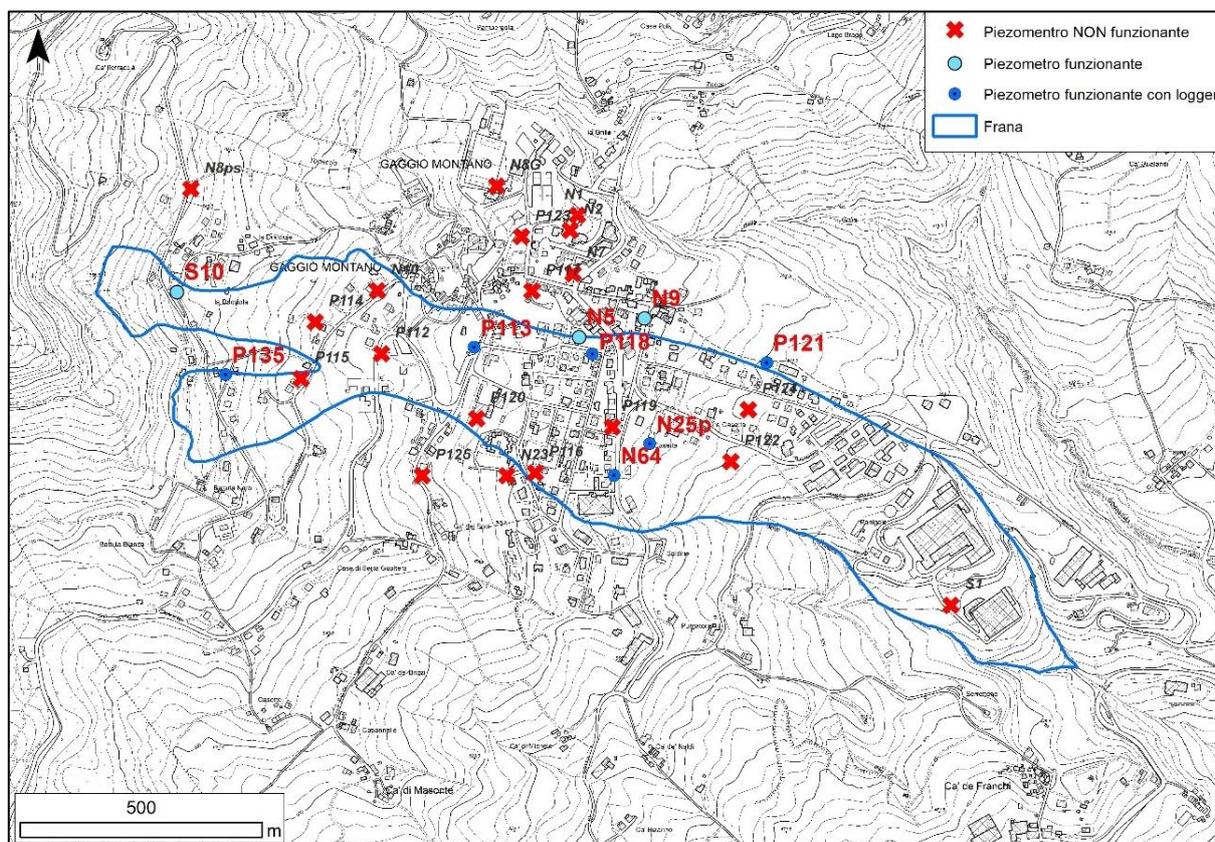


Fig. 3.4. Ubicazione dei piezometri nell'area di Gaggio Montano, distinti in base al loro funzionamento.

	Soggiacenza da P.C. (m)		Altezza piezometrica s.l.m. (m)		Periodo misurazioni
	Minima	Massima	Massima	Minima	
P112	0,6	0,7	646,2	646,1	29/09/1988 - 23/10/1988
P113	2,05	2,3	618,45	618,2	29/09/1988 - 23/10/1989
P114	7	7,3	658,5	658,2	29/09/1988 - 23/10/1990
P115	1,45	2,7	666,85	665,6	29/09/1988 - 23/10/1991
P116	0,1	2,75	591,9	589,25	29/09/1988 - 23/10/1992
P117	0,6	2	601,6	600,2	29/09/1988 - 23/10/1993
P118	3,87	4,2	588,03	587,7	29/09/1988 - 23/10/1994
P119	0,8	4,05	576,7	573,45	29/09/1988 - 23/10/1995
P120	0,5	0,8	612,1	611,8	29/09/1988 - 23/10/1996
P121	2,6	6,6	548,3	544,3	29/09/1988 - 23/10/1997
P122	0,5	1,2	545,7	545	29/09/1988 - 23/10/1998
P123	0	0	601,5	601,5	29/09/1988 - 23/10/1999
P124	0,95	2,5	545,65	544,1	29/09/1988 - 23/10/2000
P125	0,05	1,35	629,55	628,25	29/09/1988 - 23/10/2001

Tab. 3.2. Misure di falda reperite per 14 dei 28 piezometri distribuiti nell'area di Gaggio Montano. Sono evidenziati i piezometri che risultano ancora funzionanti.

I piezometri funzionanti sono stati poi oggetto di sette campagne di misurazioni tra maggio 2021 e gennaio del 2022, le cui registrazioni sono riportate nella Tab. 3.3. In alcuni di questi piezometri sono stati installati anche dei sensori di pressione in continuo (Tab. 3.3), in modo da ottenere il valore dell'andamento della falda freatica durante tutto il periodo di misurazione.

	Valori di soggiacenza (m)								
	S10	P135	P113	P118	N64p	N9	N25p	N5	P121
Quota da p.c. (m)	711,0	699,0	621,5	584,0	574,5	727,0	568,0	512,5	544,5
12/05/2021	4,89	2,33	3,14	1,90	-	-	-	-	-
17/05/2021	-	2,31	3,10	1,84	1,26	1,79	-	2,87	6,19
15/06/2021	4,71	2,31	2,95	1,87	0,95	1,75	-	2,70	6,50
29/06/2021	-	-	-	-	-	-	6,95	-	-
13/07/2021	5,76	2,45	3,15	2,01	1,24	1,80	2,90	3,12	6,28
25/10/2021	5,83	2,74	3,39	2,63	1,27	1,82	0,99	3,11	6,55
28/01/2022	5,05	2,41	2,19	2,53	1,25	1,75	0,80	2,86	6,16
Differenza tra valore minimo e massimo	1,12	0,43	1,20	0,79	0,32	0,05	6,15	0,42	0,39

Tab. 3.3. Misure di falda effettuate sui piezometri funzionanti nel versante di Gaggio Montano tra il 12/05/2021 e il 28/01/2022. Vengono evidenziati i punti di misura predisposti con sensore in continuo.

In ogni piezometro prescelto il sensore di pressione è stato posizionato al di sotto della falda e ad una profondità nota, dove ha registrato il valore di pressione ad intervalli di 20 minuti. Queste misure, debitamente depurate dalla pressione atmosferica, hanno restituito la soggiacenza della falda in m dal p.c. I piezometri P135, P113, P118 e N64 sono stati attrezzati con sensori Keller dal 17/06/2021 fino al 28/01/2022, mentre per i restanti sono stati utilizzati sensori Heron dal 13/07/2021 al 28/01/2022. La correzione barometrica è stata effettuata grazie all'installazione di un barometro presso l'edificio comunale utilizzato dalla Croce Rossa Italiana.

I grafici in Fig. 3.5 mostrano i risultati ottenuti delle misurazioni in continuo della falda per ogni piezometro, confrontati con la curva cumulata delle precipitazioni registrate alla stazione pluviometrica di Porretta Terme (<https://simc.arpae.it/dext3r/>). Questo ha permesso di fare considerazioni in merito ai tempi di risposta tra gli eventi piovosi e le misurazioni del livello piezometrico.

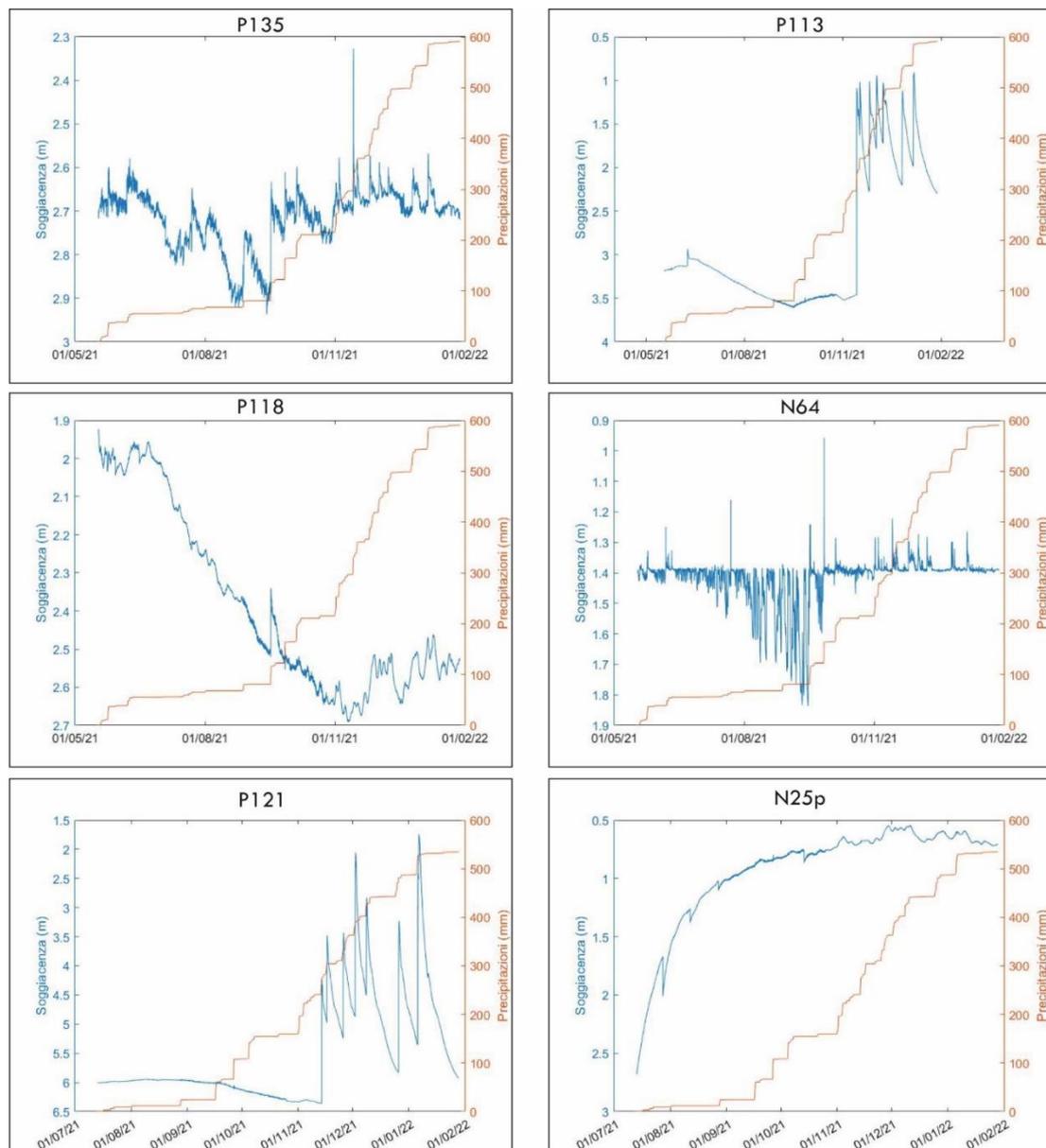


Fig. 3.5. Grafici delle misurazioni in continuo effettuate per 6 dei 9 piezometri funzionanti, confrontati con la precipitazione misurata al Pluviometro di Porretta Terme.

Dai dati piezometrici complessivamente raccolti si possono fare le seguenti osservazioni generali:

- confrontando le vecchie misure di falda con quelle nuove si nota un abbassamento del livello di falda per il piezometro P113 (di quasi 1 m) e un innalzamento per il piezometro P118 (di circa 1,5 m);
- la falda è generalmente abbastanza superficiale in quasi tutti i piezometri (ad eccezione del S10 e del P121) con valori compresi tra 1 e 3 m e variazioni tra 0.05 m (N9) e 0.8 m (P118) in 9 mesi di misurazioni;
- la risposta della falda agli eventi di pioggia è abbastanza lenta, con una differenza tra prime precipitazioni ed effetto sull'acquifero di almeno un mese (P113 e P121). Questo effetto scompare del tutto per il piezometro P135, posto nelle aree più a monte.

### 3.4 Parametri di resistenza al taglio

La caratterizzazione geologico-tecnica ha riguardato i soli terreni che costituiscono il corpo di frana. In caso di sisma, infatti, lo scenario più probabile è che lo scuotimento causi uno spostamento del corpo di frana lungo la superficie di scorrimento basale. In tali condizioni le resistenze mobilizzate sono quelle disponibili lungo la superficie di scorrimento stessa, ovvero quelle dei materiali che costituiscono il corpo di frana.

Il corpo di frana di Gaggio Montano è costituito da terreni limoso-argillosi a diverso grado di consistenza contenenti blocchi e inclusi litici di varia natura. Il materiale ha una tessitura caotica ed in sondaggio si distingue dal substrato per l'assenza di fissilità, il colore leggermente più chiaro e la minor durezza.

I sondaggi disponibili, per quanto numerosi, non consentono di distinguere diverse unità all'interno del corpo di frana. Le descrizioni stratigrafiche sono sempre piuttosto simili ed apparentemente non ci sono differenze tra la coltre presente sopra le Argille Varicolori e quella sopra le Argille a Palombini (vedi sezioni geologiche). D'altra parte, queste due formazioni hanno caratteristiche tecniche simili ed i terreni in frana hanno subito continui movimenti e riattivazioni che hanno generato un deposito caotico. Ai nostri scopi, quindi, il corpo di frana è stato considerato come un'unica unità geologico-tecnica.

I dati esistenti sono stati analizzati per determinare i parametri di resistenza al taglio in condizioni drenate (angolo di attrito efficace e coesione efficace) e non drenate (coesione non drenata) funzionali alle analisi di stabilità. Tutte le altre caratteristiche fisiche dei terreni (granulometria, plasticità, indice dei vuoti, compressibilità) non sono state considerate perché non direttamente pertinenti con gli obiettivi della ricerca. È ovvio, comunque, che in un lavoro professionale i terreni devono essere caratterizzati nella loro completezza come prevedono le norme vigenti.

### 3.4.1 Parametri di resistenza in condizioni drenate

All'interno della documentazione raccolta sono state trovate solo tre prove di laboratorio eseguite per determinare i parametri di resistenza al taglio in condizioni drenate.

Si tratta di tre prove di taglio diretto consolidate-drenate eseguite nel 1999 su campioni di terreno in frana posti a profondità di 8.2 m, 16.3 m e 22.7 m dal piano campagna. I campioni sono rimaneggiati (probabilmente spezzoni di carota di sondaggio) per cui i parametri ottenuti si possono considerare prossimi a quelli di stato critico. Le prove forniscono i seguenti valori:

- angolo di attrito drenato,  $\phi'$ : 20° / 20°.4 / 25°
- coesione drenata,  $c'$ : 2.7 / 28.1 / 12.1 kPa

I valori di coesione non drenata (che dovrebbero essere vicino a zero per un terreno fine rimaneggiato) sono elevati e variano in un ampio range. È probabile che non siano in realtà significativi e che dipendano da inclusi litici presenti all'interno dei campioni. I valori di angolo di attrito sono invece in linea con quelli attesi per questo materiale.

Questi dati non sono però sufficienti per caratterizzare un materiale eterogeneo e complesso come quello che costituisce il corpo di frana, e la Convenzione di Ricerca (avendo un taglio metodologico) non ha previsto l'esecuzione di nuove prove di laboratorio.

Per la caratterizzazione dei terreni in frana si è fatto quindi riferimento ad un database che abbiamo realizzato nel 2007 nell'ambito di una Convenzione di Ricerca col Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli della Regione Emilia-Romagna. Scopo della Convenzione era quello di analizzare i dati di laboratorio raccolti dal Servizio Geologico nell'ambito del progetto IFFI, relativi alle caratteristiche geotecniche di terreni in frana nel territorio regionale.

Per i terreni appartenenti alle Argille Liguri (ACC+APA+AVC+AVT) il database contiene i dati di 153 campioni, di cui 74 di coltre e 79 di substrato. I parametri di resistenza al taglio in condizioni residue sono stati determinati su 36 campioni (24 di coltre e 12 di substrato) tramite prove di taglio diretto a più cicli. Si tratta di un dataset piuttosto consistente che permette una stima dei parametri medi di resistenza residua e della loro variabilità.

L'istogramma di frequenza di Fig. 3.6 mostra la distribuzione dei 36 valori di angolo di attrito residuo ( $\phi'_{res}$ ) contenuti nel database.

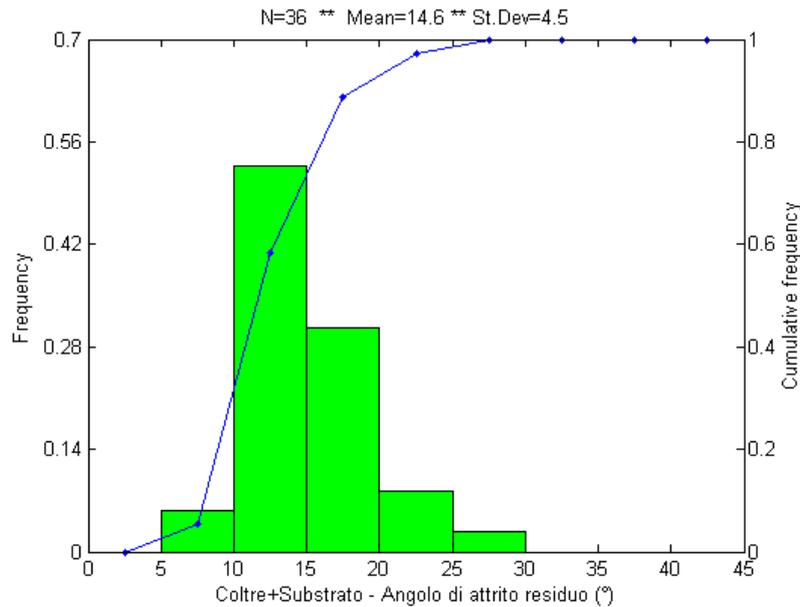


Fig. 3.6. Istogramma di frequenza dei valori di angolo di attrito residuo contenuti nel “Database dei parametri geotecnici connessi alle frane”

Come si può notare, i valori più frequenti cadono nella classe 10°-15° ma la dispersione dei dati è molto elevata. Tale dispersione dipende in parte dalle caratteristiche mineralogiche e granulometriche dei vari campioni ed in parte dalla complessa tessitura di questi terreni, che contengono al loro interno lito-relitti di argilliti e inclusi litici di varia natura. Per questi terreni è normale ottenere valori molto variabili dei parametri geotecnici per cui è difficile restringere il campo di incertezza anche a fronte di un numero elevato di prove.

I parametri statistici della distribuzione sono riassunti in tabella:

	$\phi'_{res}$ (°)
<b>Media</b>	<b>14.6</b>
Dev.St.	4.5
Min	5.8
Max	26.0

Sulla base di questi dati possiamo ragionevolmente ipotizzare che alla base della frana di Gaggio Montano sono disponibili i seguenti parametri di resistenza al taglio drenata:

$$\phi'_{res} = 14^{\circ} - 15^{\circ}$$

$$c'_{res} = 0 \text{ kPa}$$

### 3.4.2 Parametri di resistenza in condizioni non drenate

I parametri di resistenza al taglio non drenata dei terreni in frana (coesione non drenata,  $c_u$ ) sono stati determinati utilizzando tre diversi approcci:

1. stima da prove penetrometriche statiche (CPT)
2. misure di pocket penetrometer su carote di sondaggio
3. stima dai valori di velocità delle onde di taglio ( $V_s$ )

È bene sottolineare che in assenza di prove di laboratorio l'unico approccio veramente affidabile per la stima della resistenza non drenata è il primo. I valori di  $c_u$  che si ottengono dalle misure di pocket penetrometer sono infatti fortemente condizionati dalla qualità della carota e quelli stimati dalle  $V_s$  derivano da relazioni empiriche con un elevato grado di incertezza. Ferme restando queste differenze, si è deciso di utilizzare tutti e tre i metodi a titolo di confronto.

Nella documentazione raccolta sono riportate solo 4 prove CPT. Le prove sono state spinte fino ad una profondità massima di 11 m ed hanno attraversato i depositi di frana. La Fig. 3.7A riassume i valori di  $c_u$  complessivamente misurati in funzione della profondità e l'andamento medio della resistenza.

Come atteso, la coesione non drenata aumenta con la profondità a causa della progressiva diminuzione dell'indice dei vuoti del terreno. Nei primi 2-3 m il terreno è da “mediamente consistente” a “consistente” (classificazione AGI, 1977) e la  $c_u$  aumenta in modo sensibile con la profondità. Oltre i 3 m, l'aumento è più graduale ed il terreno è classificabile come “molto consistente”. Questa porzione è certamente più rappresentativa del corpo di frana, che ha uno spessore di 20-30 m.

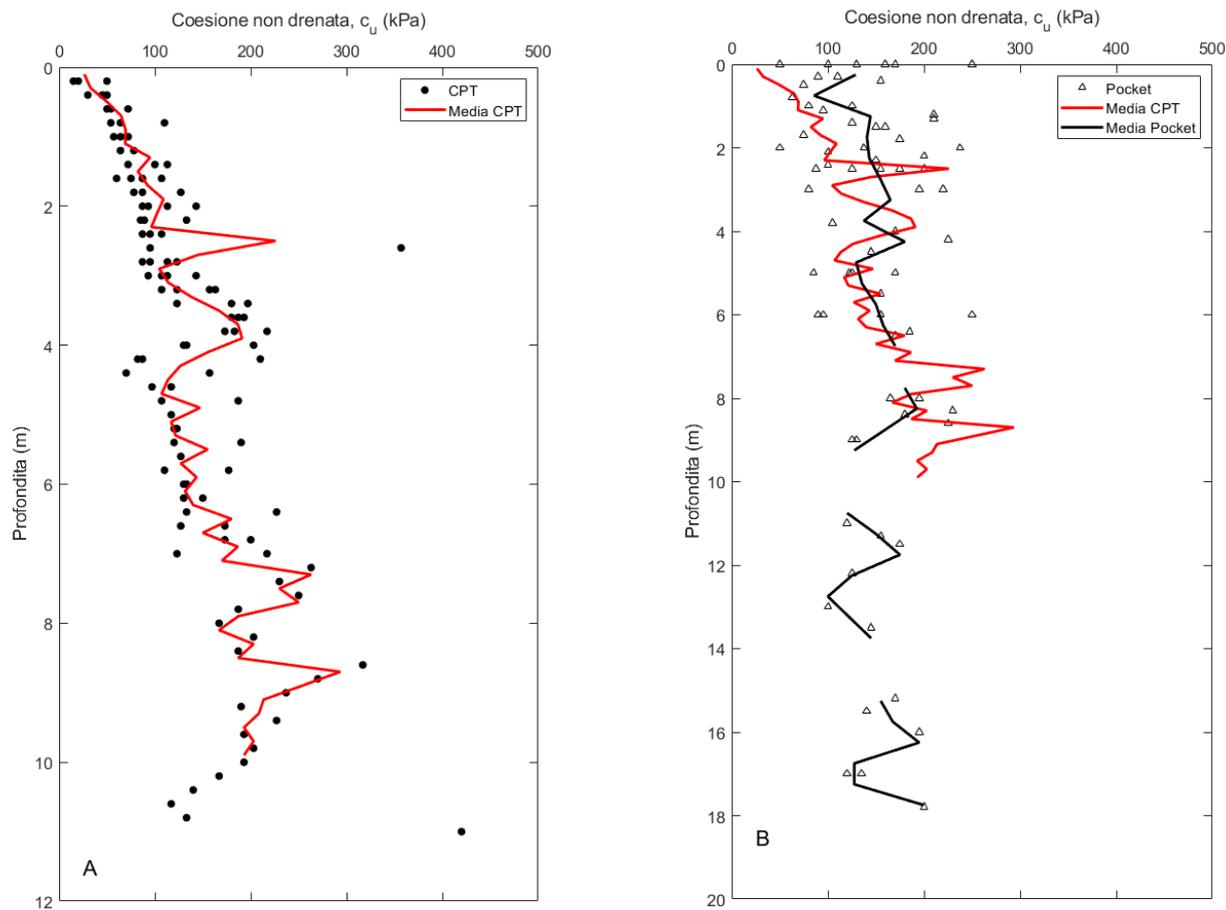
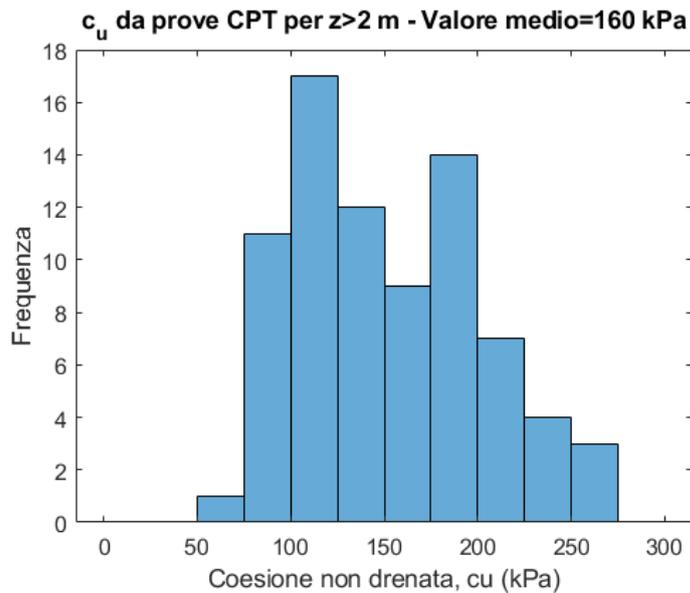


Fig. 3.7. Valori di coesione non drenata misurati da prove CPT (A) e confronto con le stime ottenute da pocket penetrometer su carote di sondaggio (B)

La Fig. 3.8 mostra l'istogramma di frequenza dei valori di  $c_u$  misurati oltre i 2 m di profondità. I parametri statistici della distribuzione sono riassunti in tabella:

	$c_u$ (kPa)
<b>Media</b>	<b>160</b>
Dev.St.	63
Min	70
Max	420

Sulla base di questi dati è ragionevole ipotizzare che la coesione non drenata dei terreni in frana vari mediamente tra i 100 e i 200 kPa.



*Fig. 3.8. Istogramma di frequenza dei valori di coesione non drenata ottenuti da prove CPT per profondità maggiori di 2 m.*

Le misure effettuate col pocket penetrometer confermano i valori delle CPT. L'andamento medio della coesione non drenata è simile (Fig. 3.7B) e restituisce valori analoghi almeno nei primi 10 m. Al di sotto dei 10 m la resistenza non aumenta con la profondità e rimane costante attorno a circa 100-200 kPa. Come già detto però, le stime di  $c_u$  da pocket penetrometer sono incerte e risentono del disturbo delle carote di sondaggio per cui questi valori potrebbe essere non del tutto realistici.

Nel complesso, i valori misurati in sito concordano con le poche prove di laboratorio disponibili. Si tratta di tre misure di  $c_u$  effettuate nell'ambito delle indagini geologiche per la costruzione del Palazzetto dello Sport di Gaggio Montano (SONGEO, 2001). I dati non sono pienamente affidabili perché derivano da prove di taglio diretto UU, che a differenza delle prove triassiali TX-UU non garantiscono un corretto isolamento del campione dall'acqua circostante. I valori ottenuti ( $c_u = 92, 86$  e  $100$  kPa) ricadono comunque al centro della distribuzione di Fig .3.8.

Una stima di massima della coesione non drenata può essere effettuata considerando alcune reazioni empiriche note in letteratura, e riportate nella tabella sottostante, partendo dai dati di  $V_s$  ottenuti dalle prove geofisiche eseguite sul corpo di frana.

<b>Sigla</b>	<b>Equazioni</b>	<b>Riferimenti Bibliografici</b>
[c <sub>u1</sub> ]	$c_{u1} = 0,152 \cdot V_s^{1,142}$	Agaiby & Mayne (2015)
[c <sub>u2</sub> ]	$c_{u2} = 0,15 \cdot V_s^{1,11}$	Moon & Ku (2018)
[c <sub>u3</sub> ]	$q_t = \left(\frac{V_s}{2,944}\right)^{1/0,613} \rightarrow c_{u3} = \frac{q_t - \sigma_{v0}}{N_{kt}}$	q <sub>t</sub> – Long & Donohue (2010) c <sub>u</sub> – Robertson (2009)
[c <sub>u4</sub> ]	$q_{t\_net} = 1000 \cdot \left(\frac{V_s}{220}\right)^{1/0,71} \rightarrow c_{u4} = \frac{q_{t\_net}}{N_{kt}}$	q <sub>t\_net</sub> – Nguyen et al. (2014) c <sub>u</sub> – Robertson (2009)

Le relazioni [c<sub>u1</sub>] e [c<sub>u2</sub>] consentono di stimare la coesione non drenata direttamente dal valore di  $V_s$  registrato in sito. Le altre due equazioni necessitano invece di un passaggio intermedio, legato alla determinazione della resistenza alla punta corretta (q<sub>t</sub>) [c<sub>u3</sub>] e netta (q<sub>t\\_net</sub>) [c<sub>u4</sub>], da cui ricavare il rispettivo valore di coesione non drenata secondo la relazione riportata in tabella.

I valori di c<sub>u</sub> così ottenuti sono riportati in Fig. 3.9 e messi a confronto con il range di valori medi di coesione non drenata disponibile in sito, misurata attraverso prove CPT e con il pocket penetrometer.

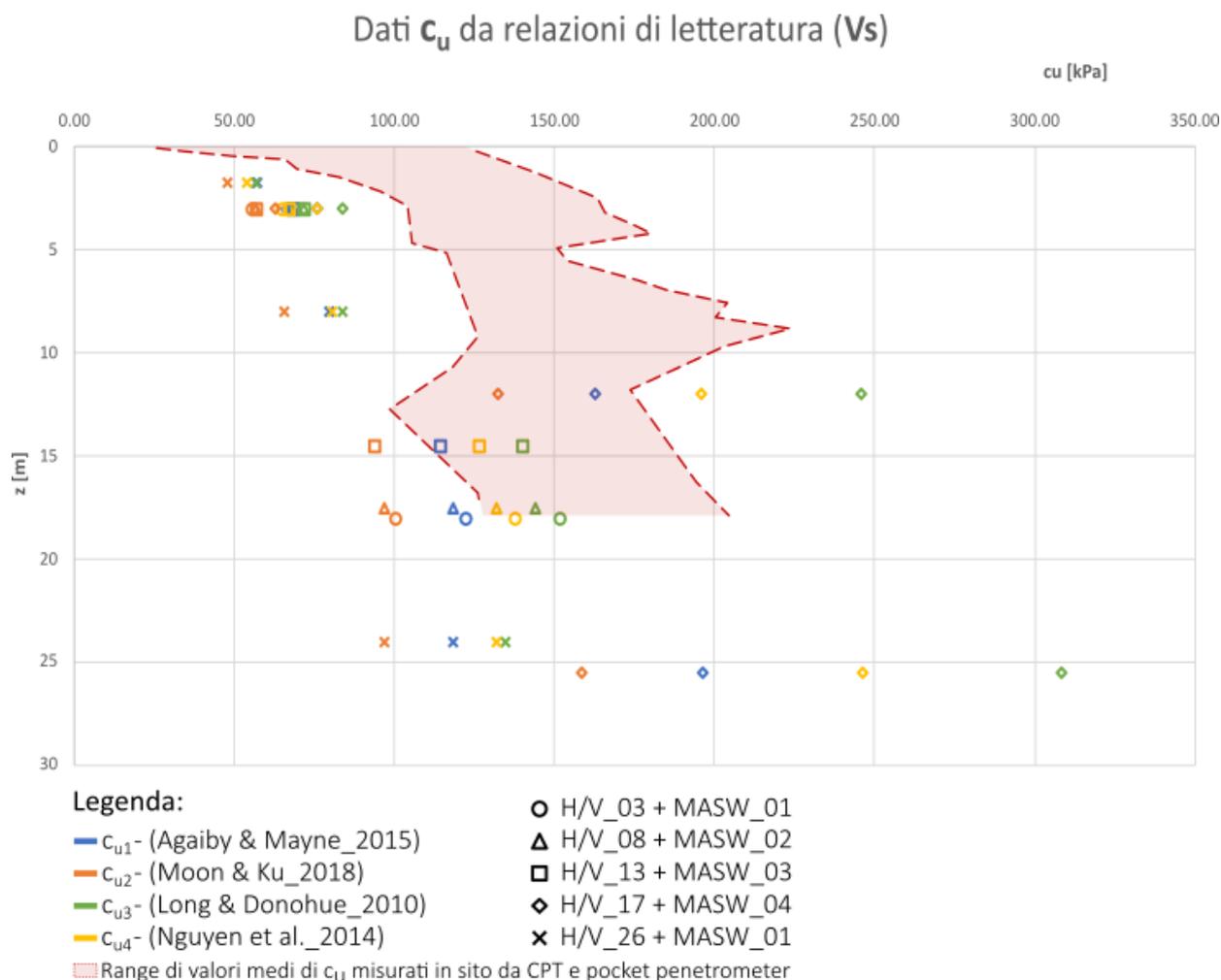


Fig. 3.9. Confronto tra valori di coesione non drenata ricavati da diverse relazioni di letteratura, partendo dalle singole misure di Vs effettuate sul corpo di frana, e il range di valori medi effettivamente disponibili in sito, ottenuto da prove CPT e test con il pocket penetrometer. Le profondità a cui sono riferiti valori di coesione non drenata rappresentano il punto medio degli strati individuati e modellati all'interno del corpo di frana, attraverso la combinazione di prove geofisiche MASW e HVSR.

Come si può notare, a parità di profondità, i valori di  $c_u$  stimati dalle Vs presentano tra loro uno scarto sistematico, che tende ad aumentare con lo stato tensionale. Tuttavia, i valori calcolati sembrano condividere un andamento analogo, con un tratto più superficiale, in cui la  $c_u$  aumenta gradualmente con la profondità, e uno più profondo, in cui sembra mantenere un valore più o meno costante.

Solo l'andamento di  $c_u$  ottenuto dalla coppia di prove H/V\_17 e MASW\_04 sembra distaccarsi da quello generale descritto, mostrando valori sistematicamente superiori. Dal confronto mostrato in figura, emerge una scarsa sovrapponibilità tra valori di  $c_u$  calcolati e reali nella porzione più superficiale del corpo di frana, con i primi che tendono a sottostimare sistematicamente quelli effettivamente disponibili in sito. Più in profondità, per alcune delle relazioni empiriche considerate, tale sovrapponibilità sembra però aumentare.

### 3.5 Stratigrafia sismica

Il territorio di Gaggio Montano è stato oggetto di numerose indagini geofisiche in passato, quasi esclusivamente costituite da misure di microtremore (HVSr). Queste indagini sono state recuperate sia attraverso gli Studi per la Microzonazione Sismica del comune che consultando diverse relazioni geologiche depositate tra il 2005 e il 2021 presso gli uffici dell'Unione dei Comuni dell'Appennino Bolognese.

La tecnica HVSr (*Horizontal to Vertical Spectral Ratio*) è una metodologia non invasiva di tipo passivo che effettua un'analisi delle tre componenti del moto del suolo (una verticale + due orizzontali) date dal rumore sismico ambientale e consente di ottenere una stratigrafia sismica di massima della verticale indagata. A Gaggio Montano sono state recuperate 31 indagini HVSr, di cui 14 ricadenti nel perimetro della frana indagata (Fig. 3.10).

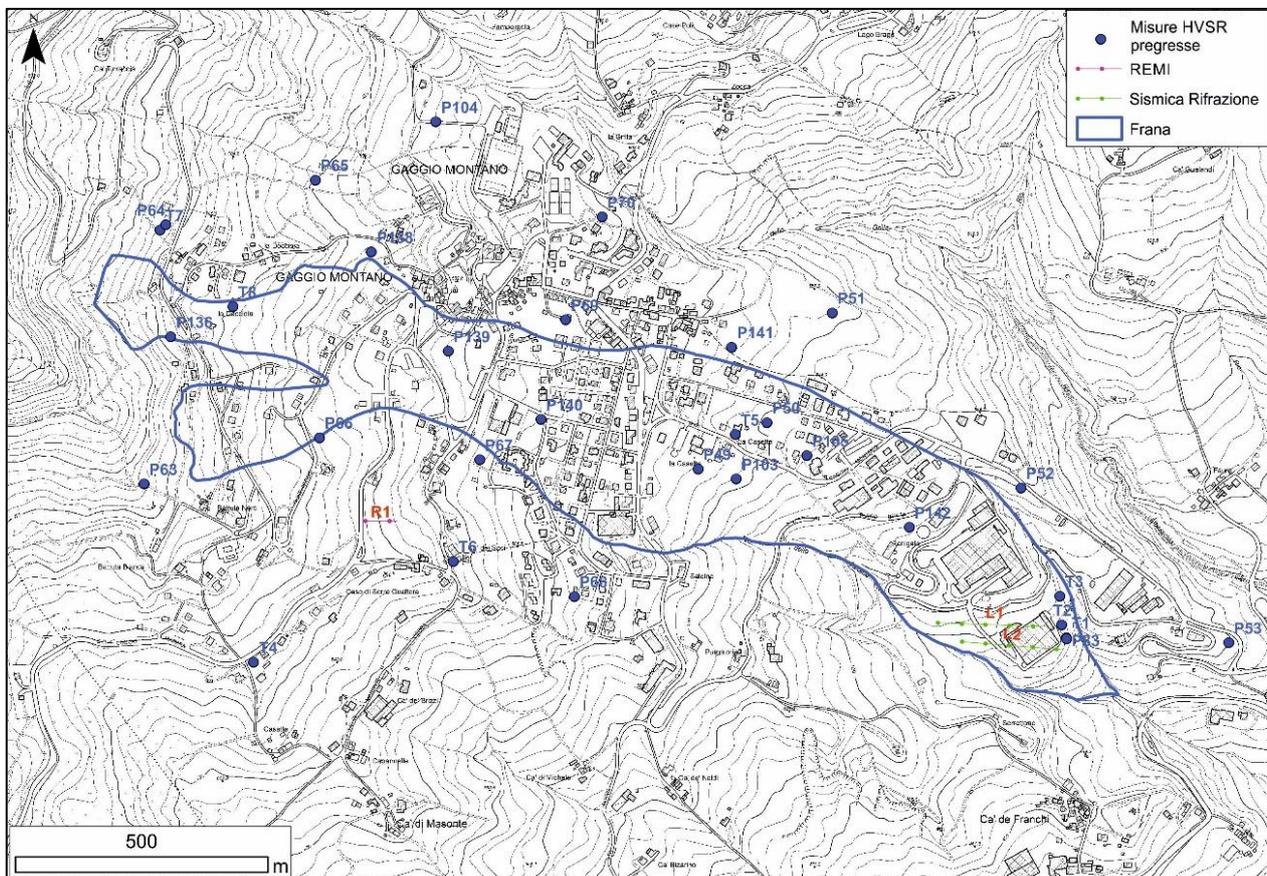


Fig. 3.10. Ubicazione delle indagini geofisiche pregresse rinvenute per il territorio di Gaggio Montano.

Nonostante questo massiccio numero di prove, le misure rinvenute non hanno permesso la ricostruzione della stratigrafia sismica dell'area d'indagine perché poche sono state le indagini realizzate per la valutazione della  $V_s$  (Velocità delle onde sismiche di taglio), ottenibile mediante la realizzazione di geofisiche tipo MASW (*Multichannel Analysis of Surface Waves*), Sismica a Rifrazione o Down Hole in foro.

Bisogna infatti considerare che i picchi del rapporto spettrale H/V rilevati in una indagine di microtremore si verificano in prossimità di un contrasto di impedenza sufficientemente forte in profondità e che questo può essere approssimativamente modellato sapendo che un'onda sismica (onda di taglio - S) che viaggia in uno strato è parzialmente riflessa dall'interfaccia che separa due strati, seguendo la seguente formula:

$$F = V_s/4 \cdot H$$

dove  $V_s$  è la velocità delle onde sismiche di taglio in uno strato di spessore H. Da una prova HVSR non è quindi possibile ottenere il valore di  $V_s$  se non è noto lo spessore H.

Nell'area sono state rinvenute solo 2 prove sismiche a rifrazione nella zona di cumulo della frana studiata e 1 REMI (*Refraction Microtremor*) posizionata in area esterna al perimetro della frana (Fig. 3.10). Inoltre, poche delle prove HVSR rinvenute riportavano il grafico con la registrazione delle due componenti spettrali orizzontali e verticale, indispensabile per la distinzione di picchi antropici o naturali e per la modellazione efficace della stratificazione sismica del sottosuolo.

Per ovviare a questo problema si è deciso di effettuare una campagna geofisica *ex-novo*, effettuata il 26/10/2021 e il 24/11/2021. La campagna è stata caratterizzata da 30 misure di microtremore HVSR, registrate utilizzando due sensori a stazione singola di tipo tridimensionale (Tromino della MOHO) e 5 MASW effettuate tramite l'utilizzo di 16 geofoni con sorgente attiva a 3 m dal primo geofono con energizzazione effettuata tramite mazza con malleo di 5 kg (Fig. 3.11).

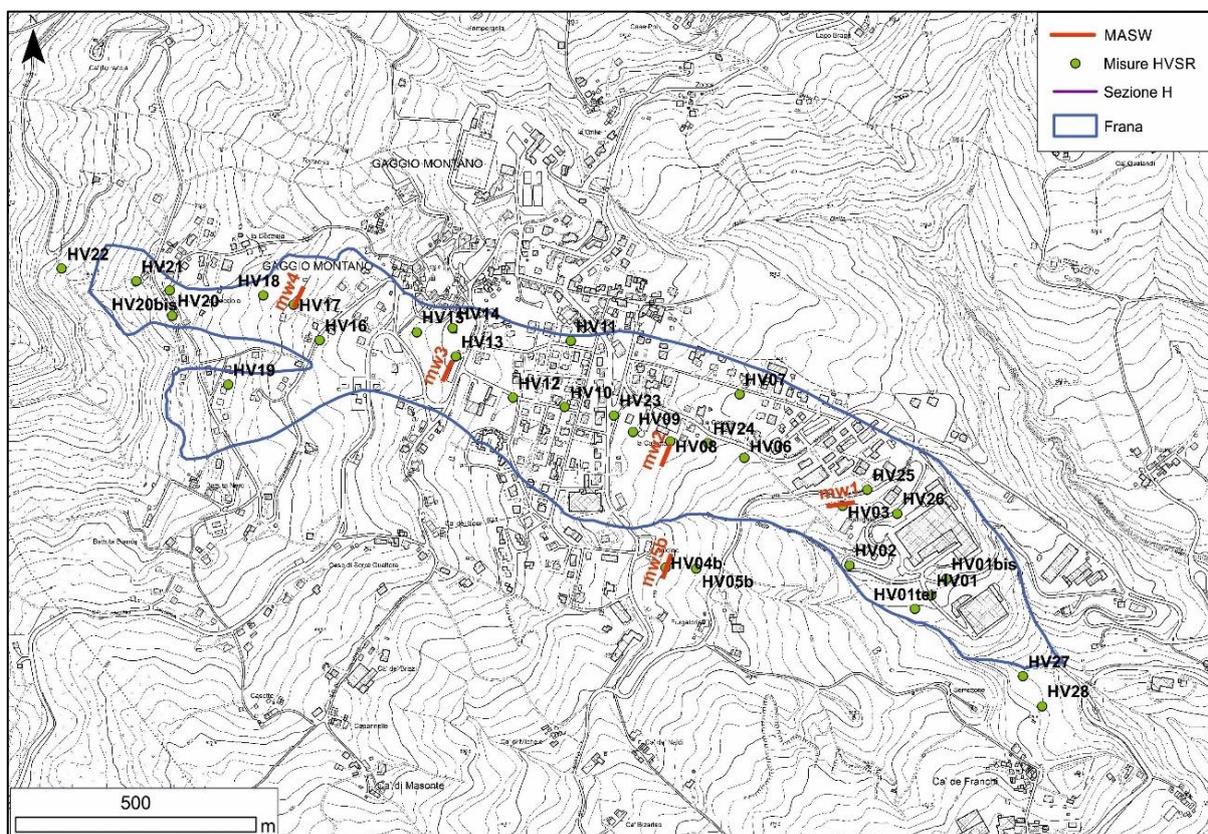


Fig. 3.11. Ubicazione delle indagini geofisiche realizzate con le campagne del 26/10/2021 e del 24/11/2021, realizzate per l'area in frana di Gaggio Montano.

Le indagini geofisiche sono state combinate tra di loro poiché le MASW permettono una valutazione efficace e dettagliata dei primi metri di profondità del sottosuolo, mentre le HVSR danno la possibilità di indagare le porzioni più profonde. In questo modo è stato ricostruito il profilo del versante in termini di stratigrafia sismica. Tutte le prove sono state interpretate con l'utilizzo del software Grilla della MOHO, in maniera congiunta, facendo corrispondere la curva di dispersione teorica con quella sperimentale H/V e MASW contemporaneamente.

Dall'analisi dei dati ottenuti si nota in quasi tutte le prove di microtremore un picco intorno a 1,4 Hz (tra 1 e 2 Hz), probabilmente associabile ad un contatto molto profondo fra il bedrock sismico vero e proprio e il substrato geologico posto ad una profondità compresa tra i 100 e 120 m. Un picco più ampio si rinviene poi tra 2,5 e 5 Hz, in funzione della quota di posizionamento del riflettore e dalla posizione in pianta rispetto al corpo di frana. Questo riflettore è correlabile con il piano di scorrimento della frana e si attesta a profondità variabili tra i 18 a 35 m dal p.c. In alcune prove, è visibile anche un riflettore più superficiale responsabile di un leggero picco tra 8 e 11 Hz.

I risultati delle prove sono riassunti nella Tab. 3.4, che riporta i valori medi calcolati sull'intera area analizzata. Il primo campo della tabella indica gli orizzonti stratigrafici descritti precedentemente.

<b>Orizzonte</b>	<b>Spessore (m) (Minimo/Massimo)</b>	<b>V<sub>s</sub> (m/s)</b>	<b>Modulo di Poisson</b>	<b>Densità (kg/m<sup>3</sup>)</b>
C e D	5/11	200	0,464	1.720
B	13/28	340	0,453	1.757
A2	~ 85	560	0,432	1.840
A1	∞	800	0,418	1.940

*Tab 3.4. Stratigrafia sismica di sintesi dell'area in frana. L'orizzonte A (bedrock) è stato suddiviso in due unità: A2 corrisponde alla parte più superficiale del bedrock geologico, caratterizzata da velocità delle V<sub>s</sub> inferiori a 800 m/s; A1 corrisponde al bedrock sismico vero e proprio con velocità delle V<sub>s</sub> uguali o maggiori di 800.*

Per completare il quadro conoscitivo dell'area, sono state effettuate due prove HVSR e una prova MASW anche al di fuori del corpo di frana (Fig. 3.11), in una posizione dove la cartografia geologica ufficiale non riporta depositi di frana ma substrato affiorante. L'interpretazione congiunta restituisce valori di V<sub>s</sub> molto più alti fin dai primi metri dal p. c. (400 m/s), raggiungendo poi 700 m/s entro i 18 m di profondità, e una stratigrafia sismica molto meno articolata. Anche qui è riconoscibile un picco intorno a circa 1,3 Hz che identifica con ogni probabilità un riflettore molto profondo (100 – 120 m).

### 3.6 Modello geologico-tecnico

Le indagini sopra descritte sono state utilizzate per ricostruire il modello geologico tecnico del versante. Per le correlazioni è stato utilizzato il *plugin* Midvatten, sviluppato da Josef Källgården e Henrik Spångmyr (<https://github.com/jkall/qgis-midvatten-plugin/wiki>) ed implementato nel software QGIS. Questo plugin permette, dopo la creazione di un database relazionale, di gestire spazialmente diverse tipologie di indagini e di riportarle in forma grafica lungo una sezione. Nel database sono stati quindi archiviati i sondaggi, gli inclinometri e i piezometri, e sono state predisposte tre tracce di sezione, due longitudinali e una trasversale (Fig. 3.12).

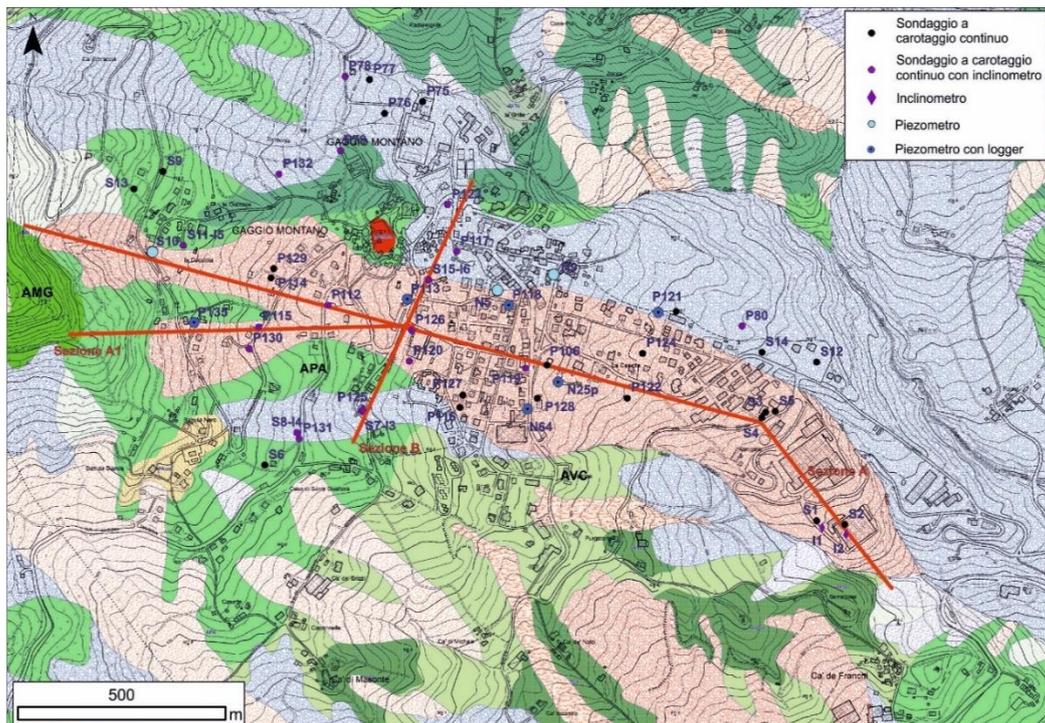


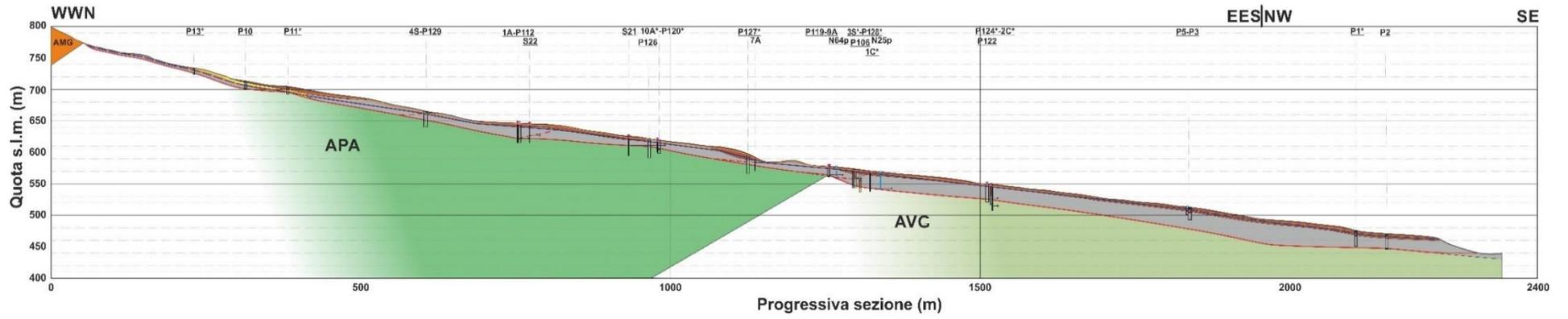
Fig. 3.12. Carta geologica dell'area di Gaggio Montano, con l'ubicazione delle sezioni geologiche realizzate.

Per realizzare le sezioni sono stati seguiti i seguenti step:

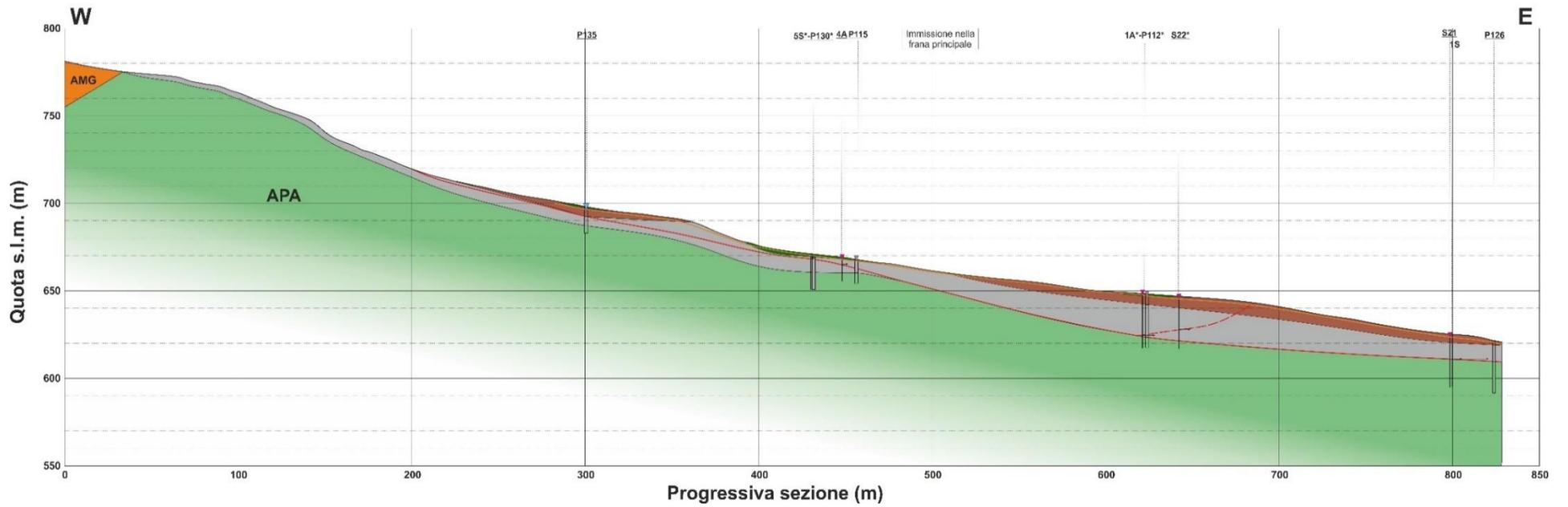
1. creazione di una sezione topografica di dettaglio, utilizzando la CTR della Regione Emilia-Romagna a scala 1:5000 e il DTM relativo;
2. ricostruzione della stratigrafia del sottosuolo correlando i diversi sondaggi proiettati sulla sezione;
3. ricostruzione della superficie di scorrimento basale della frana (SS) e di alcune superfici secondarie sulla base delle informazioni degli inclinometri;
4. ricostruzione della linea di falda in funzione sia dei periodi di misurazione passati (1988-2004) che di quelli condotti *ex-novo* durante questo progetto (2021-2022).

I risultati ottenuti sono riportati nelle figure seguenti.

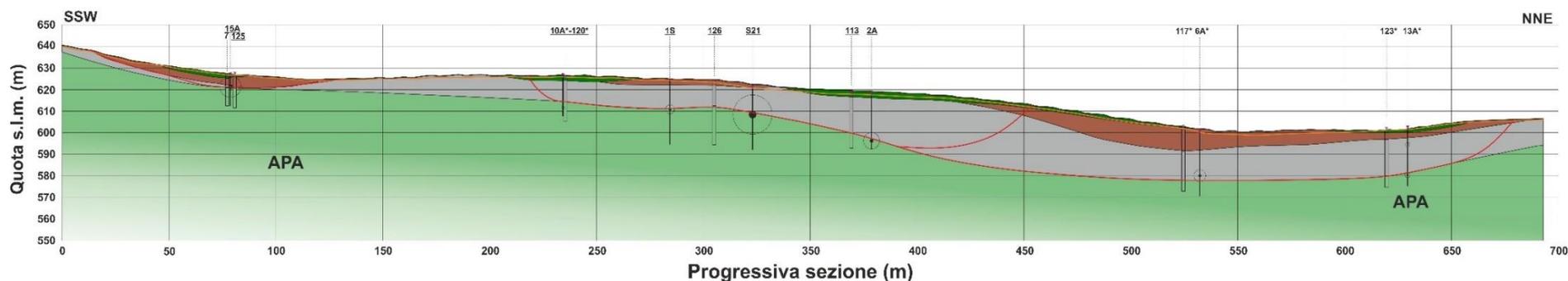
SEZIONE A



SEZIONE A1



## SEZIONE B



### Legenda

- Terreni misti (terreno vegetato, suolo, terreno di riporto, laterizzi) - ORIZZONTE D.
  - Argilla di colore bruno-nocciola, alterata (stati ossidati) e presenza di sostanza organica - ORIZZONTE C.
  - Sabbia gialla e detrito arenaceo.
  - Argilla grigia plastica e a tratti più compatta, presenza di livelli ossidati e sostanza organica - ORIZZONTE B.
  - Arenaria di Monte Gabba (AMG): Litareniti medie e grossolane in strati da medi a molto spessi.
  - Argille a Palombini (APA): Alternanza di argille fissili e calcilutiti (rapporto calcare/argilla << 1), colore grigio scuro-nerastro.
  - Unità argilloso-calcareo (AVC): Argilliti in bande grigie nerastre e verdastre, foliazione pervasiva per deformazione.
- } ORIZZONTE A Substrato
- Limite stratigrafico.
  - Superficie di scorrimento basale.
  - - - Superficie di scorrimento secondaria ipotetica.
  - ▼ Punti di misura falda (13/07/2021).
  - ▼ Punti di misura falda (massima) da sondaggi vecchi (1988-90').
  - ▼ Punti di misura falda (massima) da inclinometri vecchi (1988-90').
  - Livello di falda attuale.
  - Livello di falda comprendendo tutti le misurazione passate e presenti.
- P13\* Numero sondaggio (\* = proiettato da fuori sezione).
- 10A\* Etichetta inclinometro (\* = proiettato da fuori sezione).
- P10 Numero sondaggio in sezione.
- 4S Etichetta inclinometro in sezione.
- ┆ Inclinometro con freccia in funzione della velocità misurata (mm/mese), massimo (S21) corrisponde a 1,87 mm/mese.
- ⊙ Inclinometro con velocità misurata in funzione del raggio cerchio mm/mese, raggio massimo (S21) equivale a 1,87 mm/mese.

Analizzando le tre sezioni è possibile identificare tre strati al di sopra del substrato argilloso (A), costituiti dal basso verso l'alto da argilla grigia mediamente alterata (B), argilla bruna altamente alterata e ossidata (C) e da uno strato superficiale di terreni misti (D). Questi tre strati rappresentano porzioni detensionate e/o alterate del bedrock e coincidono in buona parte (ma non in modo esclusivo) con depositi di frana. Sembra cioè che il substrato sia coperto da una potente coltre di alterazione coinvolta in movimenti franosi ma non generata direttamente da questi. La coltre di alterazione è infatti presente anche al di fuori delle aree in frana.

Lo strato di argilla bruna (C) raggiunge massimo gli 8 m e non è continuo lungo tutto il versante. Dal punto di vista geologico-tecnico, lo strato C si differenzia dallo strato inferiore di argilla grigia (B) per il colore e per la consistenza mediamente inferiore. Si tratta con ogni probabilità di una porzione di materiale alterato in cui sono avvenute oscillazioni di falda che hanno consentito l'ossidazione del terreno.

Nella parte topograficamente più alta della sezione A compare una lente di materiale grossolano composta da sabbia gialla e detrito arenaceo, verosimilmente costituito da materiale di accumulo derivante dal disfacimento delle arenarie di Monte Gabba sovrastanti (AMG). Il contatto stratigrafico fra le tre formazioni che compongono il substrato è stato interpretato con un'inclinazione compresa tra 60° (aree topograficamente più alte) e 45° (parte centrale e terminale della frana).

La superficie di scorrimento della frana di Gaggio Montano è stata identificata attraverso la lettura degli inclinometri, non essendo univocamente distinguibile da un punto di vista stratigrafico. Diversi inclinometri mostrano una chiara superficie di scorrimento coincidente con il contatto tra l'argilla grigia (B) e il substrato (A), il che porta a dedurre che la superficie di scorrimento basale (SS) sia situata proprio lungo questo contatto.

Diversi inclinometri riportano movimenti anche all'interno del corpo di frana principale, correlabili alla presenza di superfici di scorrimento secondarie e legate alla storia deformativa che ha subito la frana di Gaggio Montano nel tempo. La frana è stata certamente soggetta a riattivazioni minori che si sono sovrapposte al corpo di frana primario, producendo superfici di scorrimento residue secondarie meno profonde all'interno del corpo di frana. Tali superfici sono però difficili da identificare e nelle sezioni sono state ricostruite solo quelle più evidenti.

Nelle sezioni sono stati inseriti anche i livelli di falda misurati nel tempo e descritti in precedenza. La falda attualmente si trova ad una profondità leggermente inferiore o simile rispetto alle misurazioni degli anni '90 e dei primi anni 2000. Al momento, la tavola d'acqua si trova ad una profondità media lungo tutto il versante di circa 3 metri dal piano campagna, ed è soggetta a variazioni stagionali variabili da alcuni decimetri a diversi metri a seconda delle zone.

## 4 TASK B) RISPOSTA SISMICA LOCALE

### 4.1 Introduzione

L'analisi di risposta sismica locale è stata effettuata con l'obiettivo di fornire una stima del moto sismico atteso alle profondità di interesse del corpo frana in relazione alle forzanti definite dai terremoti di progetto. Gli accelerogrammi così modellati saranno utilizzati per il calcolo degli spostamenti attesi mediante l'analisi dinamica di Newmark (capitolo 5).

Data la topografia del versante in frana e le geometrie dei principali corpi geologici (nonché sismostrati) da analizzare si è convenuto di procedere all'analisi di risposta sismica mediante modellazione numerica bidimensionale (2D). I risultati ottenuti sono stati poi confrontati con quelli derivati da una più semplice analisi numerica monodimensionale (1D)

In entrambi i casi, per i parametri di progetto si è fatto riferimento allo stato limite di salvaguardia della vita (SLV). I parametri sismici di base nell'ipotesi di vita nominale  $V_N = 50$  anni e coefficiente d'uso  $c_u = 1$  (vita di riferimento  $V_R = 50$  anni), ubicata su terreno di categoria sismica A, per il sito in esame sono riportati in Tab. 4.1.

$V_N = 50$ anni, $c_u = 1$				
Categoria sismica di sito A (base di partenza della modellazione 2D)				
<b>STATO LIMITE (orizzontale)</b>	$T_R$ [anni]	$a_g$ [g]	$F_o$	$T_C^*$ [s]
<b>SLV</b>	475	0.181	2.464	0.292

Tab. 4.1. Parametri di progetto ( $T_R$ , tempo di ritorno del terremoto caratteristico,  $a_g$  accelerazione sismica di base,  $F_o$  fattore di amplificazione dello spettro orizzontale,  $T_C^*$  periodo necessario per il calcolo dei punti angolosi degli spettri di risposta semplificati).

## 4.2 Analisi numerica bidimensionale (2D)

L'analisi 2D è stata effettuata in corrispondenza della sezione A che percorre l'intero versante lungo la massima pendenza, considerata rappresentativa dell'intero corpo di frana (vedi Modello geologico-tecnico). Al fine di ridurre l'effetto di bordo, nella modellazione numerica la sezione di terreno di interesse è stata estesa lateralmente a monte e a valle della sezione.

La modellazione numerica di risposta sismica locale prevede la definizione di due input:

- 1) Il modello geofisico del terreno, spinto a profondità tali da fornire una risposta alle frequenze di interesse dell'oggetto in esame.
- 2) Una settupla di terremoti "caratteristici" per lo stato limite SLV riferiti al bedrock sismico da impiegare come input nel modello.

### 4.2.1 Modello geofisico del terreno

Il modello geofisico del terreno è stato costruito sulla base dei risultati delle prove geofisiche di sismica in array ed a stazione singola di tipo H/V di nuova acquisizione presentate nel capitolo precedente, congiuntamente alle misure geofisiche e geotecniche pregresse effettuate lungo l'intero corpo di frana.

In Fig. 4.1 è mostrata un'immagine a contour riassuntiva dei dati di nuova acquisizione (immagine sopra). Le curve H/V sono state convertite dal dominio delle frequenze a quello delle profondità (Ibs-von Seht M. e Wohlenberg J., 1999), normalizzate ed infine interpolate per offrire una maggior chiarezza nell'interpretazione. I toni caldi di colore indicano il passaggio tra materiale di frana ed il bedrock argilloso alterato sottostante, individuando la superficie di scorrimento principale. La linea continua rossa sovrapposta al contour è la superficie di scorrimento principale presa dal modello geologico-tecnico. APA ed AVC rappresentano le formazioni argillose alla base del modello, il cui contatto è definito nel modello geologico-tecnico.

I sismostrati impiegati nel modello sono indicati in Fig. 4.1 (immagine sotto) ed i relativi parametri meccanici sono riassunti in Tab. 4.2. È stato introdotto uno strato superficiale di materiale di copertura dallo spessore variabile e con valori di  $V_S$  prossimi a 200 m/s meno rigido delle argille sottostanti che costituiscono il principale corpo di frana e alle quali è associata una  $V_S$  media di 340 m/s.

Alla profondità di circa 100-120 m dal p.c. è stato collocato un riflettore in accordo con la presenza ricorrente del massimo H/V centrato sulla frequenza di 1 Hz, che è stato associato al passaggio del bedrock argilloso alterato con  $V_S=560$  m/s a quello più rigido sottostante avente  $V_S$  prossima a 800 m/s e identificato come il bedrock sismico.

Di fatto la modellazione numerica di risposta sismica impone la scelta di una superficie (bedrock sismico) dalla quale viene propagato il moto di input in ingresso nel modello. Sono la profondità e il contrasto di impedenza tra questa superficie ed i riflettori soprastanti a condizionare i fenomeni di attenuazione/amplificazione del segnale alle rispettive frequenze fino in superficie.

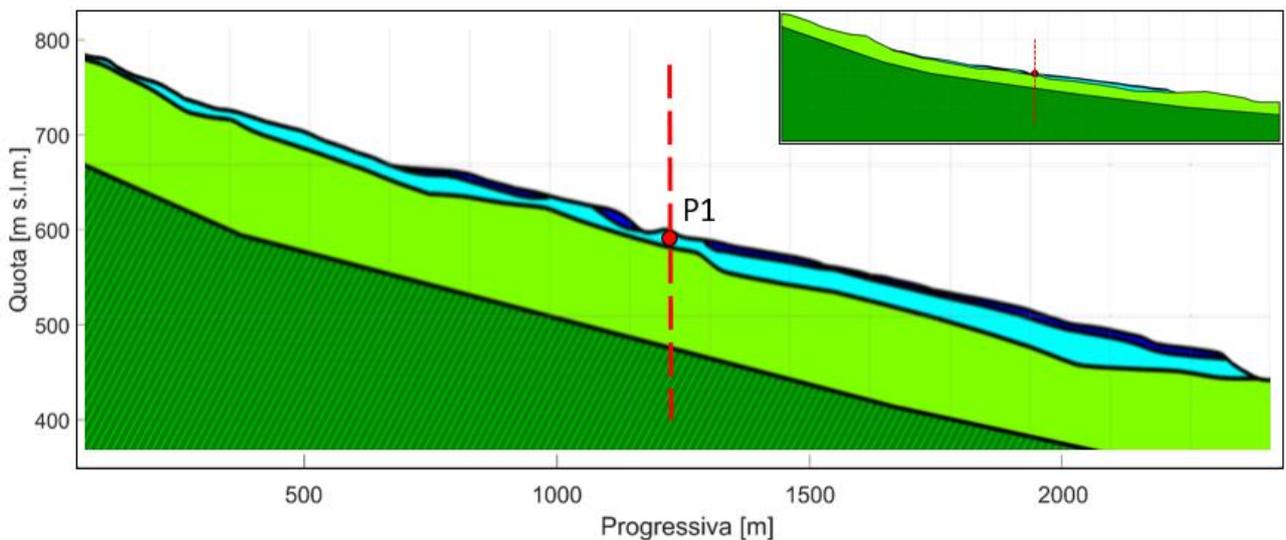
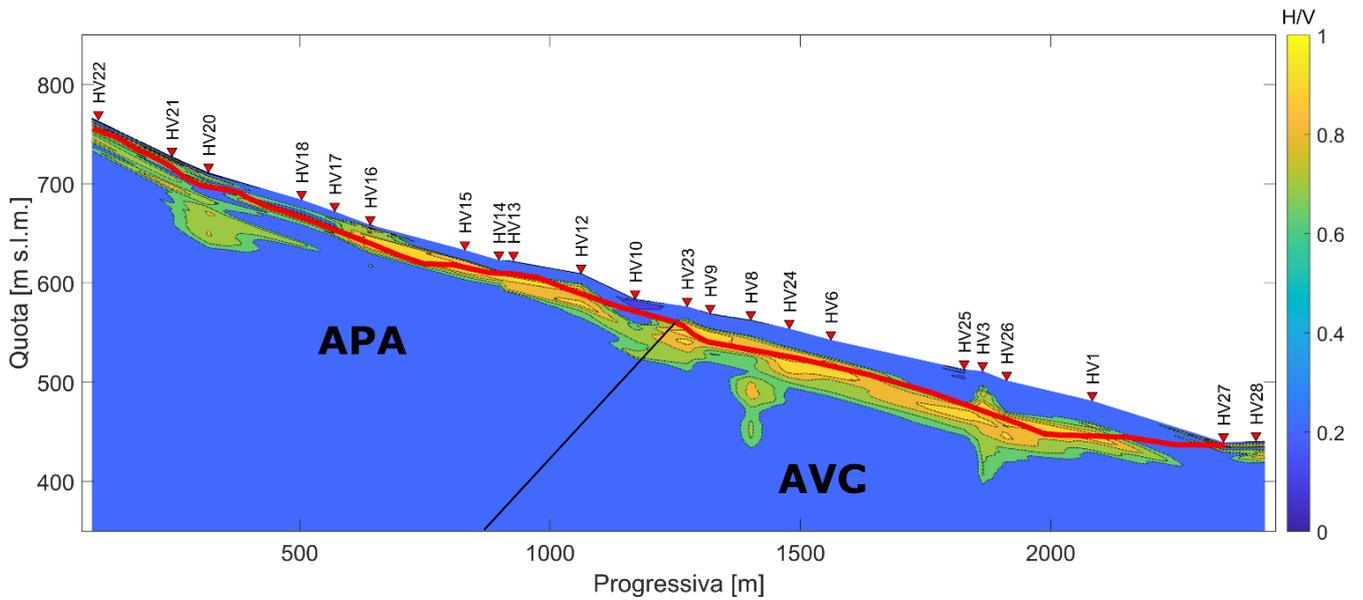


Fig. 4.1. Sopra) Modello sismico del terreno riassuntivo delle modellazioni congiunte tra prove in array ed a stazione singola di nuova acquisizione. Sotto) Unità sismo-stratigrafiche introdotte nel modello numerico: in blu il sismo-strato avente  $V_s$  circa 200 m/s ascrivibile a terreni di copertura rimaneggiati; in ciano il sismo-strato con  $V_s = 340$  m/s; in verde chiaro il sismo-strato con  $V_s = 560$  m/s. Il bedrock sismico è posto a circa -110 m da p.c (verde con sovrassegno rigato). I parametri meccanici impiegati nella modellazione sono riportati in Tab. 4.2. Il punto P1, posto all' interno del corpo di frana, è il punto di controllo per il quale sono stati estratti i terremoti di output della modellazione. Lungo la linea rossa in tratteggio è stata condotta una modellazione 1D di confronto mediante software STRATA. Esagerazione verticale di 2:1.

Nella modellazione di risposta sismica 2D i materiali possono essere modellati con comportamento di tipo elastico lineare (generalmente nel caso di rocce compatte) o non lineare tramite curve di variazione dello smorzamento e del modulo di taglio in funzione della deformazione. Tali curve, quando non definite tramite prove di laboratorio o in sito, sono necessariamente prese come valori medi dalla letteratura, per tipologie di terreno simili.

I sismostrati inseriti all'interno del modello FEM sono stati quindi parametrizzati secondo dati di letteratura ed in accordo con relazione di microzonazione sismica di Gaggio Montano del 2014, come definito in Tab. 4.2 e Fig. 4.12.

Strato	Profondità max. (m)	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	$V_s$ (m/s)	$\nu$	Curve di decadimento
COPERTURE	11	1720	200	0.47	Vucetic & Dobry, PI=15
CORPO FRANA	35	1750	340	0.45	Vucetic & Dobry, PI=15
BEDROCK ALTERATO	120	1800	560	0.43	Argilliti (Garfagnana)
BEDROCK SISMICO	□	2000	800	0.42	Elastico ( $G/G_0=1$ )

Tab. 4.2. Caratteristiche meccaniche associate ai sismostrati impiegati nella modellazione numerica di risposta sismica locale.

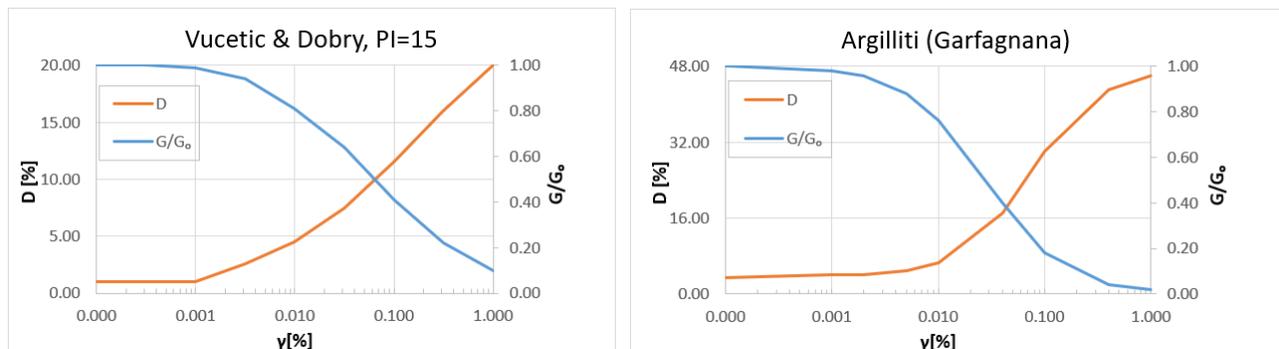


Fig. 4.1. Curve di decadimento scelte per i sismostrati di Tab. 4.2. In blu i decadimenti del modulo di taglio  $G/G_0$  ed in arancione l'incremento percentuale dello smorzamento  $D$  all'aumentare delle deformazioni di taglio.

## 4.2.2 Accelerogrammi di input

Facendo riferimento allo stato limite SLV ( $T_r= 475$  anni) sono stati selezionati:

- 1) 7 accelerogrammi orizzontali di eventi sismici forniti da RER EUCENTRE in accordo con il DGR 476/2021, spettrocompatibili con gli spettri di risposta semplificati su sito in roccia (categoria di suolo A, Fig. 4.2) e già scalati per il nodo della griglia INGV più vicino al comune di Gaggio Montano (TR475\_ID18056). Per una maggior precisione, questi ultimi sono stati nuovamente scalati per il valore di  $PGA0 = 0.181g$  previsto per il sito in esame. Gli accelerogrammi selezionati sono mostrati in Fig. 4.3a e Tab. 4.3.
- 2) 7 accelerogrammi orizzontali di eventi sismici (estratti mediante piattaforma REXEL da database europei) spettrocompatibili con lo spettro di risposta semplificato previsto per il sito in esame su roccia (categoria di suolo A, Fig. 4.2) secondo NTC (2018). Questi accelerogrammi sono stati successivamente scalati secondo il valore di  $PGA0 = 0.181g$  previsto per il sito in esame. Gli accelerogrammi selezionati sono mostrati in Fig. 4.3b, Tab. 4.4.

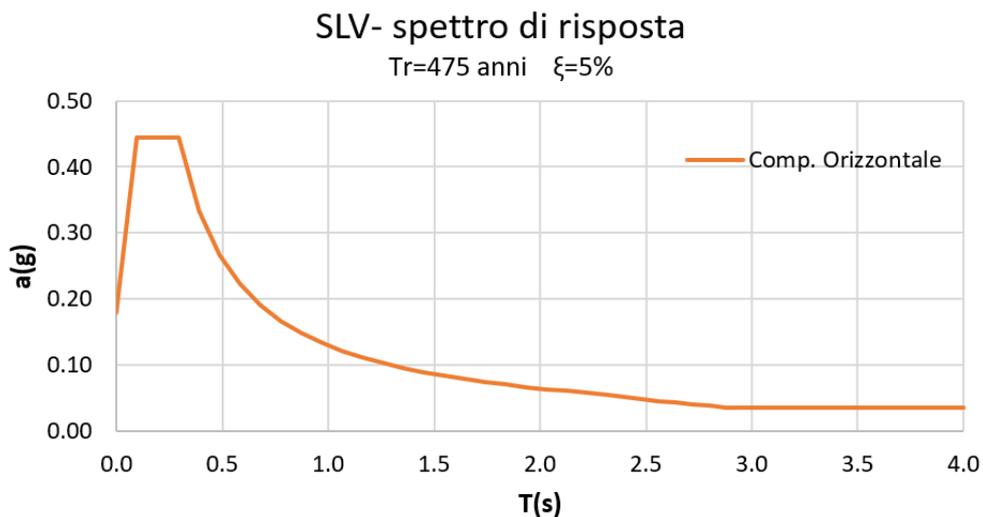


Fig. 4.2. Spettro di risposta orizzontale semplificato per il sito in esame su suolo di categoria A, per lo stato limite SLV ( $T_r=475$  anni).

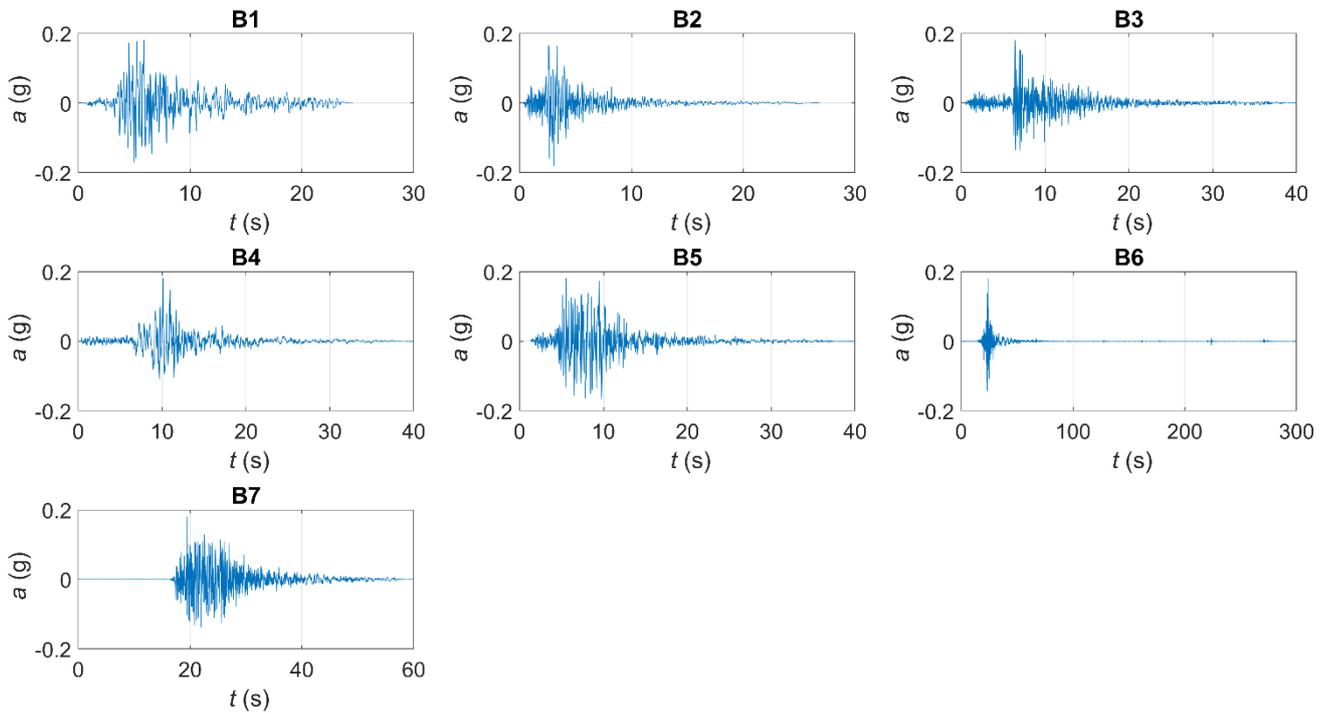
Accelerogramma	ID Rete	Dati Stazione ed evento	$M_W$
B1	ESM	EU.HRZ..HNE.D.19790524.172317.C.ACC.ASC	6.2
B2	NGA	RSN146_COYOTELK_G01320.AT2	5.7
B3	NGA	RSN703_WHITTIER.A_A-VAS000.AT2	6
B4	NGA	RSN804_LOMAP_SSF205.AT2	6.9
B5	NGA	RSN1091_NORTHR_VAS090.AT2	6.7
B6	KiKnet	SMNH100010061330.EW2	6.6
B7	ESM	SLO..HGE.D.20161026.191806.C.ACC.ASC	5.9

Tab. 4.3. Lista degli eventi estratti da RER EUCENTRE, selezionati considerando un tempo di ritorno di 475 anni (stato limite SLV), con l'indicazione delle stazioni sismiche da cui sono stati registrati.

Accel.	ID terremoto	ID stazione	Località dell'evento	Data	$M_W$
C1	175	ST143	Lazio Abruzzo	07/05/1984	5.9
C2	2309	ST539	Bingol	01/05/2003	6.3
C3	2142	ST2483	South Iceland (aftershock)	21/06/2000	6.4
C4	1338	ST2487	Mt. Vatnafjoll	25/05/1987	6.0
C5	34	ST20	Friuli	06/05/1976	6.5
C6	286	ST222	Umbria Marche	26/09/1997	6
C7	2142	ST2557	South Iceland (aftershock)	21/06/2000	6.4

Tab. 4.4. Lista degli eventi estratti mediante piattaforma Rexel, selezionati considerando un tempo di ritorno di 475 anni (stato limite SLV), comprensivi dell'indicazione delle stazioni sismiche che li hanno registrati.

**a) Terremoti estratti da RER EUCENTRE in accordo con DGR 476/2021 (SLV, Tr 475anni)**



**b) Terremoti estratti da piattaforma Rexel secondo NTC 2018 (SLV, Tr 475anni)**

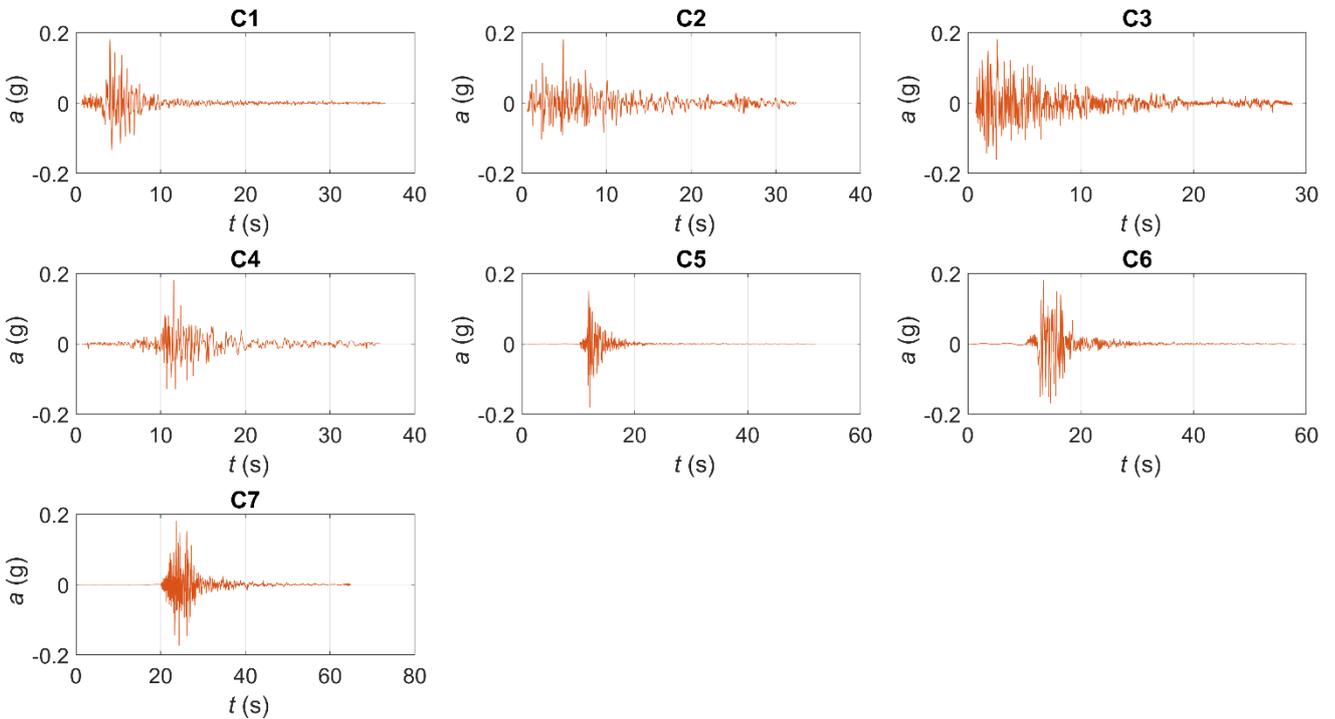


Fig. 4.3. Accelerogrammi di ingresso nella modellazione di risposta sismica scalati al valore di  $PGA_0$  0.181 g per lo SLV orizzontale: a) forniti da RER EUCENTRE secondo [la DGR 475/20476/2021](#); b) estratti da Rexel su indicazione delle NTC.

### 4.2.3 Aspetti teorici generali

Le modellazioni di risposta sismica locale 2D sono state effettuate mediante il codice di calcolo LSR2D (Stacec, 2017). Il programma effettua un'analisi lineare-equivalente con il metodo agli elementi finiti (FEM), discretizzando il modello di terreno in una griglia di elementi di forma triangolare o quadrangolare secondo uno schema di masse, molle e smorzatori concentrati nei nodi.

Il calcolo degli output viene effettuato tramite il seguente sistema di equazioni:

$$M\ddot{u} + C\dot{u} + Ku = -M\ddot{u}_g$$

dove  $M$  è la matrice delle masse globale,  $C$  è la matrice di smorzamento globale,  $K$  è la matrice di rigidità globale,  $\ddot{u}$ ,  $\dot{u}$  e  $u$  sono rispettivamente i vettori di accelerazione, velocità e spostamento ai nodi della griglia e  $\ddot{u}_g$  è la storia temporale dell'input accelerometrico.

Tale equazione viene risolta per ciascun nodo della griglia tramite integrazione diretta nel dominio del tempo. Il moto sismico di input viene applicato simultaneamente a tutti i nodi della base sotto forma di onde S e/o onde P con direzione di propagazione verticale ed ha il significato fisico di un moto registrato su affioramento piano del basamento (*outcropping bedrock*).

Il substrato alla base del deposito può essere schematizzato come un mezzo rigido o come un mezzo deformabile con comportamento elastico lineare in modo da simulare il passaggio e lo scambio delle onde sismiche tra i due mezzi per effetto della rifrazione, con conseguente smorzamento dell'energia (Fig. 4.4). La condizione di bedrock trasmissivo viene simulata mediante l'utilizzo di smorzatori alla base del modello (Lysmer e Kuhlemeyer, 1969) che adattano le forze agenti nelle direzioni orizzontale e verticale in maniera proporzionale ai valori di  $V_S$  e  $V_P$  e di densità del bedrock (Fig. 4.4).

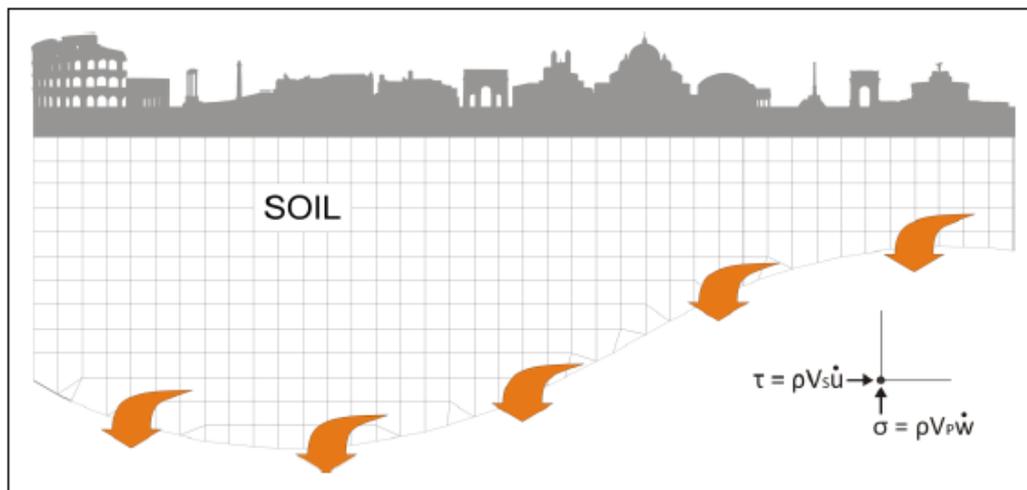


Fig. 4.4. Schematizzazione agli elementi finiti di un substrato di tipo trasmissivo (Mangifesta, 2020).

In un'analisi agli elementi finiti, la generazione della griglia di discretizzazione del modello è notoriamente un passo fondamentale, in quanto condiziona le frequenze nelle funzioni in uscita dal modello. L'utilizzo di una griglia a maglia troppo larga causa un filtraggio delle componenti di alta frequenza del segnale sismico di input. D'altra parte, quanto più la griglia è fitta tanto maggiori sono il tempo e la memoria richiesti per l'elaborazione.

Di norma si sceglie pertanto l'altezza  $h$  di ogni elemento della griglia almeno pari a un valore compreso tra un ottavo e un quinto della minima lunghezza d'onda di interesse:

$$h_{max} \leq \left( \frac{1}{8} \div \frac{1}{5} \right) \lambda_{min} \quad \text{con} \quad \lambda_{min} = \frac{V_S}{f_{max}}$$

dove  $h_{max}$  è l'altezza massima degli elementi della griglia,  $\lambda_{min}$  è la minima lunghezza d'onda modellabile,  $f_{max}$  è la frequenza massima di lavoro e  $V_S$  è la velocità delle onde di taglio del terreno. La griglia deve dunque essere dimensionata sulla base della massima frequenza di interesse per la modellazione.

L'estensione finita del modello 2D di terreno discretizzato tramite la griglia FEM comporta la presenza di confini laterali in corrispondenza dei quali l'energia si allontana dalla regione d'interesse verso il semispazio circostante. In corrispondenza di tali confini è necessario modellare l'aliquota di energia persa per radiazione; in caso contrario si generano delle onde riflesse che vengono introdotte artificialmente all'interno del modello. Un possibile accorgimento per evitare questo effetto è quello di spostare verso l'esterno i confini laterali del modello, allontanandoli dalla regione di interesse, fino a una distanza pari almeno alla larghezza della regione di studio o comunque tale da non alterare la risposta in output nella regione di interesse (es. Volpini et al., 2019).

Tuttavia, se lo smorzamento del terreno è basso, la distanza necessaria per il raggiungimento della condizione desiderata risulta molto elevata, producendo un notevole incremento dei costi computazionali. Un metodo alternativo è quello di "applicare" il moto di campo libero in modo tale che i boundary agiscano come un sistema in grado di assorbire le onde riflesse. Nel codice LSR2D questa soluzione è implementata mediante l'accoppiamento di smorzatori viscosi tra i nodi dei boundary laterali del modello e i nodi di opportune colonne di terreno monodimensionali (colonne free-field) in grado di descrivere il moto in condizioni di campo libero (Fig. 4.5).

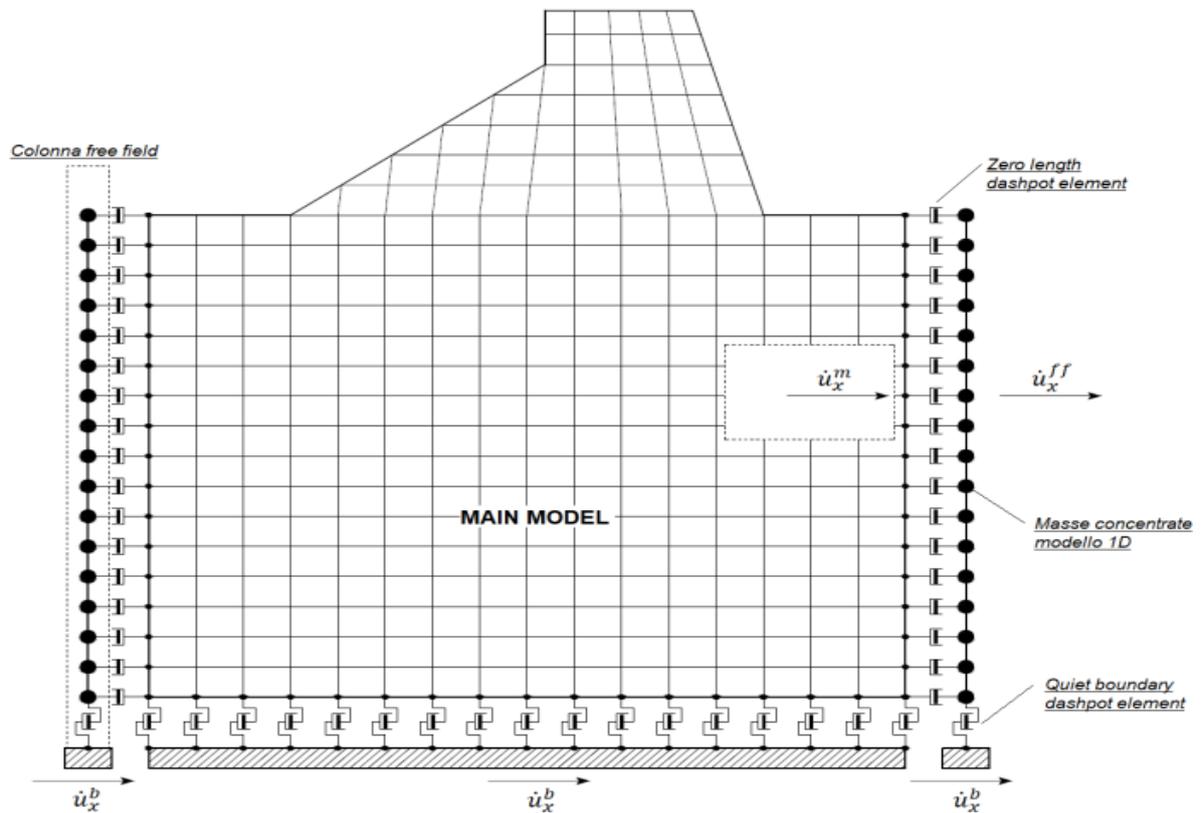


Fig. 4.5. Schematizzazione modello agli elementi finiti implementato nel codice di calcolo LSR2D (manuale utente Stacec srl).

La non linearità del terreno viene tenuta in conto attraverso l'esecuzione di analisi lineari equivalenti. Il modulo di taglio  $G$  e il rapporto di smorzamento  $D$  vengono fatti dipendere dal livello della deformazione tangenziale  $\gamma$  indotta dalle sollecitazioni sismiche. A partire dai valori iniziali dei parametri di rigidezza e smorzamento, con una prima analisi si determina, per ciascun elemento, un primo valore caratteristico (o effettivo) della deformazione tangenziale  $\gamma_{eff}$ .

Dalle curve  $G/G_0 - \gamma$  e  $D - \gamma$  (Fig. 4.6) si determinano poi nuovi valori dei parametri dinamici, le matrici di rigidezza e smorzamento di ciascun elemento vengono aggiornate, e si esegue una nuova analisi determinando un nuovo valore caratteristico. Il procedimento viene ripetuto fino a quando lo scarto percentuale tra i valori di  $G$ ,  $D$  e  $\gamma_{eff}$  è ritenuto accettabile. In genere 5-6 iterazioni sono sufficienti per contenere gli scarti in poche unità percentuali, anche nel caso di comportamenti marcatamente non lineari.

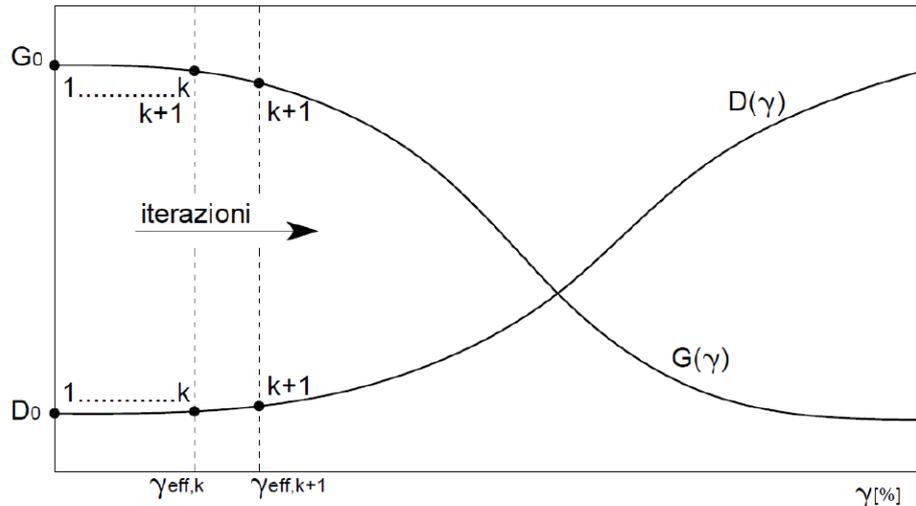


Fig. 4.6. Schema iterativo utilizzato nell'analisi lineare equivalente, sulla base delle curve  $G/G_0 - \gamma$  e  $D - \gamma$  che descrivono la non linearità del materiale (immagine tratta da LSR2D Manuale utente, Stacec s.r.l.).

Le proprietà dissipative del terreno sono modellate attraverso la matrice di dissipazione  $C$  costruita assemblando le matrici di dissipazione dei singoli elementi calcolate secondo la formulazione di Rayleigh (Rayleigh e Lindsay, 1945):

$$C_i = \alpha_{Ri}M_i + \beta_{Ri}K_i$$

dove  $\alpha_{Ri}$  e  $\beta_{Ri}$  sono i coefficienti di Rayleigh e  $M_i$ ,  $C_i$  e  $K_i$  le matrici di massa, smorzamento e rigidità locali di ogni singolo elemento della griglia.

L'adozione di una formulazione alla Rayleigh comporta uno smorzamento dipendente dalla frequenza.

#### 4.2.4 Discretizzazione della sezione di analisi

Il modello sismo-stratigrafico di terreno (Fig. 4.11) è stato discretizzato con una griglia costituita da maglie triangolari aventi lato 8 m tenendo conto delle frequenze di interesse e dei tempi di calcolo del modello stesso. Considerando che la  $V_S$  stimata per il corpo di frana è prossima a 340 m/s, il passo della griglia scelto permette di modellare frequenze inferiori a 10 Hz.

Alla base del modello è stata scelta una condizione di bedrock di tipo trasmissivo per tener conto della perdita di energia per radiazione. Il modello è stato esteso lateralmente da entrambi i lati rispetto all'area di interesse in modo da limitare l'influenza delle condizioni al contorno laterali. Inoltre, per simulare il moto in condizioni di campo libero, i boundary laterali del modello sono stati accoppiati mediante smorzatori viscosi a colonne di terreno monodimensionali (colonne free-field) (Fig. 4.7).

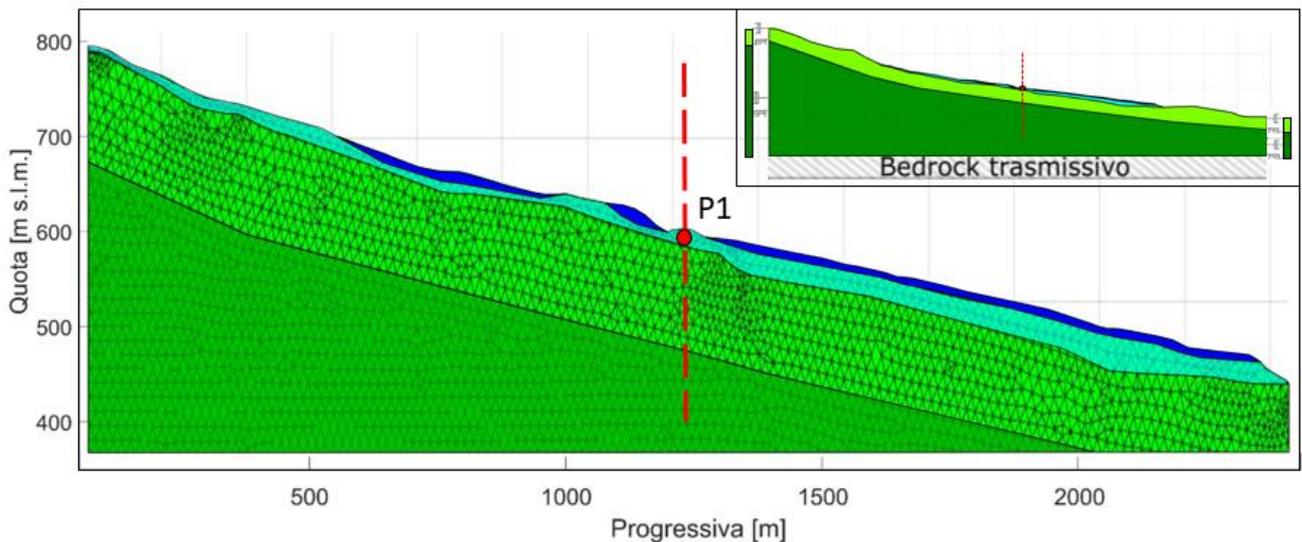


Fig. 4.7. Discretizzazione del modello di terreno e condizioni al contorno laterali e al bedrock. In primo piano uno zoom sull' area interessata dal corpo frana in cui è mostrata la mesh triangolare usata nel FEM. In trasparenza sono indicati i sismo-strati aventi caratteristiche meccaniche differenti. Il punto P1, posto all' interno del corpo di frana, è il punto di controllo per il quale sono stati estratti i terremoti di output della modellazione. Lungo la linea rossa in tratteggio è stata condotta una modellazione 1D di confronto mediante software STRATA. Esagerazione verticale di 2:1.

#### 4.2.5 Risultati

Il software SLOPE 2021 utilizzato per l'analisi di stabilità di Newmark (vedi capitolo 5) richiede in ingresso un unico accelerogramma per evento, che viene applicato al baricentro di tutti i conci in cui è stato suddiviso il corpo di frana. Per questa ragione è necessario individuare un unico punto di controllo per tutto il corpo frana dal quale estrarre le serie temporali in uscita rappresentative del moto orizzontale alla profondità del baricentro dei conci.

La scelta del punto rappresentativo è stata effettuata confrontando tra loro gli spettri di risposta ottenuti in diversi punti del versante lungo la sezione di analisi. Come descritto di seguito, lungo il versante non si hanno variazioni rilevanti di risposta sismica, per cui si è deciso di prendere come riferimento il punto centrale del versante. Tale punto, indicato come P1 in Fig. 4.8, è posizionato a - 8 metri dal piano campagna alla progressiva 1200 metri.

Gli output della modellazione numerica sono forniti di seguito in termini di:

- 1) Andamento della PGA media e dell'intensità di Housner (espresso come fattore di amplificazione  $FH=SI/SI0$ ) con la progressiva. I punti di controllo appartengono al corpo di frana (sono collocati circa alla metà del sismostrato "corpo frana" con  $V_S$  340 m/s di Fig. 4.1).
- 2) Contour map della distribuzione della PGA media rispettivamente per le due settuple di terremoti impiegati;
- 3) Accelerogrammi di output nel punto di controllo P1 per le due settuple di terremoti impiegati;

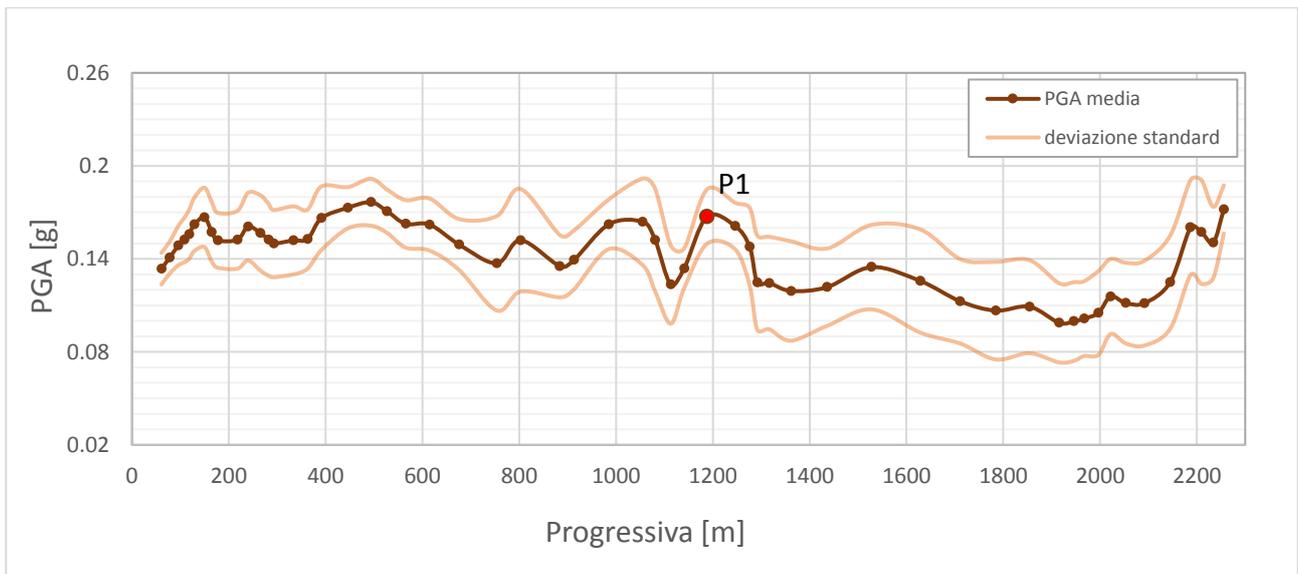
### 1) PGA media ed intensità di Housner

In Fig. 4.8 sono mostrati i valori medi di PGA e del fattore di amplificazione dell'intensità di Housner nei punti di controllo passanti per la metà del sismostrato "corpo frana" avente  $V_S$  340 m/s.

Come si può notare, l'accelerazione di picco risulta deamplificata rispetto a quella dei segnali introdotti nel modello scalati a 0.181g. Fino alla progressiva 1200 m i valori di PGA sono di poco superiori a quelli calcolati nella seconda metà della progressiva, ma sempre inferiori al valore di  $PGA_0$ .

L'intensità di Housner rappresenta l'intensità spettrale calcolata per lo spettro risposta in pseudo-velocità. Questo parametro di severità del moto sismico correlato al danno potenziale atteso è stato calcolato per i due intervalli di periodo 0.1-0.5 e 0.5-1.5 secondi.

Per alte frequenze (0.1-0.5 secondi) l'intensità di Housner risulta deamplificata nella seconda metà della progressiva, mentre per gli intervalli di frequenza più bassi (0.5-1.5 secondi) si ha amplificazione ed il fattore è pressoché costante lungo tutta la progressiva.



*Fig. 4.8. Andamento della PGA media con la progressiva (dai 7 terremoti estratti da Rexel). I punti di controllo appartengono al corpo di frana (sono collocati circa alla metà del sismostrato "corpo frana" con  $V_S$  340 m/s di Fig. 4.1). E' indicato il punto di controllo P1 per il quale sono stati estratti i segnali di output.*

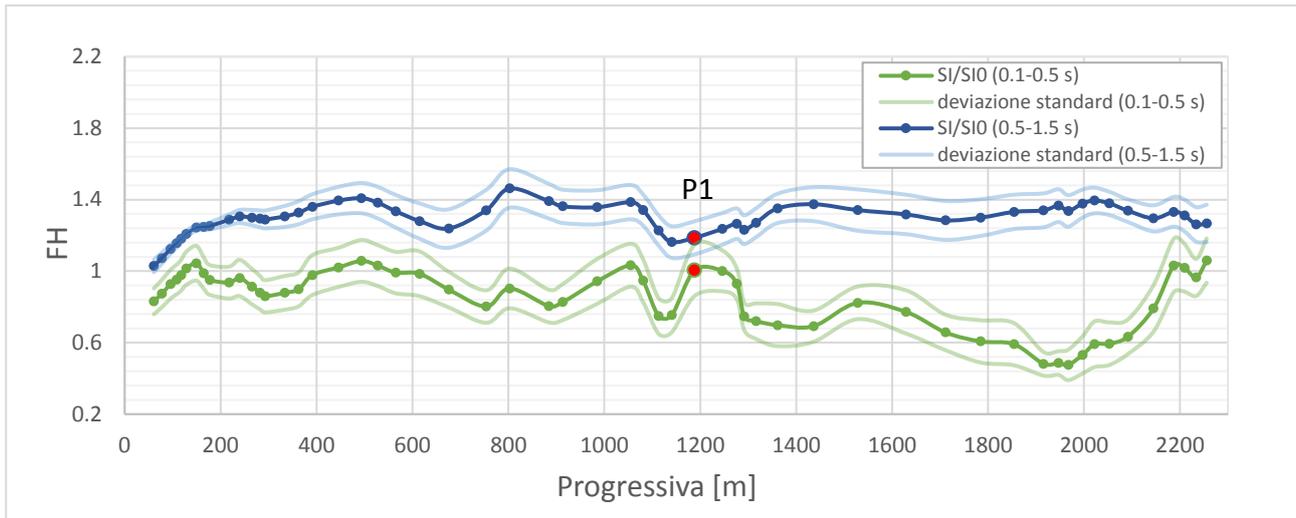


Fig. 4.9. Andamento del Fattore di amplificazione dell'intensità di Housner (FH) con la progressiva per gli intervalli frequenza indicati (FH medio ottenuto con i 7 terremoti estratti da Rexel). I punti di controllo appartengono al corpo di frana (sono collocati circa alla metà del sismostrato "corpo frana" con  $V_S$  340 m/s di Fig. 4.1). E' indicato il punto di controllo P1 per il quale sono stati estratti i segnali di output.

## 2) Contour map della PGA media

In Fig. 4.10 sono riportati in scala di colore i valori medi di PGA modellati per le due settuple di terremoti. All'interno del corpo di frana le accelerazioni di picco orizzontali sono più basse della  $PGA_0$  e tendono ad aumentare al passaggio con il sismostrato più superficiale, per diventare massime al piano campagna. Sono presenti effetti locali di amplificazione topografica a metà della progressiva e al piede della frana.

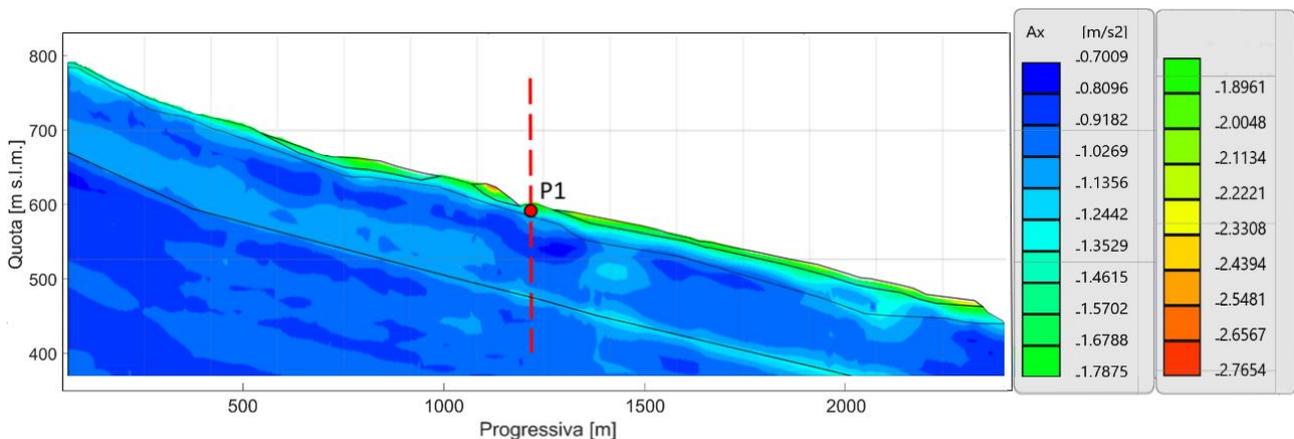


Fig. 4.10. Contour map della PGA media per la settuple di terremoti forniti dalla Regione Emilia-Romagna, DGR 476/2021. Il punto P1 individua il punto di controllo dal quale sono stati estratti i terremoti di output della modellazione. La linea rossa in tratteggio indica la verticale di controllo lungo la quale è stata condotta una modellazione 1D di confronto mediante software STRATA (Esagerazione verticale di 2:1).

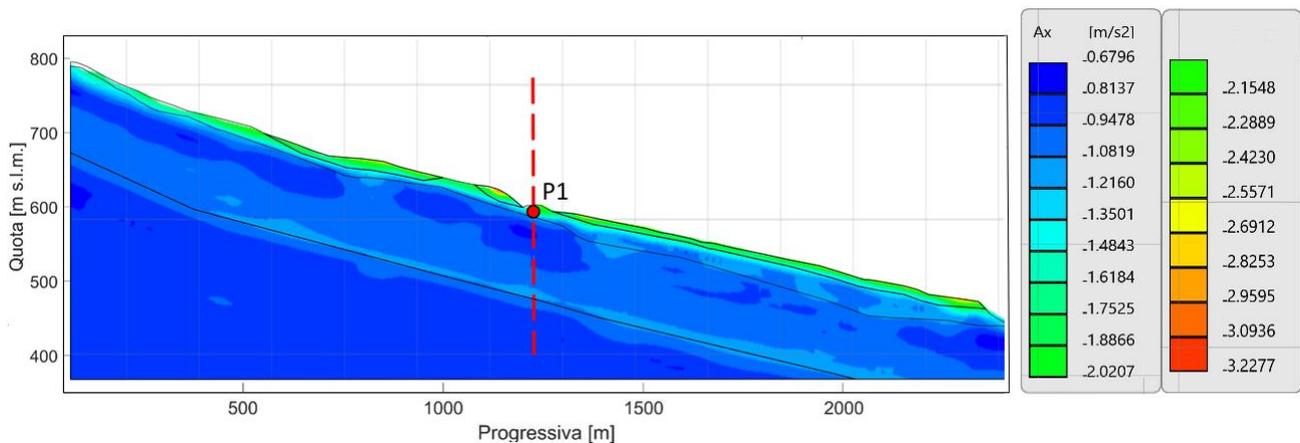


Fig. 4.11. Contour map della PGA media per la settupla di terremoti estratti dalla piattaforma REXEL. Il punto P1 individua il punto di controllo dal quale sono stati estratti i terremoti di output della modellazione. La linea rossa in tratteggio indica la verticale di controllo lungo la quale è stata condotta una modellazione 1D di confronto mediante software STRATA (Esagerazione verticale di 2:1).

I risultati ottenuti con le due differenti settuple di terremoti (REXEL e RER DGR 476/2021) sono praticamente identici e non mostrano differenze apprezzabili in termini di PGA media.

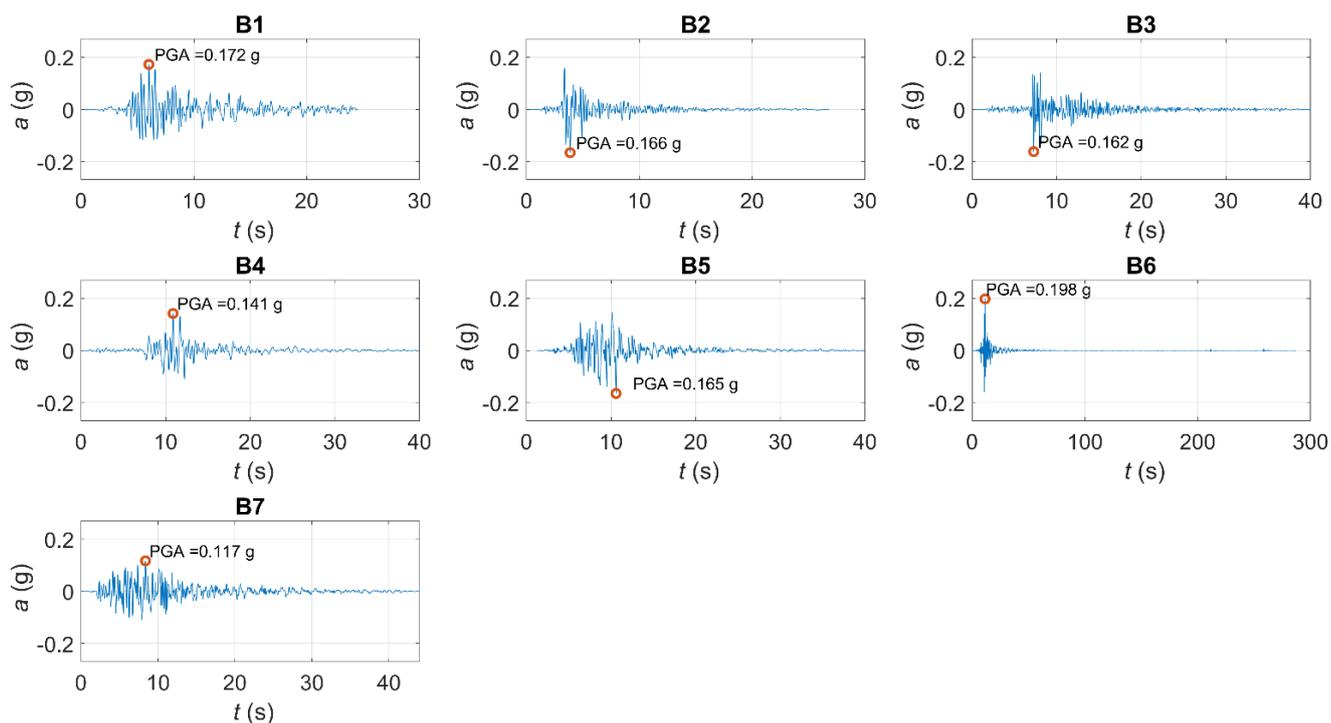
### 3) Accelerogrammi di output al punto di controllo P1

L'ultima serie di output è rappresentata dagli accelerogrammi nel punto di controllo. La Fig 4.12a mostra gli accelerogrammi ottenuti per la settupla di terremoti REXEL, mentre la Fig 4.12b quelli ottenuti dalla settupla di terremoti RER DGR 476/2021.

Gli accelerogrammi calcolati nel punto di controllo mostrano valori piuttosto differenti di accelerazione di picco. Tali differenze dipendono in primo luogo dal diverso input sismico alla base del modello e solo in misura minore dalla differente propagazione all'interno del versante. Anche la durata della fase intensa del moto è notevolmente diversa nei vari accelerogrammi.

Gli effetti di queste differenze in termini di stabilità del versante sono descritti nel capitolo seguente, dove gli accelerogrammi nel punto di controllo saranno utilizzati per determinare gli spostamenti del corpo di frana col metodo di Newmark.

a) Terremoti RER EUCENTRE (DGR 476/2021)



b) Terremoti REXEL (NTC 2018)

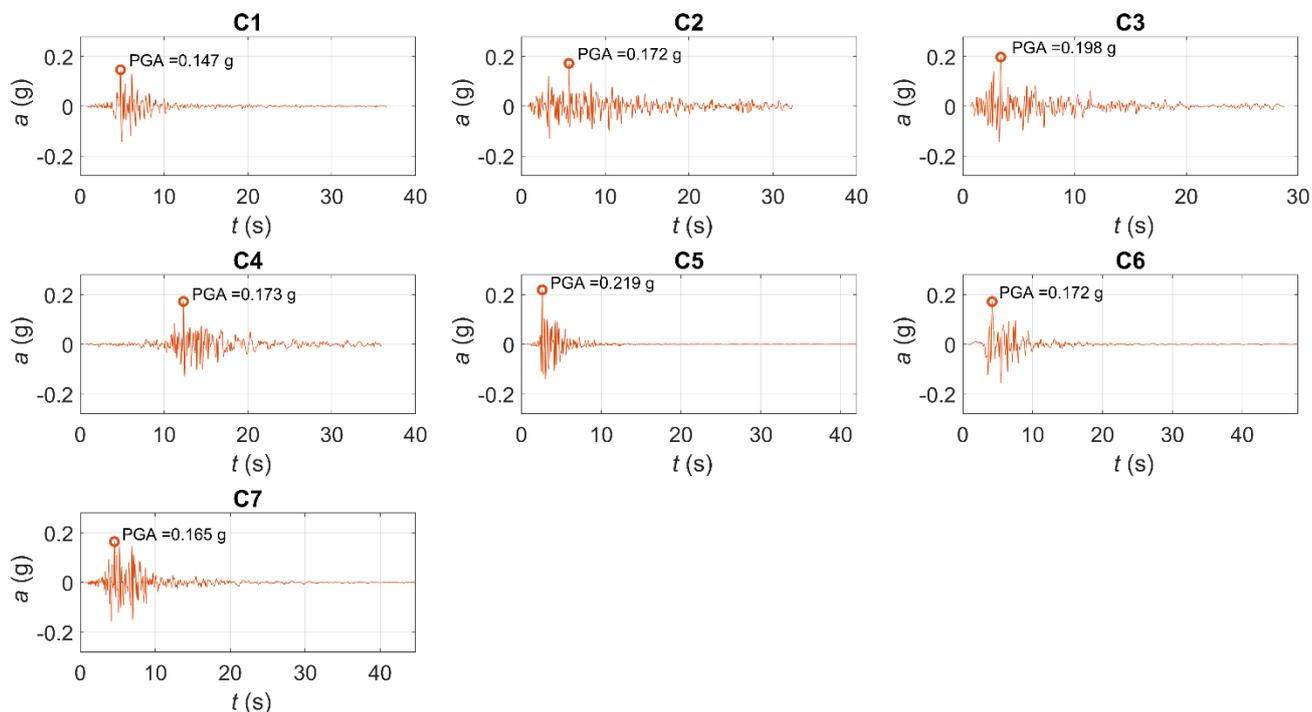
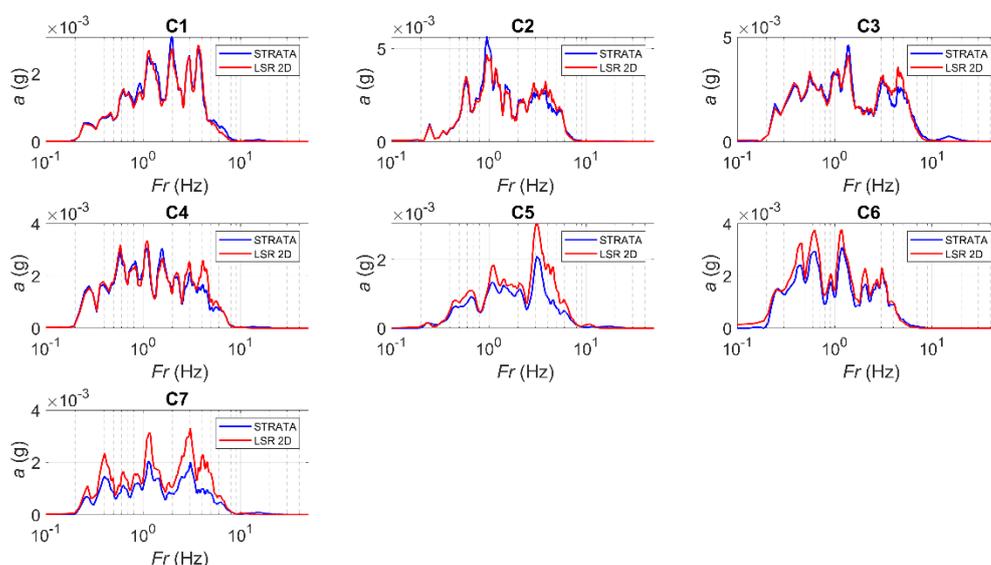


Fig. 4.12. Accelerogrammi di output al punto di controllo P1 e rispettivi valori di PGA modellati con il software LSR2D a partire dai terremoti di input: a) forniti da RER EUCENTRE secondo la DGR 476/2021; b) estratti da Rexel su indicazione delle NTC.

### 4.3 Confronto con il modello di risposta sismica 1D

Le analisi 2D hanno dimostrato che la risposta sismica del versante alla profondità di interesse non mostra marcate variazioni laterali. A titolo di confronto è stata quindi effettuata una modellazione monodimensionale con il software STRATA. Il modello 1D è stato parametrizzato con gli stessi dati di Tab. 4.2 considerando gli spessori dei sismostrati riscontrati lungo la verticale modellata (Fig. 4.7). I risultati sono riportati in Fig. 4.13 e 4.14.

#### a) Terremoti RER EUCENTRE (DGR 476/2021)



#### b) Terremoti REXEL (NTC 2018)

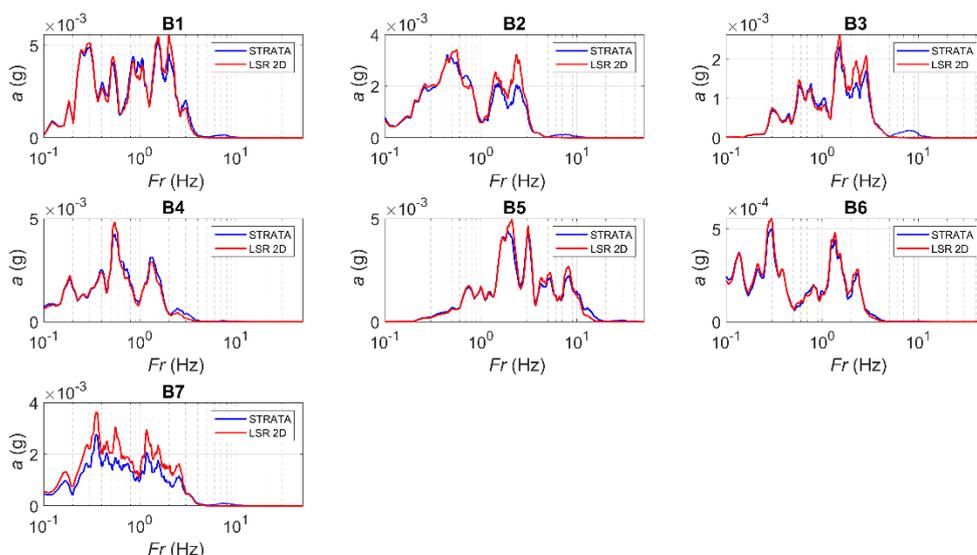
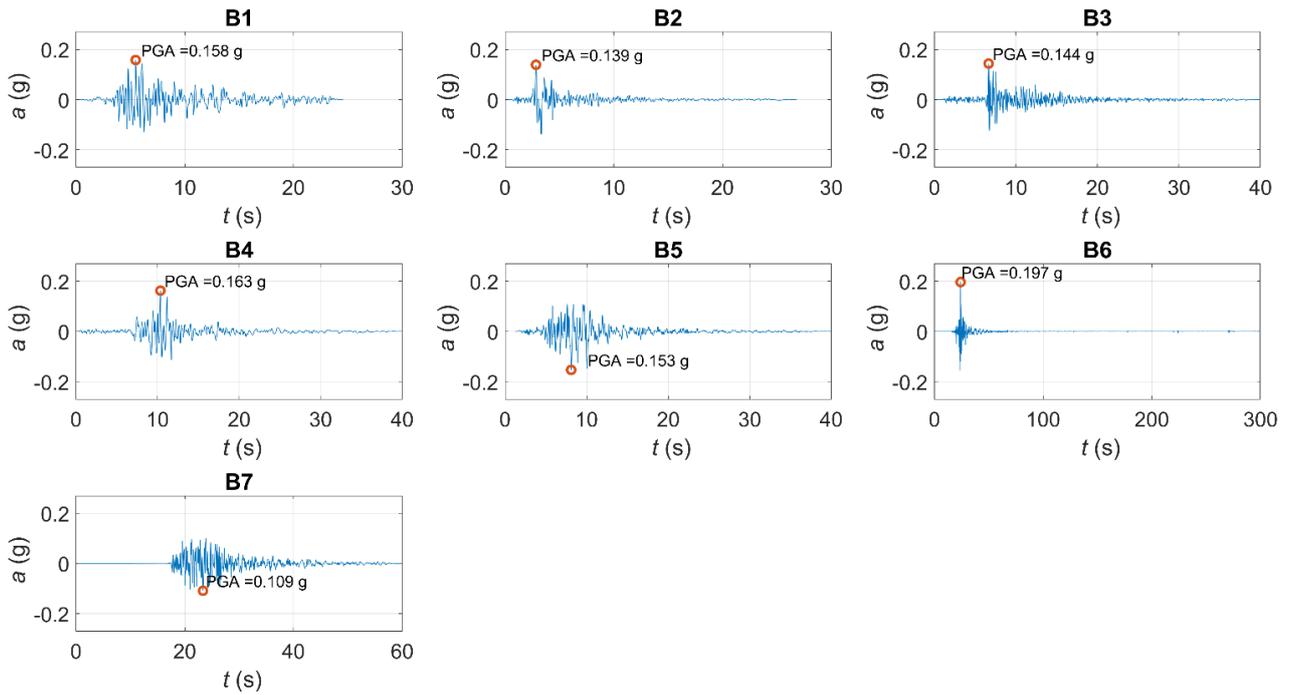


Fig. 4.13. Confronto tra gli spettogrammi ottenuti dalle modellazioni 1D STRATA (in blu) e dalle modellazioni 2D LSR nel punto di controllo P1 (in rosso) a partire dai terremoti di input: a) forniti da RER EUCENTRE secondo la DGR 476/2021; b) estratti da Rexel su indicazione delle NTC.

a) Terremoti RER EUCENTRE (DGR 476/2021)



b) Terremoti REXEL (NTC 2018)

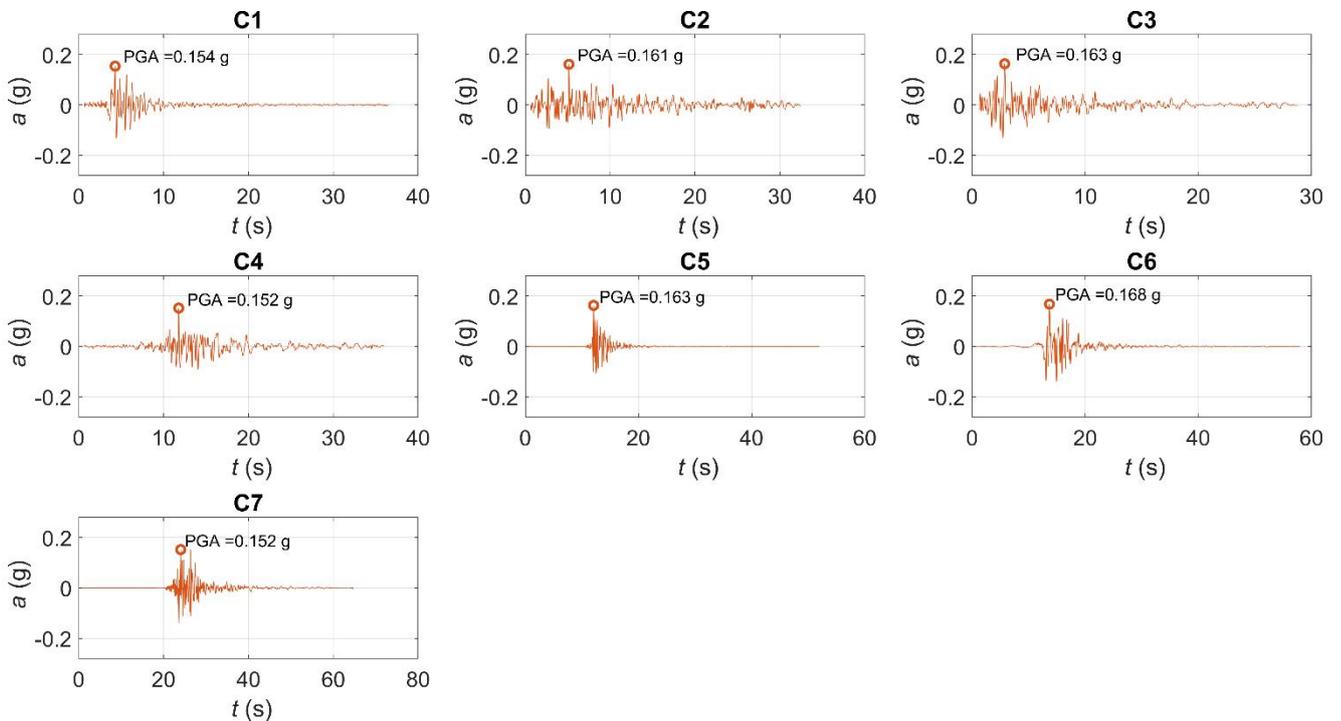


Fig. 4.14 Accelerogrammi di output al punto di controllo P1 con i rispettivi valori di PGA modellati con software STRATA a partire dai terremoti di input: a) forniti da RER EUCENTRE secondo la DGR 476/2021; b) estratti da Rexel su indicazione delle NTC.

La Fig. 4.13 mostra gli spettrogrammi di output dell'analisi 1D (linee blu) e li confronta con quelli ottenuti dalle modellazioni 2D nel punto di controllo P1 (linee rosse). Come si può notare, le differenze sono minime. Nel caso di Gaggio Montano gli effetti del versante e delle variazioni stratigrafiche laterali sono quindi trascurabili e le modellazioni 1D e 2D forniscono praticamente gli stessi risultati. Questo è dovuto all'assetto regolare del versante e alla mancanza di brusche variazioni laterali del corpo di frana e delle caratteristiche dei materiali. E' chiaro che non si tratta di un risultato generalizzabile ad altre condizioni in cui la variabilità topografica o geologica è maggiore.

In Fig. 4.14 sono infine riportati gli accelerogrammi di output modellati con condizione al contorno *within* riferendosi ad una quota posta a -8 m dal piano campagna (in corrispondenza del punto di controllo P1). Questi accelerogrammi saranno utilizzati nelle analisi di stabilità dinamiche descritte nel prossimo capitolo, al fine di verificare se anche piccole differenze nella sollecitazione sismica possono avere un effetto in termini di spostamenti sismo-indotti.

## 5 TASK C) ANALISI DI STABILITÀ

### 5.1 Metodologia

#### 5.1.1 Metodo di calcolo

Le linee guida del DGR 476/2021 prevedono che “*nei pendii coesivi a comportamento duttile (indice di consistenza  $I_c < 0.5$ , grado di sovraconsolidazione  $OCR < 5$ , indice di plasticità  $IP > 26$ ) devono essere applicati anche metodi dinamici semplificati, effettuando stime approssimate degli spostamenti mediante integrazione diretta dell’equazione di moto a partire da una storia temporale di accelerazioni o ricorrendo a relazioni empiriche di letteratura*”.

Gaggio Montano ricade in questo caso: l’indice di consistenza del materiale in frana è inferiore a 0.5, il terreno può essere considerato normalconsolidato a causa del disturbo e l’indice di plasticità è dell’ordine del 20-25%. È quindi necessario determinare lo spostamento indotto da un sisma di forte intensità sul corpo di frana. Questa stima è necessaria per la microzonazione sismica di 3° livello del versante e ne costituisce di fatto l’elemento principale.

In letteratura esistono numerosi metodi per il calcolo degli spostamenti sismo-indotti. Si va da semplici relazioni empiriche ad analisi dinamiche semplificate, fino a modellazioni numeriche accoppiate. In linea con gli scopi della Convenzione, le analisi sono state condotte col metodo di Newmark (Newmark, 1965) che è un metodo semplice, rigoroso ed ampiamente diffuso nella pratica professionale.

L’analisi di Newmark è basata sul concetto di blocco su piano inclinato (Fig. 5.1). Durante un terremoto, le forze inerziali (massa x accelerazione) possono causare lo scivolamento del blocco lungo il piano producendo deformazioni permanenti. L’accelerazione a cui avviene il movimento è detta accelerazione sismica critica ( $a_c$ ) e corrisponde alla sollecitazione che porta ad 1 il fattore di sicurezza del versante. Tutte le volte che l’accelerazione sismica  $a$  supera quella critica, il fattore di sicurezza scende sotto l’unità ( $F < 1$ ) ed il blocco si muove. Integrando due volte i valori di  $a > a_c$  si ottengono gli spostamenti indotti dal sisma (Fig. 5.1).

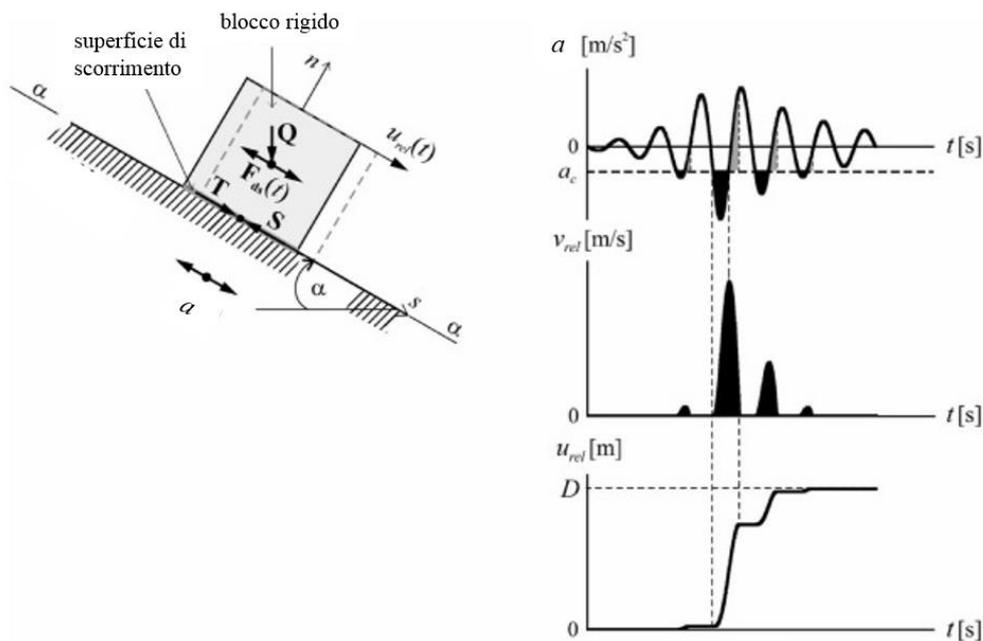


Fig. 5.1. Schema concettuale del metodo di Newmark per il calcolo degli spostamenti sismo-indotti

L'analisi di Newmark può essere implementata in vari modi a seconda del meccanismo di rottura del versante. Quello di Gaggio Montano è un caso molto comune. Sul versante è presente un corpo di frana in terra ben definito, caratterizzato da superficie di scorrimento netta lungo la quale si concentrano le deformazioni. La frana è in lento movimento, quindi è plausibile che il fattore di sicurezza statico sia vicino all'unità e che durante un sisma gli eventuali movimenti avverranno lungo la superficie esistente. In queste condizioni la stabilità statica e dinamica del versante può essere determinata combinando il metodo di Newmark con quello dell'equilibrio limite globale e risolvendo le equazioni di equilibrio lungo la superficie basale.

Per l'analisi sono stati utilizzati due software commerciali:

- Slope 2021(GeoStru)
- GeoStudio 2021 (GEOSLOPE International)

Slope è un software molto diffuso tra i professionisti. Il programma esegue un'analisi pseudo-statica all'equilibrio limite e determina l'accelerazione sismica critica ( $a_c$ ) che porta il fattore di sicurezza ad 1. Il modulo Qsim carica poi l'accelerogramma di progetto e calcola gli spostamenti sismo-indotti per tutti i periodi in cui l'accelerazione sismica è maggiore di quella critica ( $a > a_c$ ).

GeoStudio è simile ma combina un'analisi all'equilibrio limite con una modellazione numerica. La modellazione numerica viene effettuata per propagare l'input sismico (applicato alla base del modello) all'interno del versante e determinare l'accelerazione a quota frana. L'accelerogramma così calcolato viene poi utilizzato per determinare gli spostamenti col metodo di Newmark.

In sostanza, la vera differenza tra i due software è che l'input sismico di Slope è quello atteso alla profondità della frana, per cui deve già contenere eventuali effetti di amplificazione locale, mentre l'input sismico di GeoStudio è quello al bedrock e l'accelerazione a quota frana viene calcolata direttamente da una modellazione 2D simile a quella di LSR2d.

### 5.1.2 Sezione di analisi

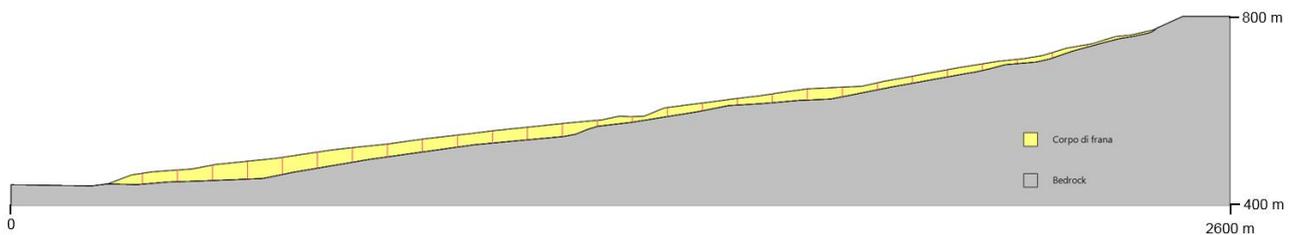
Le analisi di stabilità sono state effettuate sulla sezione centrale del corpo di frana (sezione A del modello geologico-tecnico). La sezione ha una lunghezza di circa 2500 m e va da quota 440 a 800 m slm.

Il versante è piuttosto regolare ma mostra una rottura di pendenza circa a metà (quota 600 m). È possibile che il corpo di frana sia diviso in (almeno) due parti e che questa rottura di pendenza segni proprio questo passaggio. I dati di monitoraggio inclinometrico non permettono però di confermare questa ipotesi ed anche le misure di interferometria satellitare (vedi capitolo seguente) non evidenziano con chiarezza settori a diverso grado di attività. Nelle analisi di stabilità il corpo di frana è stato quindi considerato come un elemento unico (Fig. 5.2).

La superficie di scorrimento è di tipo traslativo ed è posta ad una profondità progressivamente crescente da monte verso valle. Al di sopra di quota 600 m la frana ha infatti uno spessore mediamente compreso tra 10 e 20 m, mentre a valle lo spessore aumenta fino a superare i 30 m. La base della frana è stata introdotta nel modello all'equilibrio limite come polilinea e i calcoli sono stati eseguiti solo su questa superficie (superficie *freeform* in GeoStru e *fully specified* in GeoStudio).

I dati piezometrici (sez. 3.5) indicano che il corpo di frana è quasi completamente saturo. La falda si trova ad una profondità media di circa 3 m dal piano campagna e segue grossomodo la topografia. Nel modello è stata quindi ipotizzata una falda freatica posta in prossimità del piano campagna con una distribuzione idrostatica della pressione dei pori.

#### Sezione Slope



#### Sezione GeoStudio

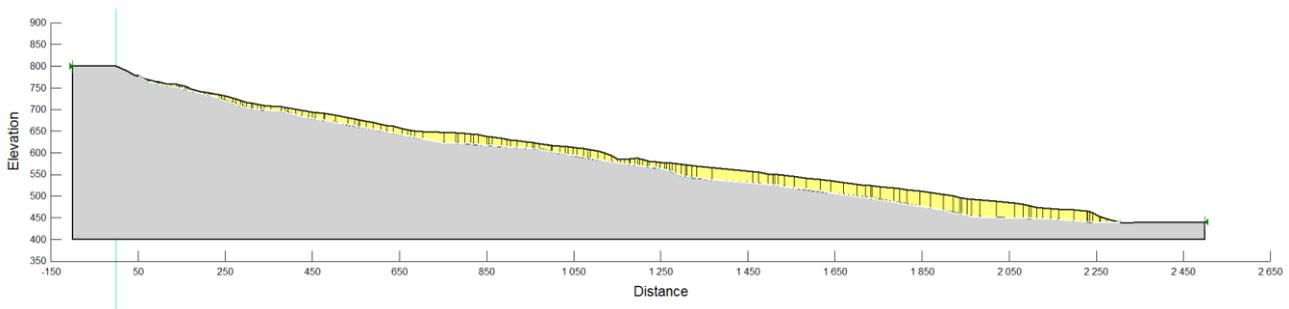


Fig. 5.2. Sezione di analisi inserita in Slope (sopra) e GeoStudio (sotto)

### 5.1.3 Condizioni di drenaggio

La corretta definizione delle condizioni di drenaggio (drenate o non drenate) è un punto fondamentale nelle analisi di stabilità di versante.

Dal punto di vista teorico, la rottura di un versante può avvenire in condizioni drenate o non drenate a seconda del tipo di materiale e delle condizioni di carico. Se il carico è rapido rispetto alla permeabilità del terreno, le sovrappressioni interstiziali che si generano durante la sollecitazione non hanno tempo di dissiparsi e la rottura avviene in condizioni non drenate. Se invece la permeabilità del terreno è elevata rispetto alla velocità del carico, le eventuali sovrappressioni interstiziali si dissipano rapidamente e la rottura avviene in condizioni drenate.

Nel caso di Gaggio Montano:

- il terreno in frana è di natura essenzialmente argillosa
- il materiale è saturo fino quasi al piano campagna
- la sollecitazione sismica è molto rapida rispetto alla permeabilità del materiale

L'analisi dinamica va quindi condotta in condizioni non drenate. Questo implica il calcolo in tensioni totali e l'utilizzo dei parametri di resistenza al taglio non drenata (coesione non drenata,  $c_u$ ). Il DGR 476/2021 raccomanda esplicitamente questo approccio per l'esecuzione di analisi dinamiche.

Un'analisi in condizioni drenate (cioè con sforzi efficaci e parametri di resistenza drenata  $c' - \phi'$ ) non sarebbe concettualmente corretta e porterebbe a risultati eccessivamente cautelativi. Il terreno in frana è infatti caratterizzato da valori molto bassi di resistenza drenata residua ( $c' \approx 0$ ,  $\phi' \approx 14^\circ - 15^\circ$ ) mentre a breve termine la resistenza drenata è piuttosto elevata ( $c_u > 100$  kPa).

Ovviamente il comportamento dinamico di un terreno naturale è molto complesso e talvolta anche la scelta delle condizioni di drenaggio è incerta. A Gaggio Montano, ad esempio, il materiale in frana è costituito da un limo argilloso destrutturato con abbondanti clasti, inclusi litici e frammenti di argilliti. Prevedere la risposta sismica di un materiale così eterogeneo è difficile, per cui non abbiamo la certezza che lungo la zona di taglio basale il drenaggio sia completamente impedito. Dobbiamo però affidarci alle conoscenze attualmente disponibili e alle indicazioni della normativa e considerare (come ragionevolmente ci si può attendere) che il comportamento sia effettivamente non drenato.

Fermo restando quanto detto, alcuni casi di particolare interesse sono stati eseguiti anche in condizioni drenate. Questo per dimostrare l'effetto delle condizioni di drenaggio sul risultato e, soprattutto, per fare un parallelo con le analisi (drenate) svolte nello studio di microzonazione sismica del Comune di Gaggio Montano nel 2014.

### 5.1.4 Parametri di resistenza al taglio

#### Resistenza non drenata

Le prove disponibili indicano valori di coesione non drenata ( $c_u$ ) del corpo di frana mediamente compresi tra 100 e 200 kPa (sez. 3.4.2).

In caso di terreni saturi, il DGR 476/2021 raccomanda di ridurre il valore di  $c_u$  in funzione del rapporto di pressione interstiziale  $r_u$ . La procedura prevede i seguenti passaggi:

- 1) stima del rapporto  $r_u$  tramite la relazione empirica di Matsui (1980)

2A) nel caso di  $r_u > 0.5$ , stima del decremento della resistenza non drenata con la relazione (Matasovic, 1993):

$$c_u = c_u^{statico} \cdot \sqrt{1 - r_u}$$

2B) nel caso di  $r_u < 0.5$ , stima del decremento della resistenza non drenata con la relazione (Matasovic, 1993):

$$c_u = c_u^{statico} \cdot N^{-t}$$

dove  $N$  è il numero di cicli equivalenti del terremoto (funzione della Magnitudo) e  $t$  è un parametro di degradazione che dipende dalla deformazione di taglio indotta dal terremoto

L'applicazione a Gaggio Montano è riportata in tabella:

Parametro	Descrizione	Min	Max
Vs (m/s)	Velocità delle onde di taglio	150	200
G <sub>0</sub> (Pa)	Modulo di taglio iniziale	4.3E+07	7.6E+07
G (Pa)	Modulo di taglio al livello deformativo $\gamma_{max}$	2.1E+07	3.8E+07
a (m/s <sup>2</sup> )	Accelerazione di picco	1.8	1.8
z (m)	Profondità media	20	20
$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	Peso dell'unità di volume saturo	19	19
A	Coefficiente sperimentale funzione dell'indice di plasticità	4.00E-04	4.00E-04
B	Coefficiente sperimentale funzione dell'indice di plasticità	6.00E-04	6.00E-04
OCR	Grado di sovraconsolidazione	1	1
$\beta$	Coefficiente sperimentale	0.45	0.45
$\sigma_{vo}$ (Pa)	Sforzo verticale totale	3.80E+05	3.80E+05
$r_d$	1-0.015z	0.70	0.70
$\gamma_{max}$	Deformazione di taglio massima	2.28E-03	6.42E-04
$\gamma_v$	Deformazione di soglia volumetrica	6.00E-04	6.00E-04
$r_u$	Rapporto di pressione interstiziale	0.28	0.01
M	Magnitudo del sisma	6	6

N	Numero di cicli equivalente	5	5
s	Coefficiente sperimentale funzione dell'indice di plasticità	0.195	0.195
r	Coefficiente sperimentale funzione dell'indice di plasticità	0.600	0.600
t	Parametro di degradazione	4.22E-03	4.63E-04
$c_u / c_u^{statico}$		<b>0.995</b>	<b>0.998</b>

Come si può notare, anche considerando valori relativamente bassi di Vs del corpo di frana (150 e 200 m/s) il rapporto  $c_u / c_u^{statico}$  è praticamente uguale a 1. Questo perché il terreno in frana è relativamente rigido, quindi il rapporto di pressione interstiziale risulta  $r_u < 0.5$  e la deformazione di taglio massima  $\gamma_{max}$  è molto bassa. Non è pertanto necessaria alcuna riduzione della resistenza non drenata.

### Resistenza drenata

La resistenza drenata disponibile alla base del corpo di frana è quella residua. Come detto nella sez. 3.4.1, a Gaggio Montano non sono disponibili misure di resistenza residua dei terreni in frana, per cui sono state utilizzate una serie di prove di laboratorio eseguite su terreni simili nella valle del Reno.

Sulla base di questi dati sono stati definiti i seguenti valori caratteristici dei parametri di resistenza residua:

$$\phi'_{res} = 14^\circ - 15^\circ$$

$$c'_{res} = 0 \text{ kPa}$$

Questi parametri sono serviti per replicare l'analisi della microzonazione 2014 e come confronto con i risultati delle analisi non drenate.

### 5.1.5 Input sismico

Il moto sismico al bedrock è stato ottenuto scaricando una serie di accelerogrammi spettro-compatibili da 3 differenti database (vedi capitolo 4).

- NTC2018) n.7 accelerogrammi estratti dell'European Strong-motion database tramite il software REXEL
- RER2021) n.7 accelerogrammi scaricati dal sito RER EUCENTRE (DGR 476/2021)
- RER2007) n.3 accelerogrammi scaricati dalla banca dati ISESD e disponibili nel portale RER Sismica (DGR 112/2007)

Questi accelerogrammi rappresentano lo scuotimento atteso al substrato rigido e sono stati utilizzati per le analisi con GeoStudio, che richiede l'input sismico alla base del modello.

L'accelerazione sismica alla profondità della frana è stata poi determinata tramite analisi 1D e 2D di risposta sismica locale (vedi capitolo 4). Le analisi sono state eseguite per i 7 accelerogrammi NTC2018 e per i 7 accelerogrammi RER2021 utilizzando la stratigrafia riportata nel modello geologico-tecnico. Gli accelerogrammi ottenuti sono stati utilizzati per le analisi con Slope, che richiede in input la sollecitazione sismica a quota frana.

### 5.1.6 Casi analizzati

La combinazione di due differenti software di calcolo (Slope e GeoStudio), tre differenti input sismici al bedrock (NTC2018, RER2021, RER 2007), due modelli di RSL (1D e 2D) e due possibili condizioni di drenaggio (drenate e non drenate) ha generato numerosi casi di analisi:

Caso	Input sismico al bedrock	Risposta Sismica Locale	Software di calcolo	Condizioni
1	NTC2018	1D	Slope	Non drenate
2	RER2021	1D	Slope	Non drenate
3	NTC2018	2D	Slope	Non drenate
4	RER2021	2D	Slope	Non drenate
5	NTC2018	\	GeoStudio	Non drenate
6	RER2021	\	GeoStudio	Non drenate
7	RER2007	\	Slope	Non drenate
8	RER2007	\	Slope	Drenate

I casi 2 e 4 rappresentano le analisi richieste dal DGR 476/2021 utilizzando rispettivamente una risposta sismica locale 1D o 2D. I casi 1 e 3 sono le stesse analisi eseguite scegliendo gli accelerogrammi secondo le NTC2018. I casi 5 e 6 effettuano un confronto tra le analisi di Newmark classiche (software Slope) e quelle che includono nel calcolo di stabilità la propagazione dell'input sismico nel versante (software GeoStudio). Il caso 8 è quello considerato nella microzonazione sismica di Gaggio Montano del 2014 (condizioni drenate). Il caso 7 è l'analogo in condizioni non drenate.

Il confronto tra i vari casi ha consentito di valutare l'effetto delle variabili in gioco sui risultati e stimare il grado di incertezza sugli spostamenti sismo-indotti. Per tutte le combinazioni è stata considerata una variabilità molto ampia dei parametri di resistenza al taglio in modo da determinare la relazione resistenza-spostamenti e valutare il range atteso di spostamenti per i parametri effettivamente disponibili in sito.

## 5.2 Risultati

### 5.2.1 Analisi Slope: risposta Sismica Locale 1D (casi 1 e 2) e 2D (casi 3 e 4)

La Fig.6.3 mostra un esempio di analisi dinamica eseguita col software Slope. Il grafico superiore è relativo all'analisi preliminare pseudo-statica che serve per determinare l'accelerazione critica. Nell'esempio la coesione non drenata è  $c_u=55$  kPa e la corrispondente accelerazione critica è  $a_c=0.12$  m/s<sup>2</sup>.

Sotto il profilo del versante è riportato invece l'accelerogramma di progetto (PGA=1.8 m/s<sup>2</sup>) utilizzato nell'analisi di Newmark. Quando l'accelerazione del sisma supera quella critica ( $a > a_c$ , punti rossi nel grafico) si genera uno spostamento del corpo di frana che viene poi cumulato sull'intero periodo per determinare lo spostamento finale. Il risultato dell'analisi è quindi un valore di spostamento che dipende dal valore iniziale dei parametri di resistenza al taglio e dall'input sismico considerato.

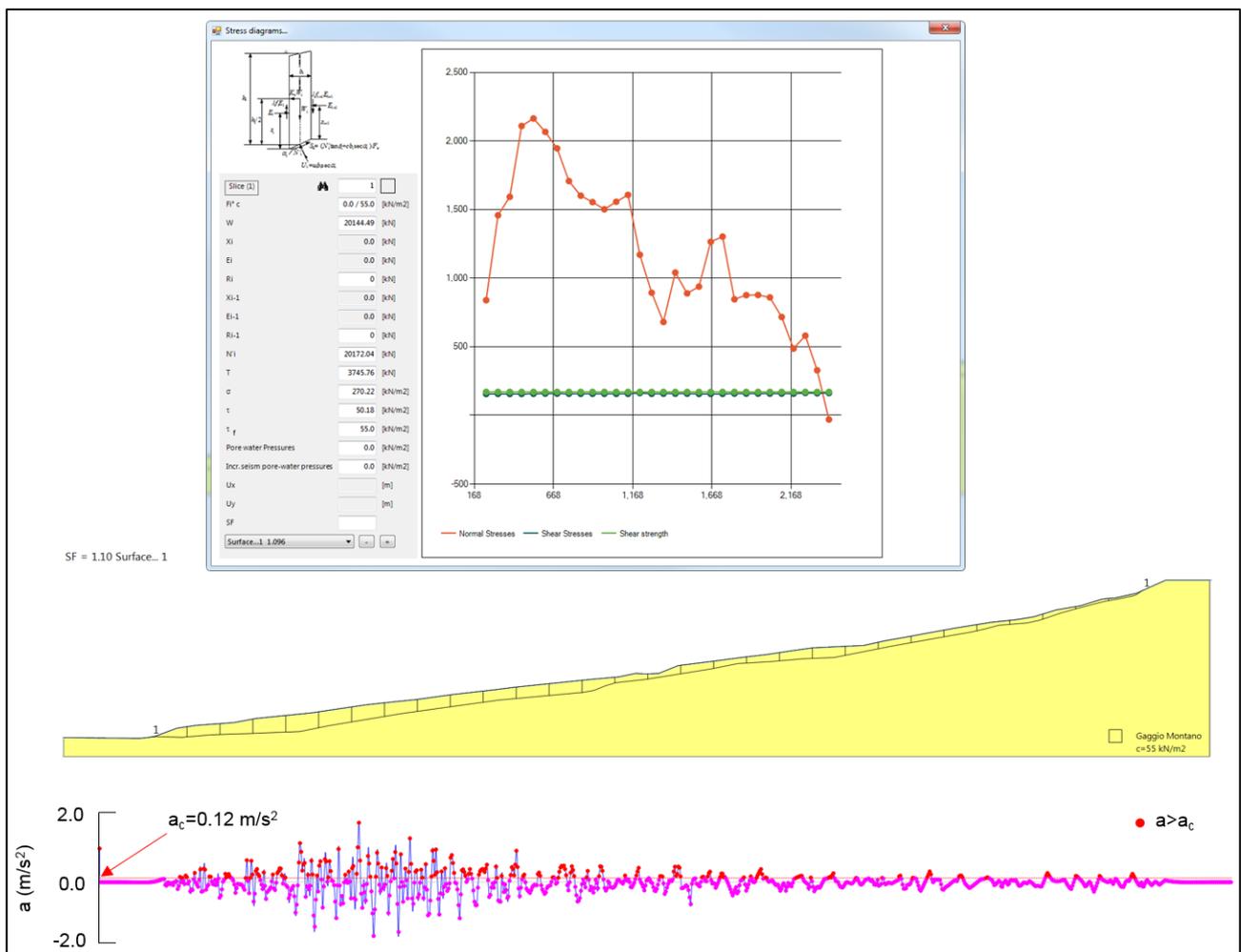


Fig. 5.3. Esempio di analisi dinamica col software Slope.

La Fig. 5.4 mostra i risultati ottenuti per i casi 1 e 2. Come detto sopra, in queste analisi l'accelerogramma a centro frana è stato ottenuto da analisi 1D eseguite con STRATA, utilizzando con input sismico al bedrock 7 accelerogrammi estratti dell'European Strong-motion (caso 1) e 7 accelerogrammi scaricati dal sito RER EUCENTRE (caso2). La Fig. 5.5 mostra i risultati ottenuti utilizzando gli stessi input sismici al bedrock ma calcolando l'accelerazione a quota frana tramite una modellazione 2D con RSL2D (casi 3 e 4).

Nell'asse x dei grafici è riportato il valore di coesione non drenata del terreno in frana, mentre nell'asse y lo spostamento cumulato alla fine del sisma. Le linee continue indicano i valori medi di spostamento calcolati dai 7 accelerogrammi e quelle tratteggiate l'intervallo  $\text{media} \pm \text{deviazione standard}$ .

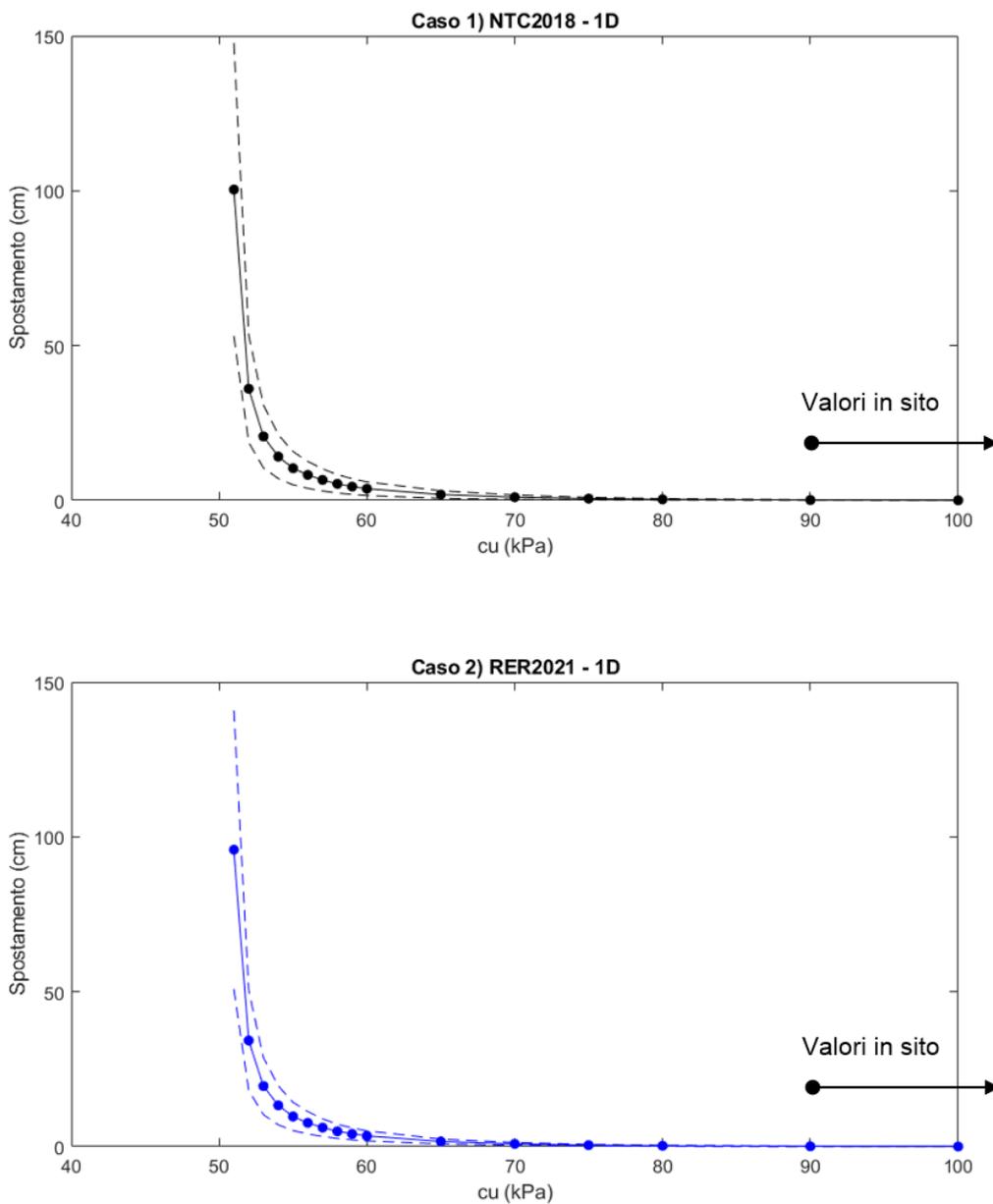


Fig. 5.4. Risultati delle analisi di stabilità in condizioni dinamiche per i casi 1 e 2.

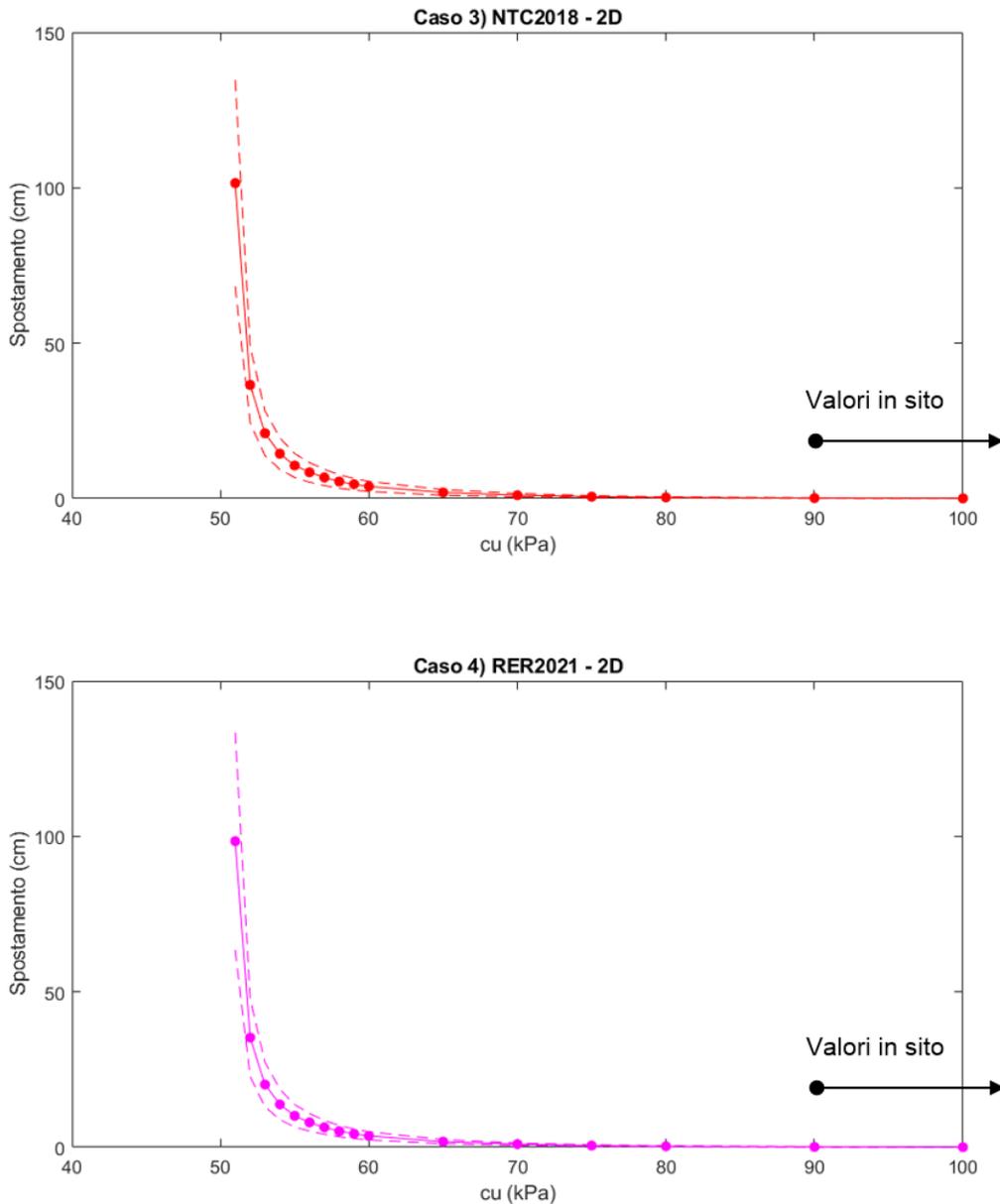


Fig. 5.5. Risultati delle analisi di stabilità in condizioni dinamiche per i casi 3 e 4.

I grafici mostrano che:

- la relazione tra coesione non drenata e spostamento sismo-indotto è fortemente non-lineare
- per valori di  $c_u < 55$  kPa si hanno spostamenti maggiori di 10 cm, rapidamente in aumento diminuendo la coesione non drenata anche di pochi kPa
- per valori di  $c_u$  compresi tra 60 e 70 kPa lo spostamento è dell'ordine di 1-3 cm
- per valori di  $c_u > 80$  kPa gli spostamenti sono praticamente nulli
- visto che la coesione non drenata in sito è maggiore di 100 kPa ( $c_u$  media = 160 kPa), il corpo di frana dovrebbe rimanere sostanzialmente fermo anche con un sisma di forte intensità
- questi risultati sono confermati in tutti i casi analizzati

È interessante notare come i diversi input sismici al bedrock (NTC2018 e RER2021) e le differenti analisi di risposta sismica locale (1D e 2D) hanno poco peso sui risultati (Fig. 5.6). Le differenze in termini di spostamento finale medio sono infatti trascurabili. Al contrario, la coesione non drenata ha un effetto molto forte ed è quella che davvero controlla il risultato delle analisi.

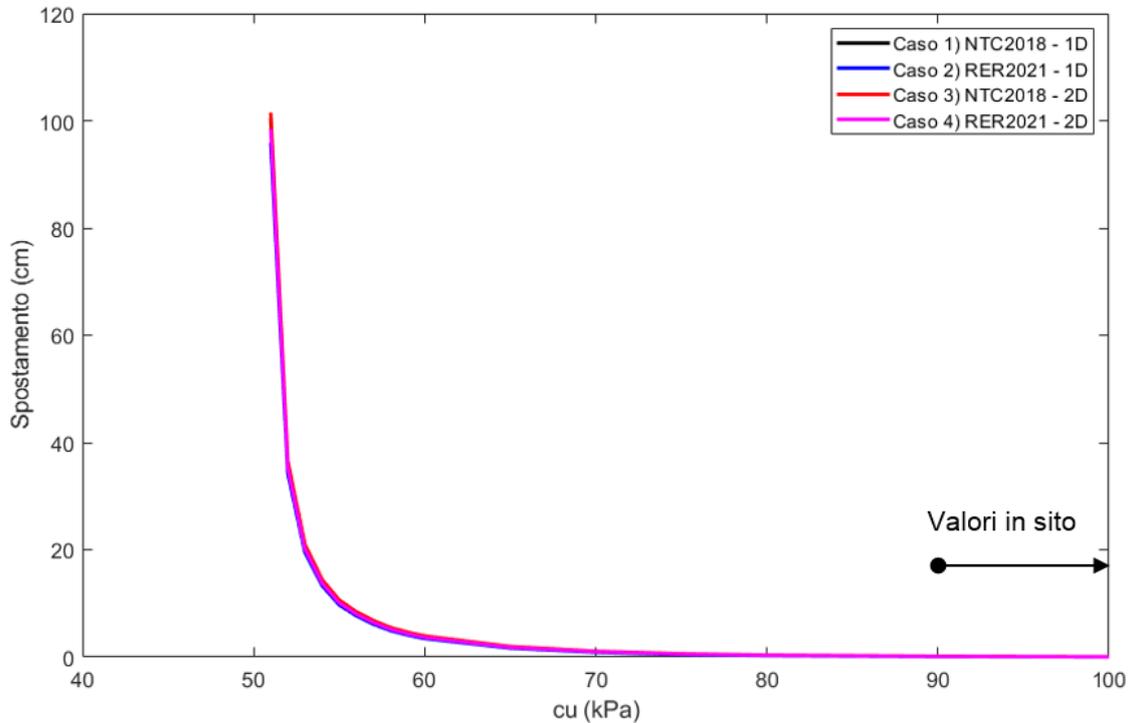


Fig. 5.6. Confronto tra le curve coesione non drenata-spostamento (valori medi) per i casi 1-4.

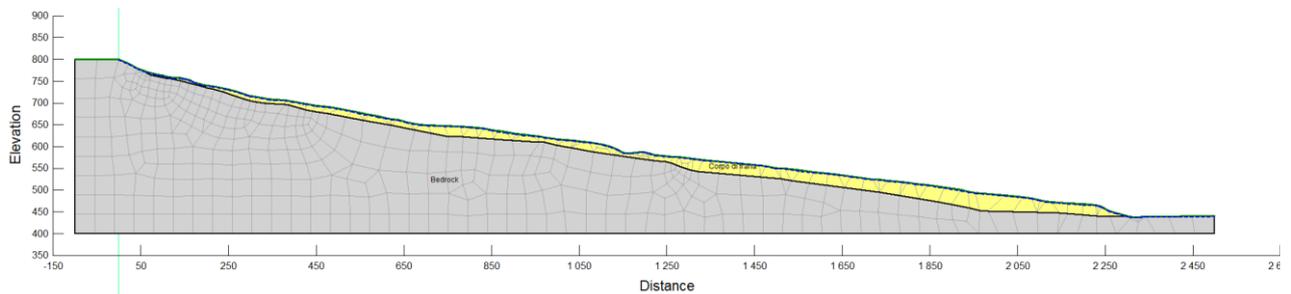
Nel caso in esame i valori misurati di  $c_u$  sono sempre maggiori di quelli critici, anche considerando l'intero range di variazione delle misure disponibili. L'incertezza sui parametri di resistenza al taglio non influisce quindi sui risultati e l'analisi risulta pienamente significativa.

## 5.2.2 Analisi con GeoStudio (casi 5 e 6)

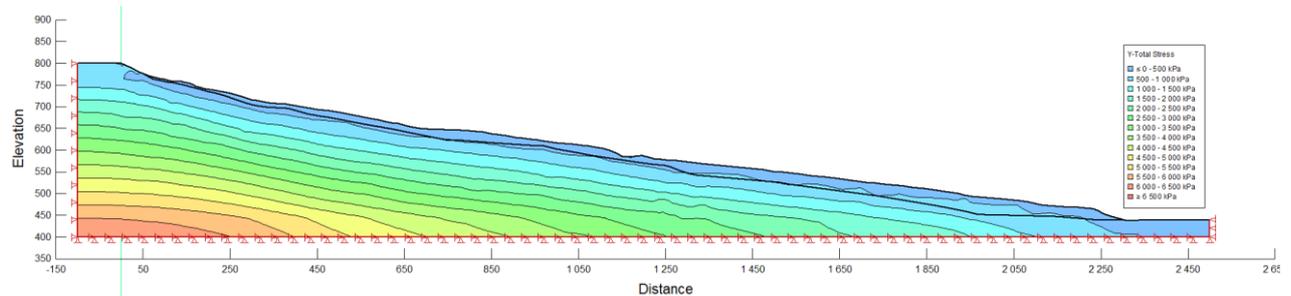
Le analisi col software GeoStudio sono state effettuate per verificare se accoppiando la modellazione della risposta sismica locale con il calcolo dell'equilibrio limite si ottengono differenze significative in termini di spostamenti sismo-indotti. Il software Geostudio combina infatti in un'analisi unica la modellazione numerica dello stato tensionale del versante e il modello di Newark per il calcolo degli spostamenti.

Il calcolo si svolge nelle sei fasi illustrate in Fig. 5.7. A differenza di Slope, lo stato tensionale del versante viene determinato con un'analisi tenso-deformativa e non secondo il metodo dell'equilibrio limite (fasi 1-3). Inoltre, l'input sismico è quello al bedrock, che viene applicato alla base del modello e propagato dal codice di calcolo all'interno del versante (fasi 4-5). Gli spostamenti sono ottenuti sempre col metodo di Newmark (fase 6) utilizzando l'accelerogramma così calcolato.

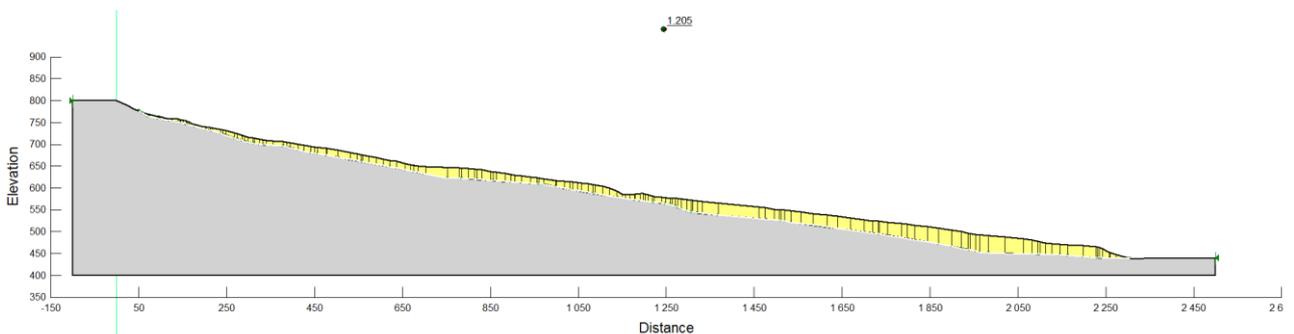
### 1) Creazione del modello con discretizzazione agli elementi finiti



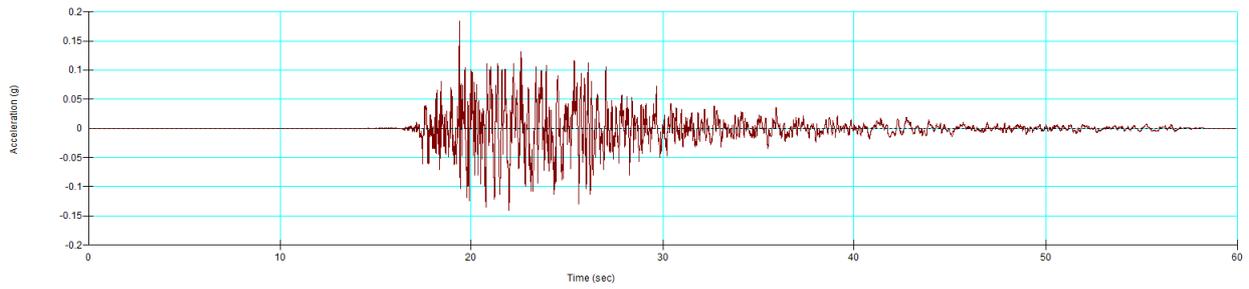
### 2) Calcolo dello stato tensionale statico



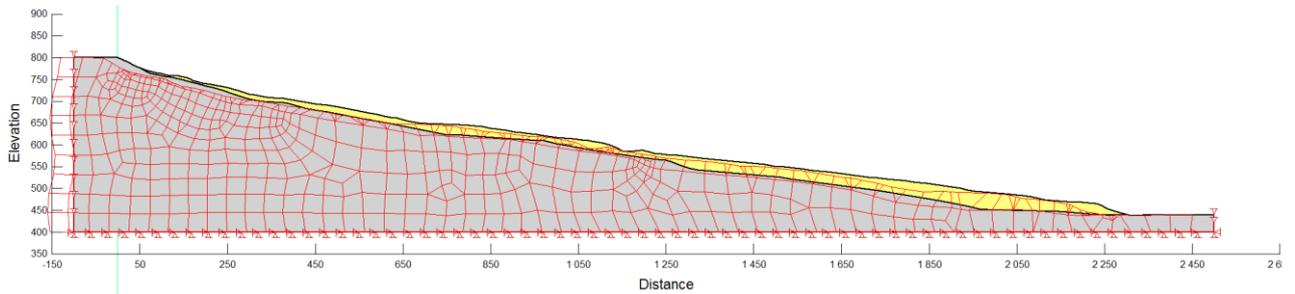
### 3) Calcolo del fattore di sicurezza statico



#### 4) Applicazione del sisma alla base del modello



#### 5) Propagazione del sisma all'interno del versante



#### 6) Calcolo degli spostamenti del corpo di frana

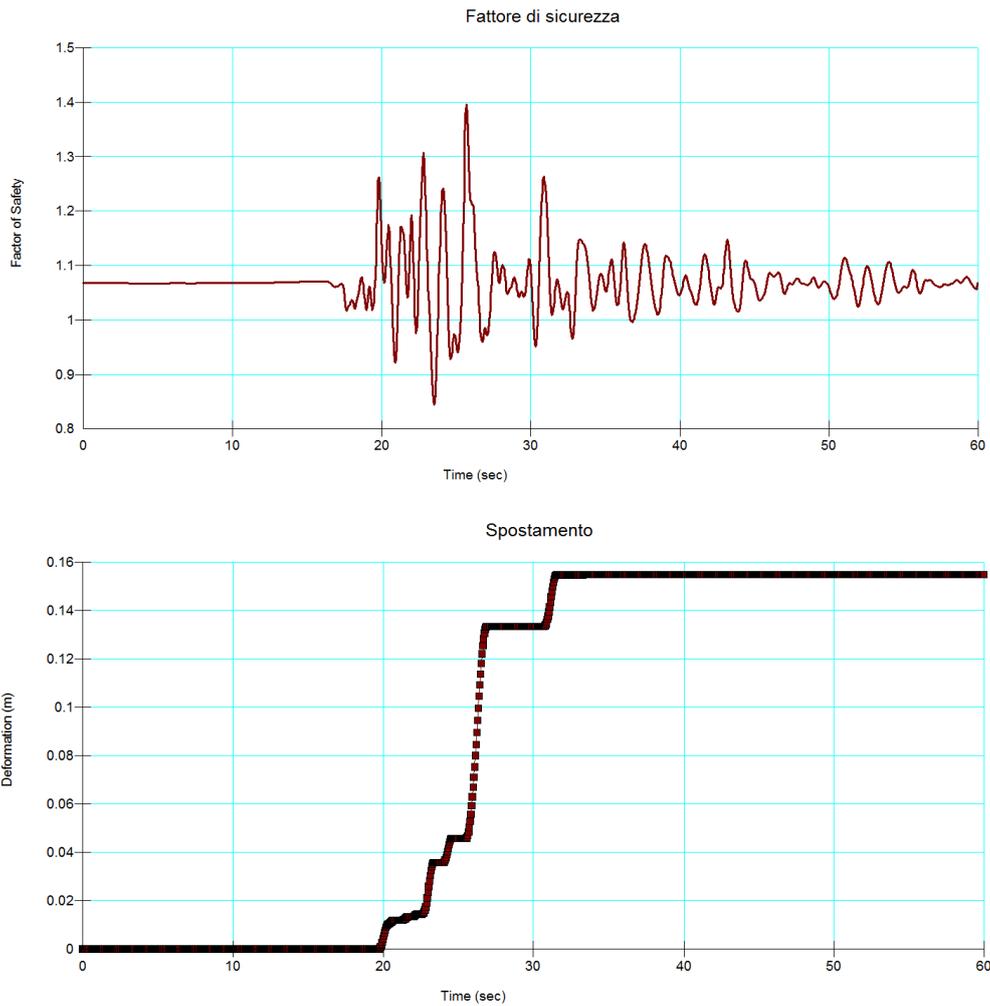


Fig. 5.7. Fasi di calcolo nell'analisi di stabilità dinamica effettuata con GeoStudio

I casi considerati nell'analisi sono relativi ai 7 accelerogrammi NTC2018 (caso 5) e ai 7 accelerogrammi RER2021 (caso 6). I risultati ottenuti sono riassunti in Fig. 5.8.

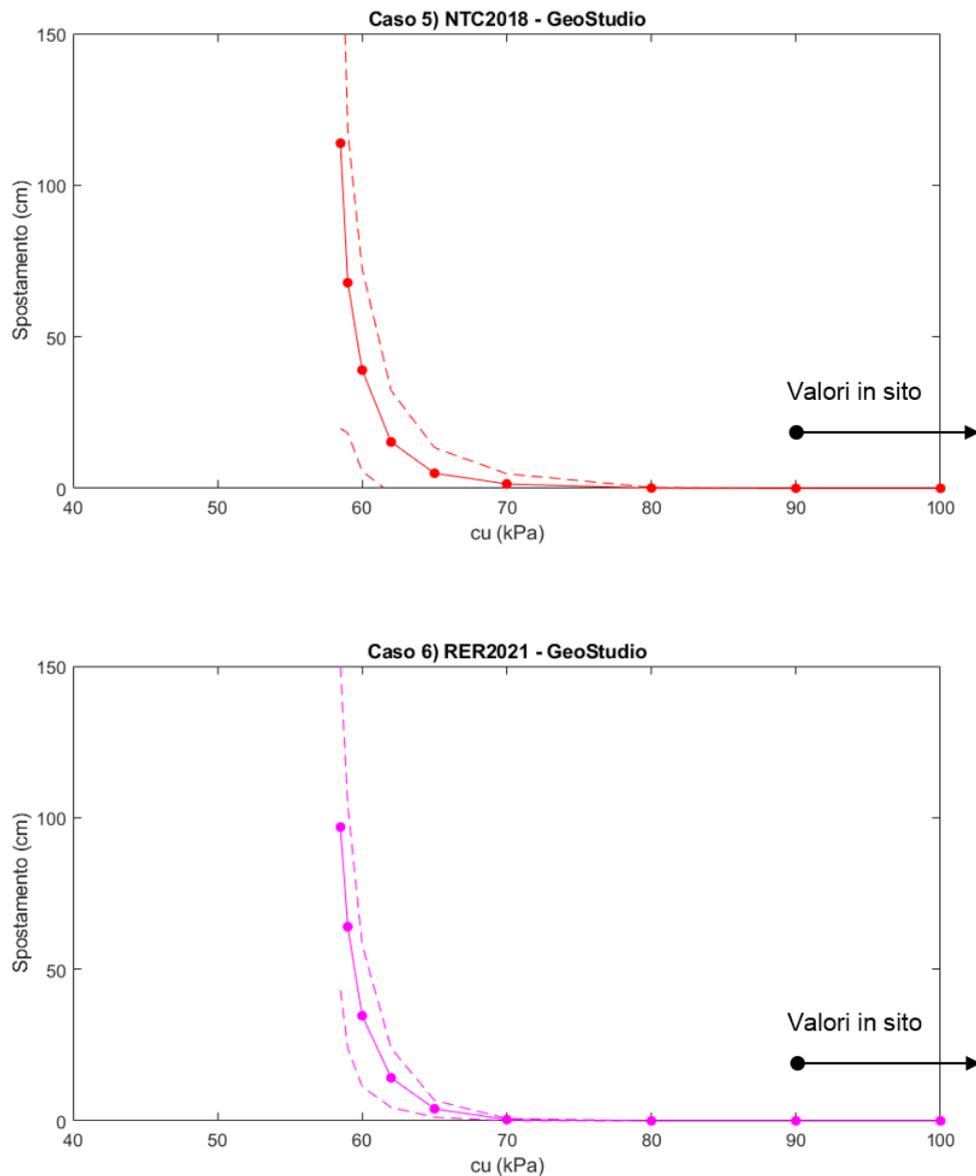


Fig. 5.8. Risultati delle analisi di stabilità in condizioni dinamiche per i casi 5 e 6.

Come si può notare, l'andamento delle curve coesione non drenata-spostamento è del tutto analogo a quello ottenuto con le analisi Slope. Anche in questo caso:

- esiste una dipendenza fortemente non-lineare tra  $c_u$  e spostamento del corpo di frana
- i sismi RER e NTC forniscono praticamente gli stessi risultati
- non si prevede alcun movimento della frana considerando i valori di resistenza non drenata misurati in sito

Un confronto diretto tra i due metodi evidenzia però alcune differenze (Fig. 5.9). Le curve  $c_u$ -spostamento ottenute con Slope sono infatti traslate a sinistra di circa 10 kPa. Questo significa che per lo stesso valore di coesione non drenata, le analisi svolte con GeoStudio prevedono spostamenti maggiori e sono (almeno in questo caso) cautelative.

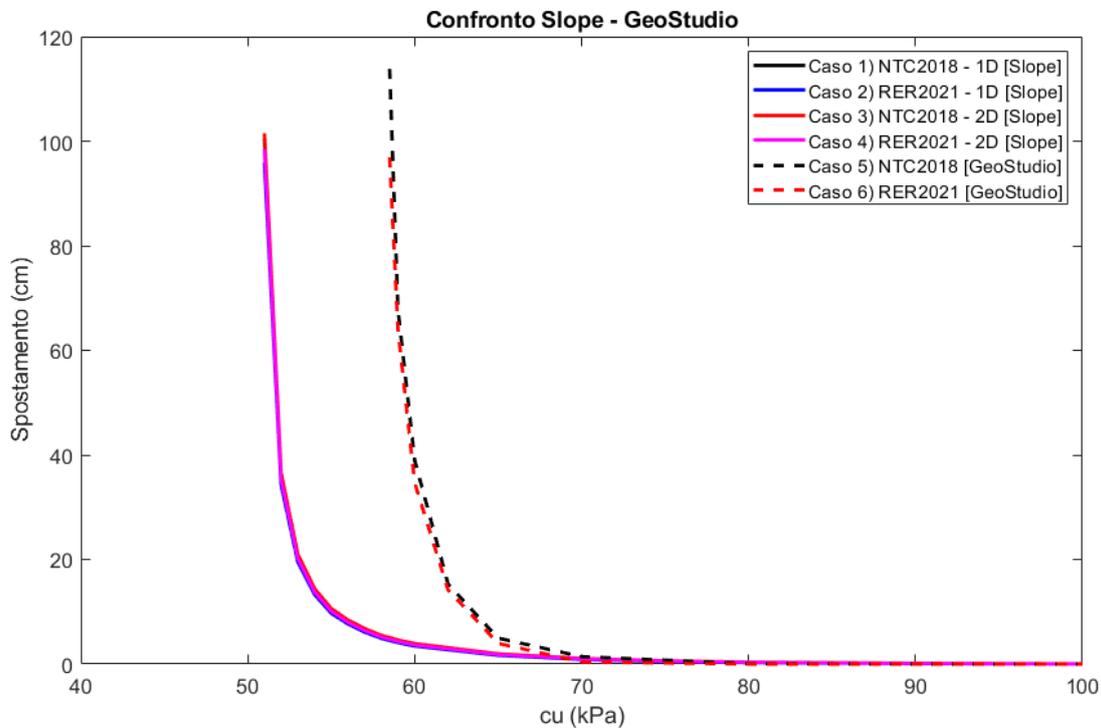


Fig. 5.9. Confronto tra i risultati ottenuti con Slope (casi 1-4) e con GeoStudio (casi 5-6).

Queste differenze non dipendono dalla diversa modellazione dell'input sismico, nel senso della diversa analisi di propagazione sismica locale. Gli accelerogrammi a quota frana, ottenuti con STRATA, LSR2d e GeoStudio, sono infatti molto simili.

La vera differenza riguarda le condizioni di partenza dell'analisi, cioè il fattore di sicurezza in condizioni statiche. A parità di geometria del versante e parametri di resistenza al taglio, il metodo all'equilibrio limite implementato in Slope fornisce un fattore di sicurezza leggermente superiore rispetto a quello di GeoStudio, che è calcolato da un'analisi tenso-deformativa. Questo causa un diverso valore di accelerazione critica ed è sufficiente a determinare una differenza piuttosto evidente negli spostamenti sismo-indotti.

Si tratta comunque di considerazioni di tipo metodologico che non hanno alcun peso nel caso specifico di Gaggio, visto che in entrambi i casi la stabilità dinamica risulta ampiamente verificata.

### 5.2.3 Microzonazione sismica 2014 (casi 7 e 8)

Nei casi 7 e 8, le analisi di Newmark sono state condotte utilizzando come input sismico i 3 accelerogrammi disponibili nella banca dati ISED del portale RER Sismica (DGR 112/2007). Questo è l'approccio seguito per la microzonazione sismica di Gaggio Montano nel 2014.

Le analisi precedenti hanno già dimostrato che l'input sismico al bedrock (a parità di accelerazione di picco) ha un'influenza molto modesta sui risultati, per cui non ci attendiamo grandi differenze in termini di spostamento del corpo di frana. Nella microzonazione del 2014, però, le analisi di stabilità dinamiche sono state eseguite in condizioni drenate (invece che non drenate) e questa è certamente una differenza importante. I risultati riportati in Fig. 5.10 confermano questa ipotesi.

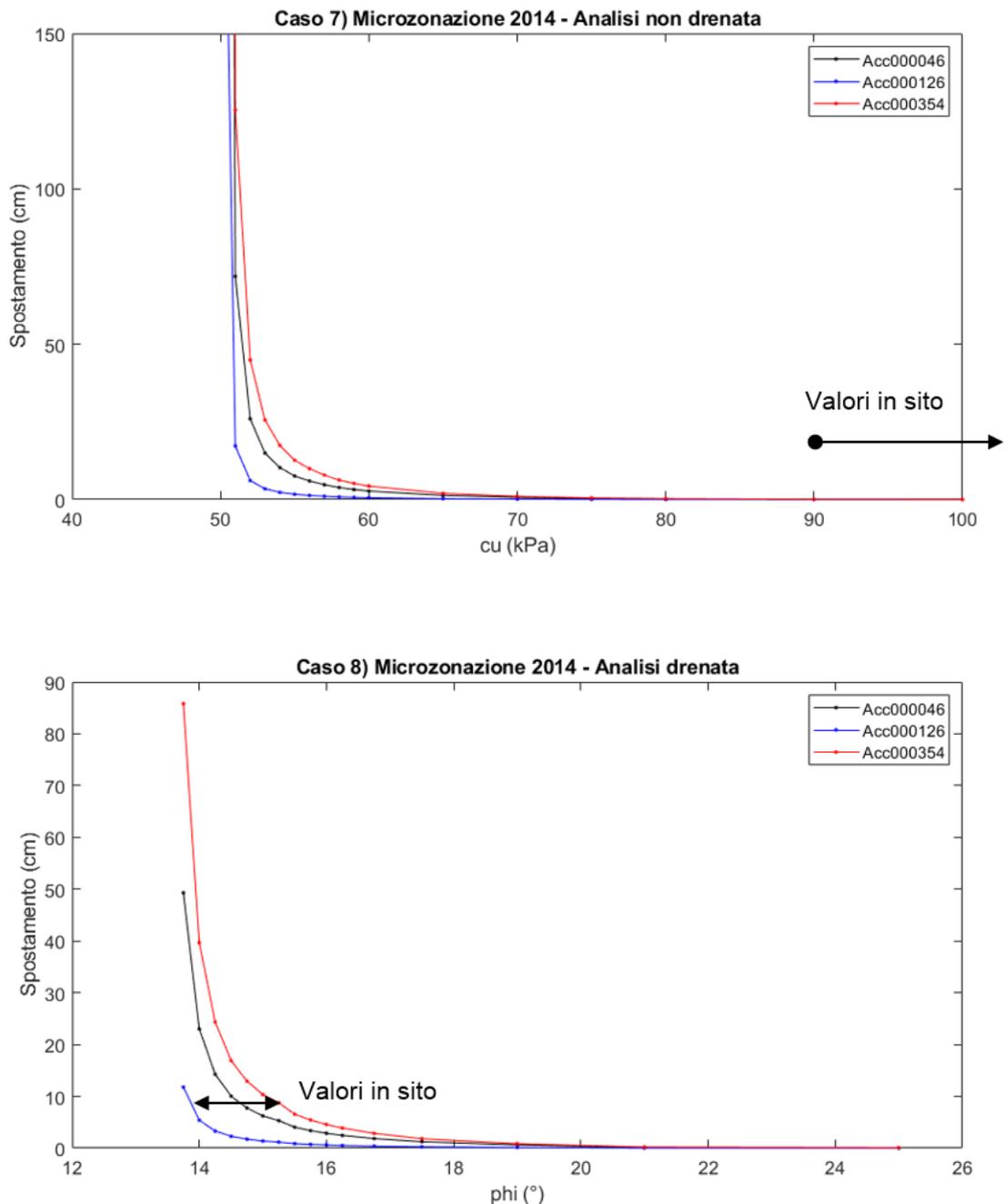


Fig. 5.10. Risultati delle analisi di stabilità in condizioni dinamiche per i casi 7 e 8.

Come si può notare, nel caso di analisi in condizioni drenate (caso 8) lo spostamento è fortemente influenzato dall'angolo di attrito ed aumenta in modo non-lineare avvicinandosi ai  $14^\circ$ . A differenza dei casi precedenti, però, il range dei possibili valori in sito si sovrappone con quello dei valori critici. Considerando infatti valori di  $\phi'_{res}$  variabili tra  $14^\circ$  e  $15^\circ$  si ottengono spostamenti molto rilevanti (maggiori di 10-20 cm) e decisamente problematici.

Questi risultati sono perfettamente in linea con quelli riportati nella Relazione Illustrativa della microzonazione sismica 2014, che indicava spostamenti compresi tra 2.2 e 16.3 cm a seconda dell'accelerogramma considerato. I calcoli eseguiti all'epoca sono quindi corretti dal punto di vista numerico. Il problema è che l'ipotesi di condizioni drenate è troppo cautelativa.

Se l'analisi viene condotta in condizioni drenate è necessario utilizzare i parametri efficaci di resistenza residua ( $c'=0$ ,  $\phi'=\phi'_{res}$ ) e tener conto della tavola d'acqua. Visto che la frana di Gaggio Montano è caratterizzata da movimenti lenti ma continui nel tempo, il Fattore di sicurezza statico sarà necessariamente vicino a 1. In tali condizioni è evidente che un sisma anche di debole intensità può causare spostamenti significativi, e che piccole variazioni del Fattore di sicurezza di partenza avranno un grande peso sui risultati.

Come già detto, quando il terreno è saturo e la sollecitazione è rapida rispetto alla capacità di dissipazione delle sovrappressioni interstiziali l'analisi deve essere condotta in condizioni non drenate. Così facendo (caso 7 in Fig. 5.10) si ottengono risultati del tutto in linea con quelli visti in precedenza e non si prevede alcuno spostamento del corpo di frana in caso di sisma.

## 6 TASK D) MONITORAGGIO DI SPOSTAMENTI SISMO-INDOTTI

### 6.1 Premessa

Le analisi descritte nei capitoli precedenti sono state svolte seguendo la normativa vigente e consentono quindi di effettuare la zonazione sismica di 3° livello dell'area. È stato infatti ricostruito il modello geologico-tecnico del versante, definito l'input sismico al bedrock, determinata la risposta sismica locale e calcolati gli spostamenti attesi in caso di sisma tramite analisi di stabilità dinamiche.

Dal punto di vista tecnico-scientifico non possiamo però trascurare le incertezze esistenti. In particolare, dobbiamo considerare che:

- la circolazione dell'acqua all'interno di un corpo di frana è più complessa di come appare da poche misure piezometriche puntuali, generalmente interpretate ipotizzando una falda in condizioni freatiche
- determinare le caratteristiche fisiche di terreni naturali è sempre difficile, specie quando si tratta di coltri di frana originate da formazioni litologicamente e/o strutturalmente complesse
- il comportamento dinamico dei terreni è complesso a causa della natura multifase del mezzo, della generazione di sovrappressioni interstiziali e della variazione della rigidità coi carichi ciclici
- visto che gli spostamenti sismo-indotti dipendono fortemente da questi fattori, i risultati delle analisi sono spesso aleatori

A Gaggio Montano, fortunatamente, queste incertezze non sembrano invalidare i risultati ottenuti. La stabilità dinamica del versante ha infatti buon margine di sicurezza ed è stata calcolata considerando un'ampia variabilità dei parametri di input.

In generale però, vista la complessità del problema e l'impatto che ha la microzonazione sismica sul territorio, può essere utile verificare i risultati delle analisi di stabilità con un approccio indipendente. L'idea sviluppata nell'ambito della Convenzione di Ricerca è quella di validare le analisi numeriche utilizzando dati di monitoraggio.

A tale scopo sono stati testati due differenti approcci:

- 1) identificazione degli spostamenti sismo-indotti tramite monitoraggio in continuo
- 2) analisi dei dati esistenti di interferometria satellitare

In linea con lo spirito della Convenzione, questi due approcci sono stati applicati con un obiettivo fondamentalmente metodologico e non di effettiva necessità nel caso specifico di Gaggio Montano.

## 6.2 Monitoraggio in continuo GPS-Raspberry Shake

### 6.2.1 Metodologia

L'idea alla base del metodo può essere chiarita con un esempio. Supponiamo di aver analizzato la stabilità dinamica di un corpo di frana ed ottenuto i risultati di Fig. 6.1. Il grafico mostra lo spostamento calcolato per terremoti con diversa accelerazione e per due possibili valori di coesione non drenata del terreno (60 e 80 kPa). I valori dipendono fortemente da  $c_u$ , e per la PGA di progetto ( $1.8 \text{ m/s}^2$ ) variano da 14 a 57 cm. Entrambi i valori sono ugualmente possibili per cui, come spesso accade, il risultato dell'analisi è incerto.

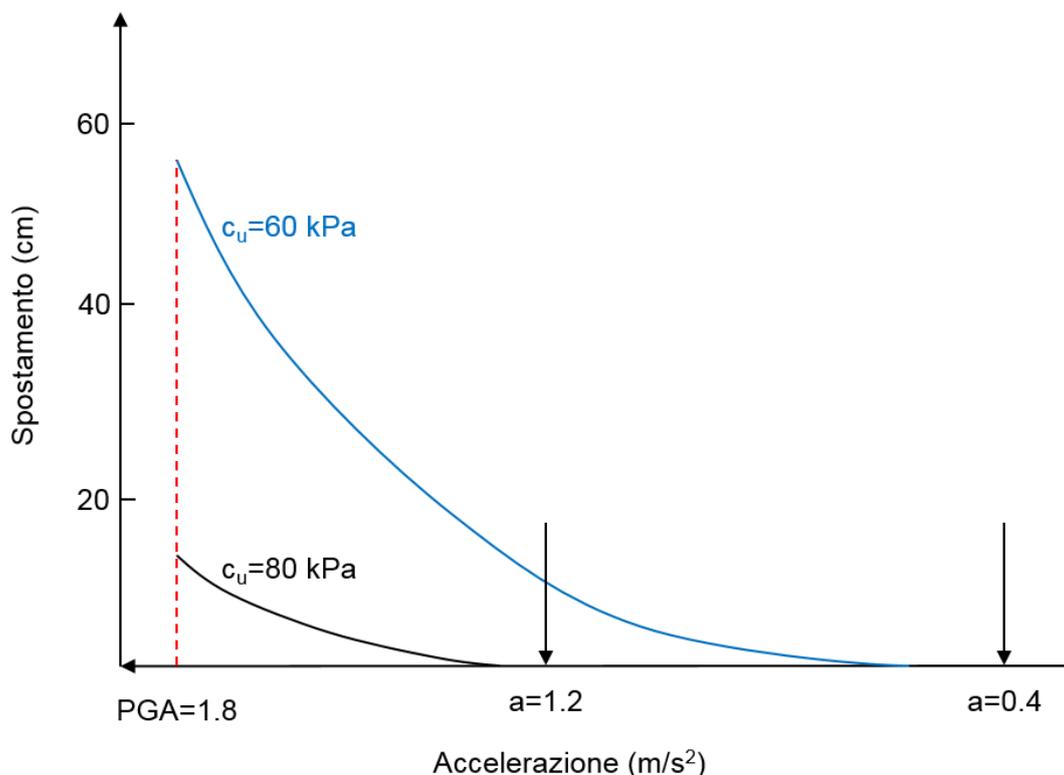


Fig. 6.1. Esempio concettuale di analisi di stabilità in condizioni dinamiche in cui i risultati sono molto incerti e possono essere migliorati tramite dati di monitoraggio (vedi testo).

Supponiamo ora che sul versante sia presente un sistema di monitoraggio in grado di rilevare i sismi e gli eventuali spostamenti indotti, ed ipotizziamo che avvenga un sisma con accelerazione  $a = 1.2 \text{ m/s}^2$  senza causare alcun spostamento. Questo dato può essere utilizzato per ridurre l'incertezza delle analisi. Con questa accelerazione, infatti, si hanno spostamenti nulli solo nel caso di  $c_u = 80 \text{ kPa}$  (vedi Fig. 6.1). Possiamo quindi escludere il caso  $c_u = 60 \text{ kPa}$  e concludere che lo spostamento atteso con sisma di progetto è inferiore a 14 cm.

Il limite principale di questo approccio è che la calibrazione delle analisi di stabilità è possibile solo se durante il periodo di monitoraggio avviene un sisma di intensità significativa. Un sisma debole,

infatti, potrebbe non consentire di ridurre l'incertezza nei parametri di input. Se avviene ad esempio un terremoto con accelerazione  $a=0.4 \text{ m/s}^2$  ed il versante rimane fermo non siamo in grado di escludere uno dei due valori di  $c_u$  perché in entrambi i casi lo spostamento previsto dall'analisi è zero (Fig. 6.1). Ferme restando queste limitazioni, un approccio basato sul monitoraggio è potenzialmente molto utile.

Sul mercato sono disponibili numerose soluzioni per monitorare in continuo le vibrazioni sismiche e gli spostamenti di un corpo di frana. Il costo e la complessità delle diverse soluzioni sono quanto mai variabili e le scelte tecniche dipendono ovviamente dal tipo di frana e dalle risorse economiche e umane disponibili.

Per un'applicazione di microzonazione sismica è preferibile un sistema semplice, che possa essere installato da un qualsiasi professionista o ente territoriale, e con bassi costi di manutenzione. Bisogna infatti considerare che la "probabilità di successo" di questo tipo di monitoraggio (ovvero la probabilità di misurare un sisma intenso durante il periodo di funzionamento) è modesta, per cui non ha senso investire grandi risorse su un sistema complesso e oneroso da gestire.

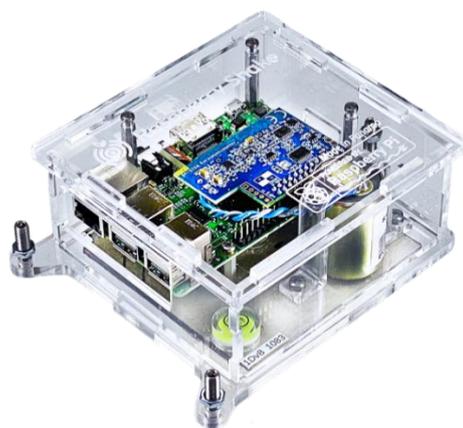
Nel caso di Gaggio Montano abbiamo testato un sistema di monitoraggio molto semplice costituito da un GPS differenziale e un sismografo a basso costo.

Il GPS utilizzato è un Leica 1200 (Fig. 6.2). Si tratta di un ricevitore a 14 bande L1-L2 (GPS) e 12 bande L1-L2 (GLONASS) in grado di operare sia in RTK che DGPS. Lo strumento è utilizzabile sia come rover che come stazione di riferimento. I dati vengono letti da un palmare tramite un software dedicato e registrati in sito su una scheda di memoria. Le specifiche tecniche dello strumento indicano, per serie di lungo periodo, precisioni dell'ordine dei 3 mm in orizzontale e 6 mm in verticale.

Leica GPS1200



Raspberry Shake



*Fig. 6.2. Strumentazione installata a Gaggio Montano per il monitoraggio degli spostamenti sismo-indotti*

Per le registrazioni sismiche è stato utilizzato un Raspberry Shake (Fig. 6.2). Il Raspberry Shake è un sismografo a basso costo lanciato nel 2016 con l'idea di creare una rete di monitoraggio dei terremoti a scala globale gestita dai cittadini. Lo strumento doveva essere affidabile ma economico e di facile utilizzo. L'iniziativa ha avuto grande successo ed al momento esistono oltre 1500 stazioni attive in tutto il mondo (<https://shakenet.raspberrypi.org/>). Il modello installato a Gaggio Montano è un RS1D ed ha le seguenti caratteristiche tecniche:

Geofono	Singola componente verticale, 4.5 Hz 395 Ohm (Racotech RGI-20DX) con estensione elettronica per le basse frequenze (<1Hz)
Campionamento	100 Hz
Sensibilità	3.81E+08 counts/ meter/ second +/- 10% precision
Digitalizzatore	24 bit ADC
Computer	Raspberry Pi 4
Timing	NTP
Storage	64 Gb micro SD card

I due strumenti sono stati installati il 5 marzo 2021 nell'edificio di proprietà del Comune adiacente alla Croce Rossa. L'antenna GPS è stata posizionata sul tetto dell'edificio, mentre il Raspberry Shake è stato installato all'interno e fissato a terra con dei tasselli (Fig. 6.3).



*Fig. 6.3. Antenna GPS (sinistra), ricevitore Leica GPS1200 (centro) e Raspberry Shake (destra) installati a Gaggio Montano nell'edificio adiacente alla Croce Rossa*

Per controllare il corretto funzionamento del Raspberry Shake è stato aggiunto un router WIFI (connesso alla rete tramite scheda SIM) collegato allo Shake tramite cavo LAN. L'alimentazione a tutti gli strumenti è fornita dalla rete elettrica.

### 6.2.2 Risultati

Il sistema di monitoraggio ha funzionato da marzo 2021 a gennaio 2022 ed i risultati non sono stati quelli sperati. O meglio, sono stati quelli attesi. Durante il periodo di misura, infatti, non sono avvenuti sismi di forte intensità per cui, come detto sopra, non è stato possibile utilizzare i dati per calibrare le analisi di stabilità. Il sistema però ha funzionato correttamente e la sperimentazione è stata certamente positiva.

#### Rasperry Shake

Il Raspberry Shake ha funzionato molto bene, registrando in continuo a 100 Hz per circa 11 mesi e praticamente senza alcuna interruzione. Essendo posto all'interno di una zona abitata il geofono ha ovviamente risentito del rumore ambientale, ed in particolare del traffico stradale. Il corretto funzionamento dello strumento è però dimostrato dalla registrazione degli eventi sismici.

La Fig. 6.4 mostra un esempio di tre terremoti avvenuti a breve distanza da Gaggio Montano (10, 70 e 8 km) registrati dal sismografo. La presenza di onde a bassa frequenza evidenziate dagli spettrogrammi (grafici in basso) dimostra che si tratta di onde sismiche e non di rumore ambientale. Lo Shake ha registrato anche sismi di forte intensità avvenuti a grande distanza da Gaggio Montano (Fig. 6.5).

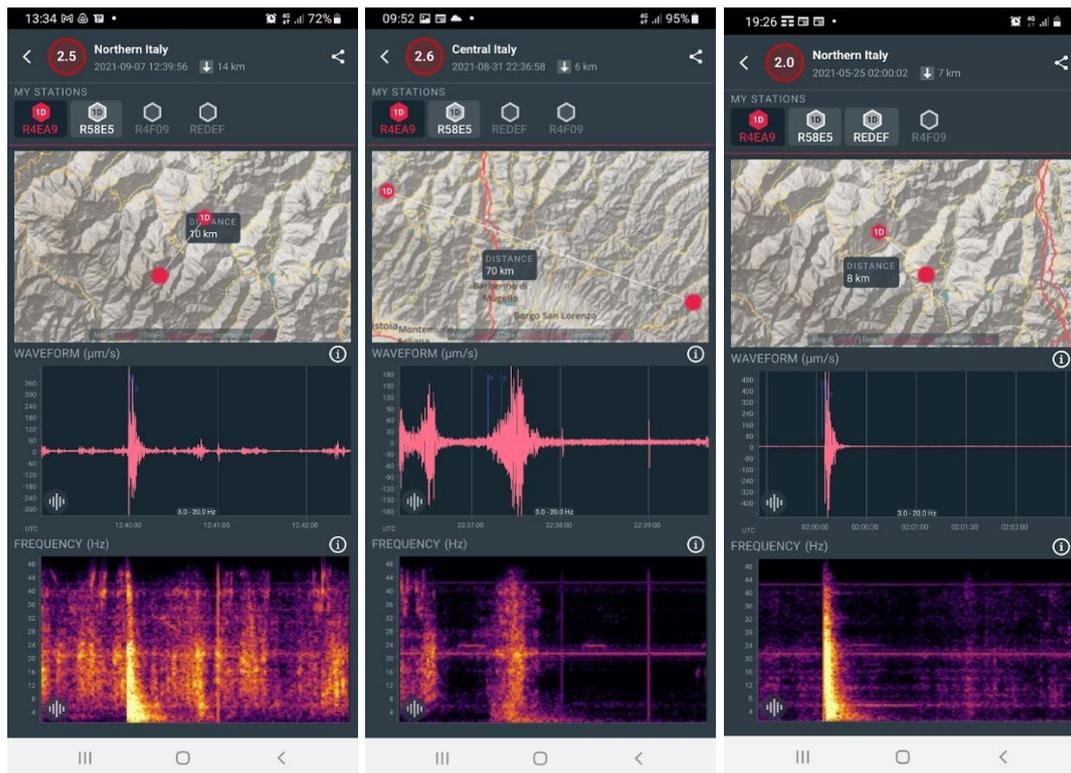


Fig. 6.4. Esempio di terremoti avvenuti a breve distanza da Gaggio Montano e registrati dal Raspberry Shake. Le mappe indicano l'epicentro del terremoto (pallino rosso) e la distanza dal sito di monitoraggio (ID). I grafici centrali mostrano la velocità di scuotimento. I grafici inferiori lo spettrogramma del segnale.

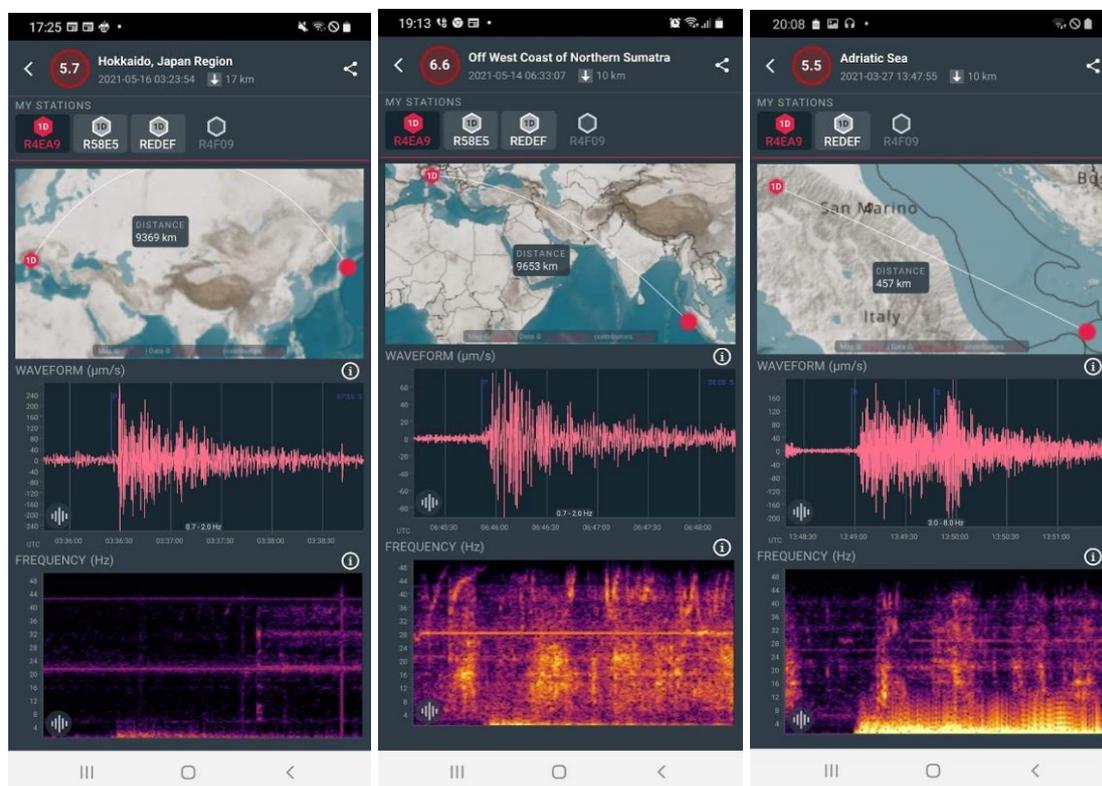


Fig. 6.4. Esempio di terremoti avvenuti a grande distanza da Gaggio Montano e registrati dal Raspberry Shake.

I dati complessivamente raccolti dal Raspberry Shake sono stati analizzati per caratterizzare i terremoti avvenuti vicino a Gaggio Montano. L'analisi è stata così condotta:

- 1) dal portale INGV sono stati estratti tutti i terremoti di magnitudo  $M > 2$  avvenuti in un raggio di 30 km da Gaggio Montano da marzo 2021 a gennaio 2022
- 2) per ogni terremoto è stata calcolata l'accelerazione di picco orizzontale minima ( $PGA_{h \min}$ ) e l'accelerazione di picco orizzontale massima ( $PGA_{h \max}$ ) utilizzando la relazione empirica di Sabetta e Pugliese (1987):

$$PGA_h = 0.306 \cdot M - \log\left(\sqrt{R^2 + Z^2}\right) + 0.169 - 1.56$$

dove  $M$  è la Magnitudo,  $R$  è la distanza epicentrale (km) e  $Z$  è la profondità (km) del sisma; i valori minimi e massimi derivano dal range di variazione di profondità e magnitudo.

- 3) per ogni terremoto sono stati quindi estratti i dati del Raspberry Shake e determinata l'accelerazione verticale di picco ( $PGA_v$ ) registrata durante l'evento

I risultati ottenuti sono riportati in tabella:

Data (UTC)	$M_L$ min	$M_L$ max	Profondità min (km)	Profondità max (km)	Distanza (km)	$PGA_{h \min}$ (Sabetta-Pugliese) (m/s <sup>2</sup> )	$PGA_{h \max}$ (Sabetta-Pugliese) (m/s <sup>2</sup> )	$PGA_v$ Shake (m/s <sup>2</sup> )
07/03/2021 04.22.29	2.2	3.0	22.0	24.0	24.0	0.055353	0.101395	0.00035556
07/04/2021 21.04.44	1.7	2.3	25.0	27.0	28.0	0.033959	0.053705	0.00013136
18/04/2021 19.28.21	2.2	2.8	12.0	12.0	26.5	0.064583	0.098564	0.0025562
15/05/2021 20.40.28	2.1	2.5	26.0	28.0	30.0	0.042668	0.058464	0.00016
01/08/2021 18.30.36	1.9	2.5	9.0	11.0	19.0	0.069270	0.110397	0.0028995
19/08/2021 03.49.22	3.0	3.6	24.0	28.0	14.0	0.105452	0.181326	0.0076725
07/09/2021 01.52.03	1.7	2.5	13.0	15.0	10.0	0.073270	0.141512	0.0079787
07/09/2021 02.45.20	2.0	2.6	9.0	11.0	10.0	0.109767	0.185110	0.0059349
07/09/2021 03.39.37	1.7	2.5	9.0	11.0	10.0	0.088853	0.172516	0.0047231
07/09/2021 12.39.56	2.3	2.7	13.0	15.0	10.0	0.111822	0.162927	0.0066188
09/09/2021 23.40.15	2.0	2.6	9.0	11.0	10.0	0.109767	0.185110	0.012617

04/10/2021 07.49.16	1.8	2.6	9.0	11.0	6.0	0.113115	0.230238	0.0036272
16/10/2021 02.54.22	1.9	2.3	11.0	11.0	22.0	0.061829	0.081958	0.000712
30/11/2021 09.55.00	1.9	2.3	9.0	9.0	25.0	0.057236	0.075869	0.0020423
02/12/2021 01.40.48	2.0	2.6	30.0	34.0	30.0	0.035988	0.058699	0.00033629
03/12/2021 07.37.54	2.5	3.1	24.0	28.0	30.0	0.056559	0.092199	0.001196
14/12/2021 14.38.47	1.9	2.7	23.0	25.0	30.5	0.038563	0.069953	Non visibile
17/12/2021 02.55.57	1.8	2.6	31.0	33.0	30.5	0.031541	0.057266	0.0001188

Come si può notare:

- durante gli 11 mesi di monitoraggio non sono avvenuti terremoti forti; il sisma più intenso è quello del 19/08/2021 con una magnitudo  $M_L=3.0-3.6$
- per quanto deboli, 17 dei 18 eventi riportati nel catalogo sono chiaramente visibili nelle registrazioni del Raspberry Shake; solo l'evento del 14/12/2021, molto debole e posto a 30 km da Gaggio Montano non è stato registrato
- le accelerazioni verticali di picco associate a questi sismi sono estremamente modeste, dell'ordine di  $10^{-2} - 10^{-3} \text{ m/s}^2$ ;
- il valore più elevato di accelerazione verticale è pari  $0.013 \text{ m/s}^2$  ed è stato registrato in occasione del terremoto del 09/09/2021; il sisma ha una magnitudo  $M_L = 2.0-2.6$  ma è avvenuto ad una distanza di soli 10 km
- tali accelerazioni sono almeno un ordine di grandezza inferiori alla PGA di progetto, per cui le misure non sono permesse di calibrare i risultati delle analisi di stabilità

Il confronto tra i valori di accelerazione sismica misurati dallo Shake ( $PGA_v$ ) e quelli previsti dalla relazione di Sabetta e Pugliese ( $PGA_h$ ) merita un commento. Come si può notare in tabella e nelle Fig.7.5 e 7.6, le accelerazioni misurate dallo Shake sono da 10 a 50 volte più basse di quelle attese e le differenze aumentano all'aumentare della distanza epicentrale.

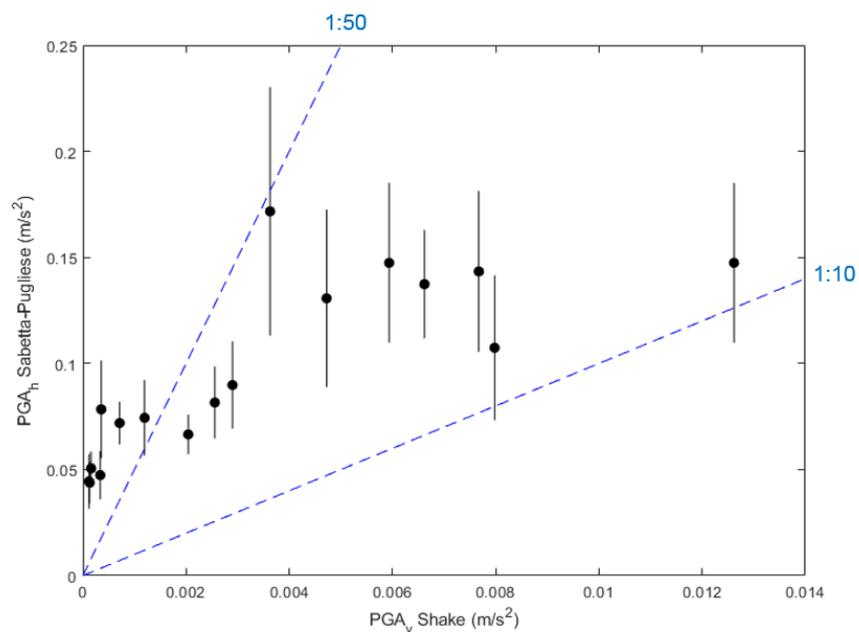


Fig. 6.5. Confronto tra l'accelerazione verticale di picco registrata dal Raspberry Shake e l'accelerazione orizzontale di picco attesa nel sito secondo la legge di attenuazione di Sabetta e Pugliese (1987). Le barre indicando il range minimo-massimo e il pallino nero il valore medio.

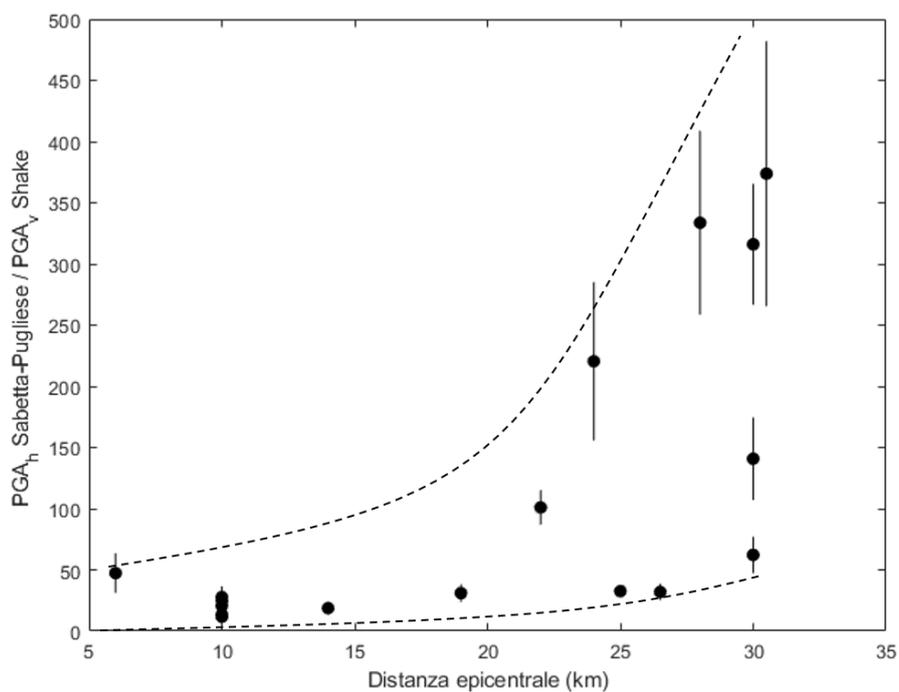


Fig. 6.6. Variazione del rapporto tra accelerazione orizzontale di picco (Sabetta e Pugliese) e accelerazione verticale di picco (Raspberry Shake) in funzione della distanza epicentrale.

Dal punto di vista teorico sono risultati attesi. Il Raspberry Shake RS1D è dotato di un geofono uniassiale che misura la sola componente verticale del moto. Specie per terremoti distanti la componente verticale è molto minore di quella orizzontale. Se consideriamo il rapporto H/V misurato in campo (vedi sez. 3.5) e le amplificazioni legate alle onde di volume è plausibile che a Gaggio Montano il rapporto  $PGA_h/PGA_v$  sia almeno pari a 8-10. Aumentando di 8-10 volte le accelerazioni misurate dallo Shake si ottiene una migliore correlazione i valori attesi ma le differenze rimangono. Il problema principale è che il rapporto tra  $PGA_h/PGA_v$  è estremamente difficile da valutare, ed anche le leggi di attenuazioni su cui si basano le stime di  $PGA_h$  sono molto incerte.

In linea teorica queste incertezze dovrebbero ridursi in modo significativo nel caso di terremoti intensi e vicini, visto che in prossimità della sorgente la componente verticale è più forte. Per ottenere risultati affidabili conviene però misurare direttamente la componente orizzontale del moto. Il modello RS3D del Raspberry Shake registra ad esempio lo scuotimento su tre assi (verticale, N-S, E-O) ed ha un costo non molto maggiore del RS1D. Purtroppo non è stato possibile testare questa soluzione perché il sensore 3D non era disponibile in tempi utili.

## GPS

Il GPS ha funzionato come stazione Rover nel sito di Gaggio Montano tra i mesi di marzo 2021 e gennaio 2022, con 6 periodi d'interruzione, il più lungo dei quali durato circa 45 giorni.

I dati registrati sono stati elaborati e corretti mediante un post processamento effettuato tramite l'utilizzo del software RTKlib ver. 2.4.3 b34. La correzione è avvenuta in differenziale, combinando le misurazioni del Rover con quelli in continuo relative alla stazione Master BRAS (a 16 km da Gaggio M.), individuata attraverso la Rete Integrata Nazionale GNSS (RING), le cui caratteristiche sono presentate in tabella:

<b>BRAS – Brasimone (BO)</b>		
Coordinate	44,12° N – 11,11° E	
Quota	901,18 m	
Caratteristiche principali	LEICA GRX1200PRO FIRMWARE: 9.20/2.127 ANTENNA: TRM29659.00 RADOME: NONE	
Distanza da Gaggio Montano		
16,15 km		
<i>Rete Integrata Nazionale GNSS (RING) - <a href="http://ring.gm.ingv.it/?page_id=726&amp;site=BRAS">http://ring.gm.ingv.it/?page_id=726&amp;site=BRAS</a></i>		

È stata inoltre effettuata la correzione delle coordinate spaziali relative alle posizioni assunte dai satelliti nel tempo (effemeridi precise), utilizzando i dati forniti dalla NASA, attraverso il servizio CDDIS (*Crustal Dynamics Data Information System*), che fornisce la correzione a intervalli di 12-24 ore delle effemeridi (<https://cddis.nasa.gov/archive/gnss/products/>).

L'analisi effettuata è sintetizzata nella Fig. 6.7, che mostra l'insieme di tutte le registrazioni nell'intervallo di tempo compreso tra l'11/03/2021 e il 25/01/2022.

Nei grafici sono riportati sia i punti rilevati dallo strumento con una precisione elevata (detti Q1 - fixed e mostrati in verde), costituenti il 61,3% dell'intera serie, che quelli con una precisione scarsa (detti Q2 - float, in giallo), rappresentati dal 38,7%. È possibile osservare una forte dispersione delle rilevazioni durante i primi giorni d'indagine, legata alla stabilizzazione del segnale dello strumento di analisi. I grafici mostrano anche i sei periodi d'interruzione del segnale, causate da problemi tecnici sulla rete di alimentazione dello strumento, che tuttavia non hanno inficiato la campagna di misurazioni.

Date queste misure si è proceduto al filtraggio sia dei punti con precisione Q2 che delle misurazioni effettuate i primi 5 giorni di rilevamenti, con un miglioramento notevole degli errori di posizionamento (Fig. 6.8). I valori di spostamenti valutati sulle tre componenti sono di seguito elencati:

- Spostamenti medi sulla componente E-W: 1,3 mm verso W (STD= 0,8 mm, RMS=1,6 mm);
- Spostamenti medi sulla componente N-S: 1,5 mm verso N (STD= 0,9 mm, RMS=1,7 mm);
- Spostamenti medi sulla componente verticale: 3,1 mm verso il basso (STD= 4,4 mm, RMS=5.4 mm).



Fig. 6.7. Grafico con la posizione dei punti registrati con il Rover GPS localizzato presso Gaggio Montano tra l'11/03/2021 e il 25/01/2022. Nel grafico è presente una sintesi statistica delle misurazioni.

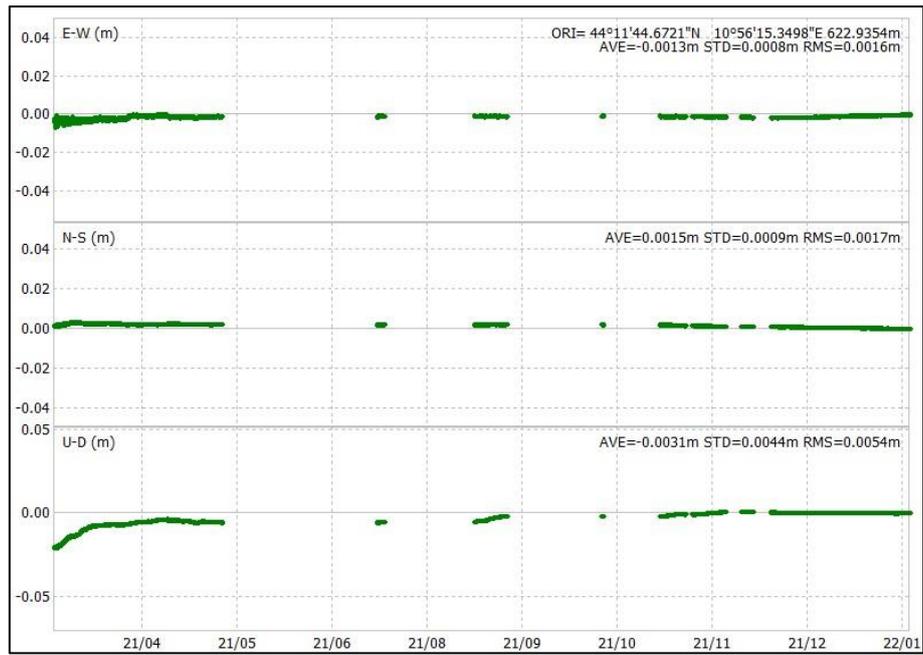


Fig. 6.8. Grafico con la posizione dei soli punti Q1 registrati con il Rover GPS con l'eliminazione dei primi 5 giorni di rilevamento. Nel grafico è presente una sintesi statistica delle misurazioni.

La Fig. 6.9 fornisce una rappresentazione 2D (componente orizzontale) degli esigui spostamenti registrati nel periodo in esame.

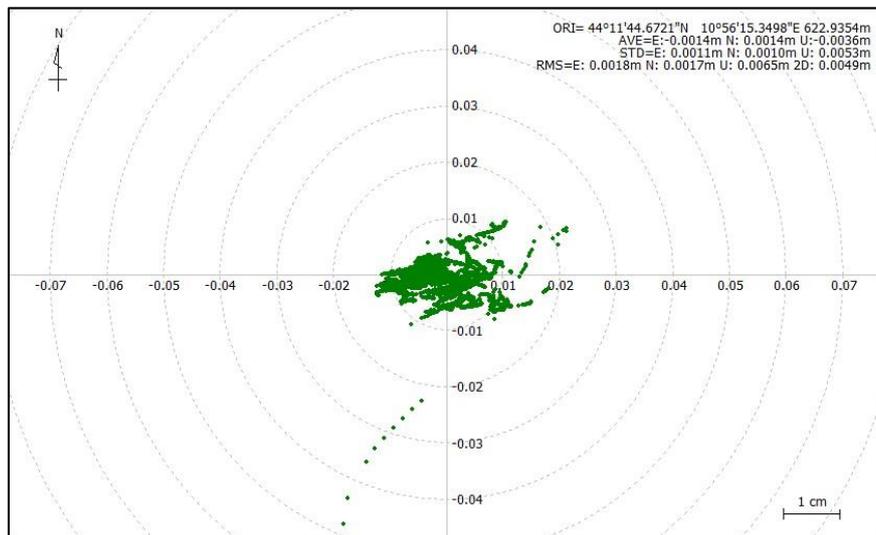


Fig. 6.9. Visione 2D dei punti di misurazione validati. Nel grafico è presente una sintesi statistica delle misurazioni.

È stato realizzato anche un dettaglio sull'ultimo trimestre di osservazione, per comprendere se fosse possibile osservare qualche variazione negli spostamenti registrati nel periodo finale d'indagine (Fig. 6.10). L'analisi del periodo compreso tra il 25/10/2021 e il 25/01/2022 mostra certamente un miglioramento di tutti i dati, in termine di errori, specie dei valori sulla verticale, data la stabilizzazione del segnale di misurazione dello strumento.

In questo caso abbiamo ottenuto:

- Spostamenti medi sulla componente E-W: 1,0 mm verso W (STD= 0,4 mm, RMS=1,1 mm);
- Spostamenti medi sulla componente N-S: 0,8 mm verso N (STD= 0,5 mm, RMS=1,0 mm);
- Spostamenti medi sulla componente verticale: 0,1 mm verso il basso (STD= 0,5 mm, RMS=1,0 mm).

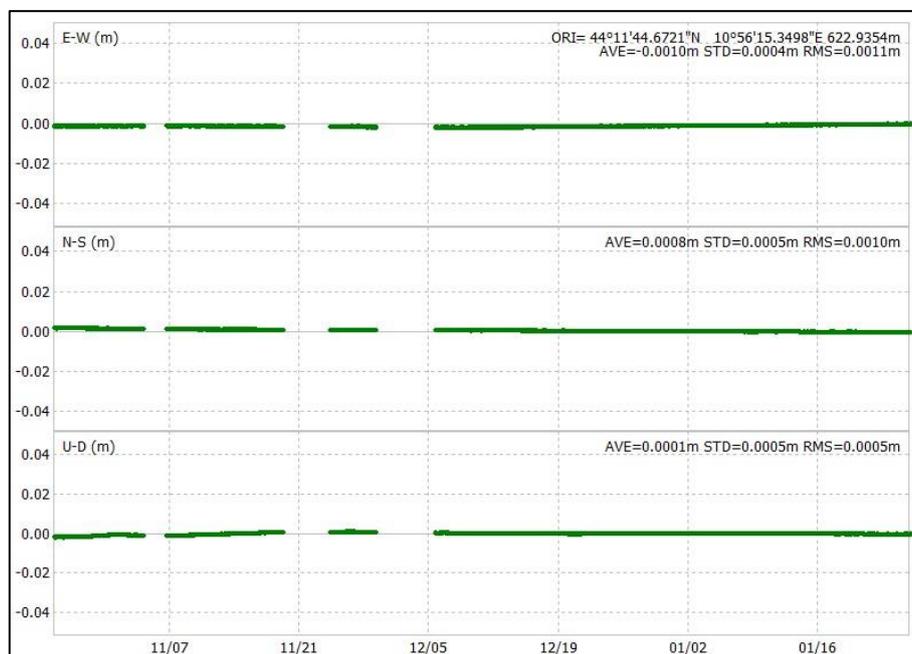


Fig. 6.10. Grafico con la posizione dei soli punti tra il 25/10/2021 e il 25/01/2022. Nel grafico è presente una sintesi statistica delle misurazioni.

In sintesi, i movimenti registrati nel periodo di osservazione mostrano spostamenti estremamente ridotti sia sulla componente orizzontale (al di sotto dei 2 mm) che su quella verticale (poco più di 3 mm), dimostrando che il fenomeno franoso non ha subito alcuna evoluzione significativa nell'ultimo anno. Ovviamente il monitoraggio andrebbe esteso per un periodo più lungo, in modo da registrare la risposta del versante a terremoti di maggiore intensità.

In sintesi, possiamo dire che la sperimentazione è stata certamente positiva. È stata verificata l' idoneità del Raspberry Shake per applicazioni di questo tipo e dimostrata l' assenza di movimenti significativi del versante in occasione di eventi sismici deboli. Come già detto si tratta di un test essenzialmente metodologico, che appare però promettente nell'ottica della microzonazione di 3° livello di aree in frana.

## 6.3 Analisi dei dati di interferometria satellitare

### 6.3.1 Metodologia

#### Il dato PS-InSAR

Con la legge 179/2002, il Ministero dell'Ambiente ha finanziato un progetto di telerilevamento ad alta precisione di aree ad elevato rischio idrogeologico basato sull'interferometria satellitare (Piano Straordinario di Telerilevamento, PST). L'interferometria satellitare usa immagini acquisite da una antenna SAR per creare interferogrammi (Fig. 6.11). Un interferogramma è dato dalla differenza di fase tra due acquisizioni radar, e visto che tale differenza è dovuta (almeno in parte) alla deformazione della superficie terrestre, l'analisi interferometrica consente di misurare le deformazioni avvenute tra le due acquisizioni.

L'elaborazione del dato interferometrico è molto complessa ed in letteratura sono state proposte numerose tecniche per isolare il valore di spostamento dagli errori causati dalla topografia e dal contributo atmosferico. Il Piano Straordinario di Telerilevamento utilizza la tecnica Persistent Scatterers Interferometry (PS-InSAR).

Questa tecnica si basa sull'analisi di un numero elevato di interferogrammi in una geometria comune (generalmente chiamata "stack") e consente di ottenere misure accurate di spostamento su singoli pixel. I pixel rilevati hanno particolari caratteristiche di persistenza e coerenza nel tempo e generalmente coincidono con manufatti antropici quali abitazioni, pali della luce, strutture in elevazione, strade. In aree scarsamente abitate, come molti versanti in zone montuose, i punti con queste caratteristiche sono rari per cui la tecnica PS-InSAR può non fornire una copertura adeguata del territorio.

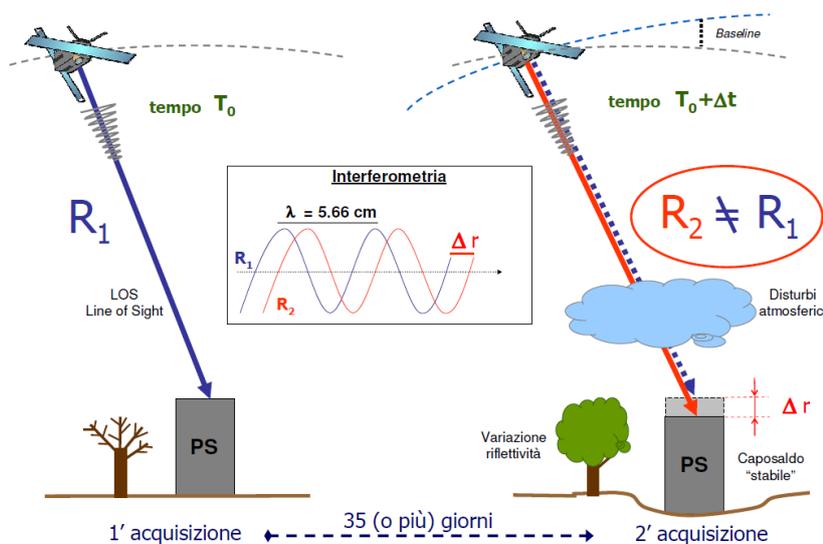


Fig. 6.11. Rappresentazione schematica della tecnica PS-InSAR (da Tele-Rilevamento Europa T.R.E s.r.l. - <http://www.treuropa.com>).

Il PST si è articolato in tre fasi che hanno prodotto differenti dataset:

- Fase 1) elaborazione di immagini SAR acquisite dai satelliti ERS1/ERS2 e ENVISAT tra il 1992 e il 2008
- Fase 2) aggiornamento delle immagini SAR acquisite dal satellite ENVISAT dal 2008 al 2010
- Fase 3) aggiornamento del database precedente ed elaborazione di 100 frame (40 x 40 km) di immagini COSMO SkyMed acquisite dall'ASI (Agenzia Spaziale Italiana)

Tutti i dati sono liberamente consultabili nel GeoPortale del Ministero dell'Ambiente tramite un applicativo webgis (<http://www.pcn.minambiente.it>).

Il dato numerico è disponibile come shapefile di punti e generalmente viene visualizzato in carta utilizzando una scala di colore basata sulla velocità media di movimento nel periodo di analisi (Fig. 6.12). Per convenzione i valori negativi (colori caldi dal giallo al rosso) indicano movimenti di allontanamento del satellite lungo la linea di vista (LOS), mentre valori positivi (colori freddi dall'azzurro al blu) indicano avvicinamento al satellite lungo la LOS. Il segno è quindi diverso a seconda della geometria orbitale (ascendente: vista verso est; discendente: vista verso ovest) e della direzione del versante. Ad esempio, un versante in movimento che immerge verso est avrà velocità negative in orbita ascendente e positive in orbita discendente.

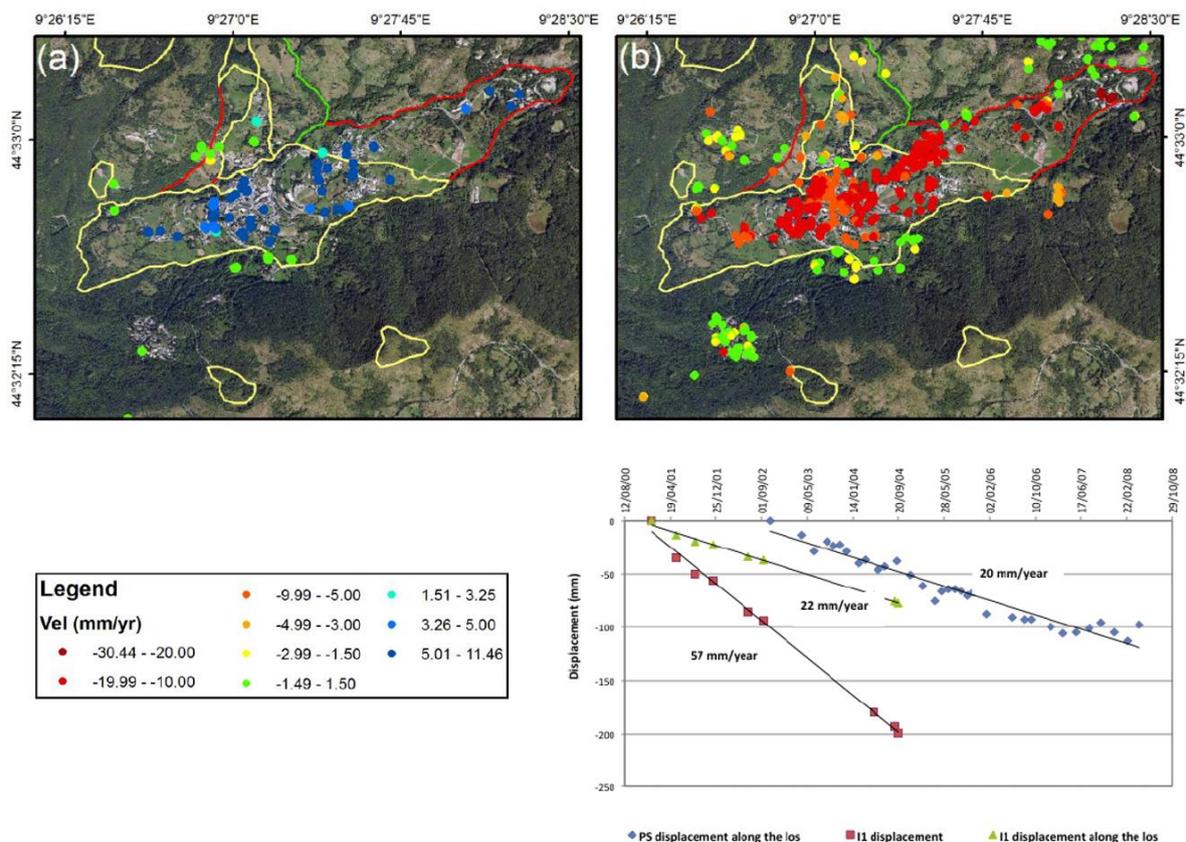


Fig. 6.12. Esempio di dato interferometrico PS. Sopra) visualizzazione in pianta della velocità media di spostamento. Sotto) serie temporale di un PS e confronto con dati inclinometrici (da Tofani et al., 2013).

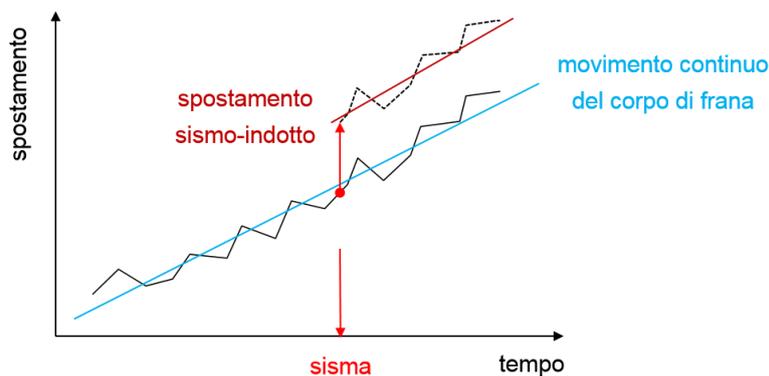
Lo shapefile dei PS contiene anche tutti i valori di spostamento misurati ad ogni passaggio del satellite (mediamente 30 giorni). Questi dati permettono di ricostruire la serie temporale di spostamento di tutti i punti, in modo analogo ad un monitoraggio topografico periodico. Ovviamente, le misure da satellite hanno una precisione inferiore a quelle topografiche e sono condizionate dalla geometria di acquisizione. In particolare, l'interferometria satellitare non riesce a rilevare movimenti perpendicolari alla LOS o con forte componente N-S. Questa tecnica non può quindi essere utilizzata su versanti con direzione E-O.

In condizioni ottimali, l'interferometria radar è in grado di identificare movimenti dell'ordine di pochi mm/anno. Movimenti più veloci di 50-60 mm/anno non sono invece visibili perché causano perdita di coerenza dei PS e problemi di ambiguità di fase.

### Analisi statistica

I dati PS possono essere utilizzati come un "monitoraggio a ritroso" per verificare se negli ultimi 20-30 anni ci sono stati movimenti di versante indotti da forti terremoti. L'idea di base è molto semplice.

Supponiamo che nell'area in esame sia presente un corpo di frana in lento movimento. Le misure PS mostreranno questo lento movimento nella serie temporale degli spostamenti (Fig. 6.13). Le serie temporali potranno avere un andamento lineare (velocità costante), non lineare (accelerazione o rallentamento) o mostrare oscillazioni in funzione delle precipitazioni, ma saranno comunque continue. Un movimento sismo-indotto introdurrà invece una discontinuità nelle serie storiche di spostamento (Fig. 6.13).



*Fig. 6.13. Schema concettuale che mostra la discontinuità prodotta da un sisma in una serie temporale PS.*

Teoricamente questa discontinuità dovrebbe presentarsi come un "gradino" posto tra le acquisizioni fatte prima e dopo il sisma ed essere quindi facilmente individuabile. Il problema principale è che la tecnica PS tende a "spalmare" nel tempo un movimento discreto, ed inoltre non è in grado di rilevare spostamenti maggiori di qualche centimetro tra due acquisizioni (ambiguità di fase). Non è detto

quindi che la discontinuità sia effettivamente visibile né che il gradino eventualmente presente corrisponda ad un vero dato di spostamento. In ogni caso, se il terremoto ha causato un movimento in blocco del corpo di frana è lecito attendersi una variazione dello stato del versante che si tradurrà in un cambio di pendenza della serie temporale o in una serie di dati anomali nelle acquisizioni post-sisma. Se la serie temporale rimane invece del tutto indisturbata è probabile che non siano avvenuti fenomeni deformativi significativi.

L'analisi di covarianza (ANCOVA) consente di verificare in modo oggettivo la continuità di una serie temporale. L'analisi consiste nel dividere la serie in due tratti, uno prima e uno dopo il sisma, e determinare le corrispondenti rette di regressione. I parametri delle rette vengono quindi confrontati tramite un test covarianza per determinare eventuali differenze di pendenza e intercetta.

Alcuni esempi concettuali sono mostrati in Fig. 6.14. Il caso A è una serie sintetica lineare a cui è stato sovrapposto un rumore random gaussiano di ampiezza 10 mm. Prima e dopo il sisma (linea rossa) non è applicata alcuna differenza e il test statistico indica correttamente che i due tratti di serie sono simili (probabilità  $p > 0.05$ ). Negli altri casi è invece imposto un disturbo: un gradino discreto di 15 mm nel caso B; una diminuzione di pendenza nel caso C; un aumento di pendenza nel caso D. In tutti e tre i casi il test individua correttamente una differenza tra l'andamento prima e dopo il sisma. Si può notare che il test è molto sensibile e riesce a cogliere differenze che sono difficili da percepire alla semplice osservazione.

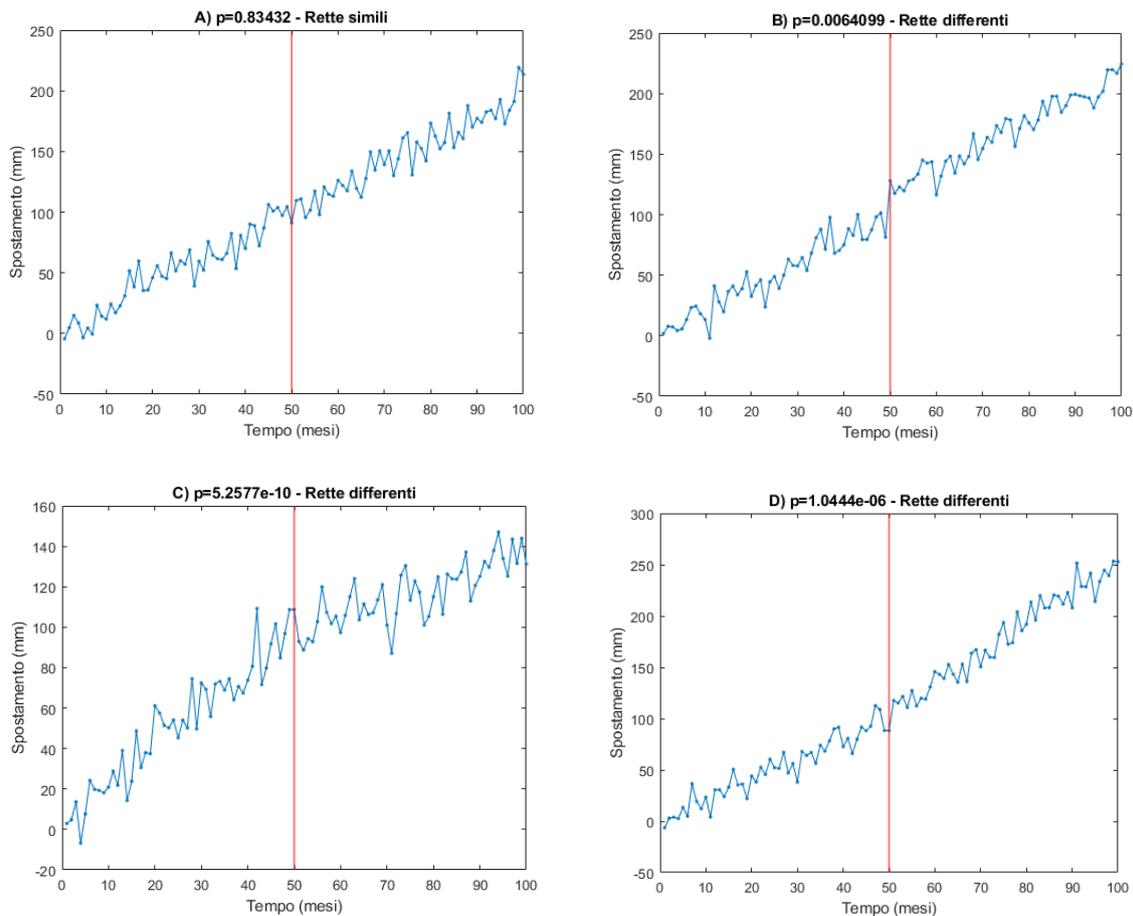


Fig. 6.14. Esempi di analisi ANCOVA per determinare un cambio di andamento in una serie temporale di spostamento dopo un evento sismico (linea rossa).

### 6.3.2 Risultati

#### Dati del Piano Straordinario di Telerilevamento (satelliti ENVISAT e COSMO-SkyMed)

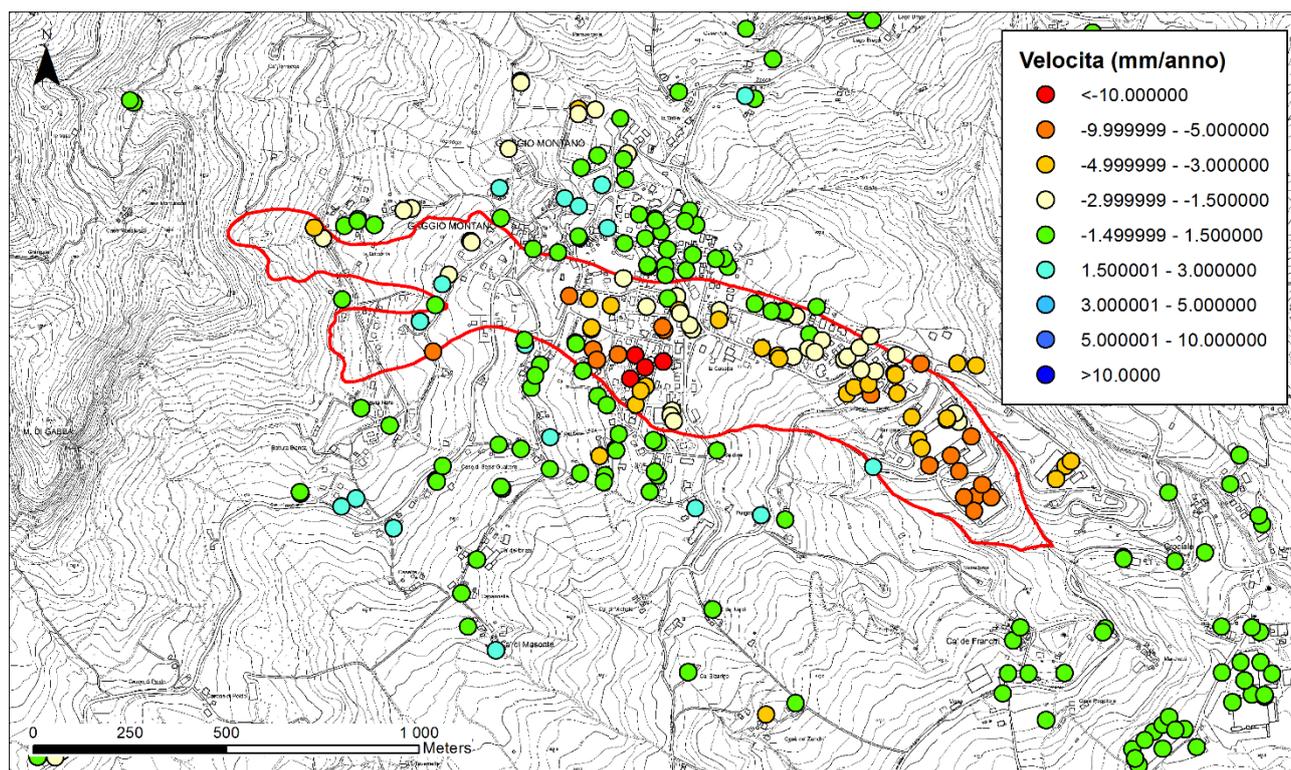
Per l'area di Gaggio Montano sono disponibili i seguenti dataset interferometrici:

Dataset	Periodo	N PS	Fonte
ENVISAT ascendente	2004-2010	83	PST Ministero Ambiente
ENVISAT discendente	2003-2010	187	PST Ministero Ambiente
COSMO-SkyMed ascendente	2011-2014	1375	PST Ministero Ambiente

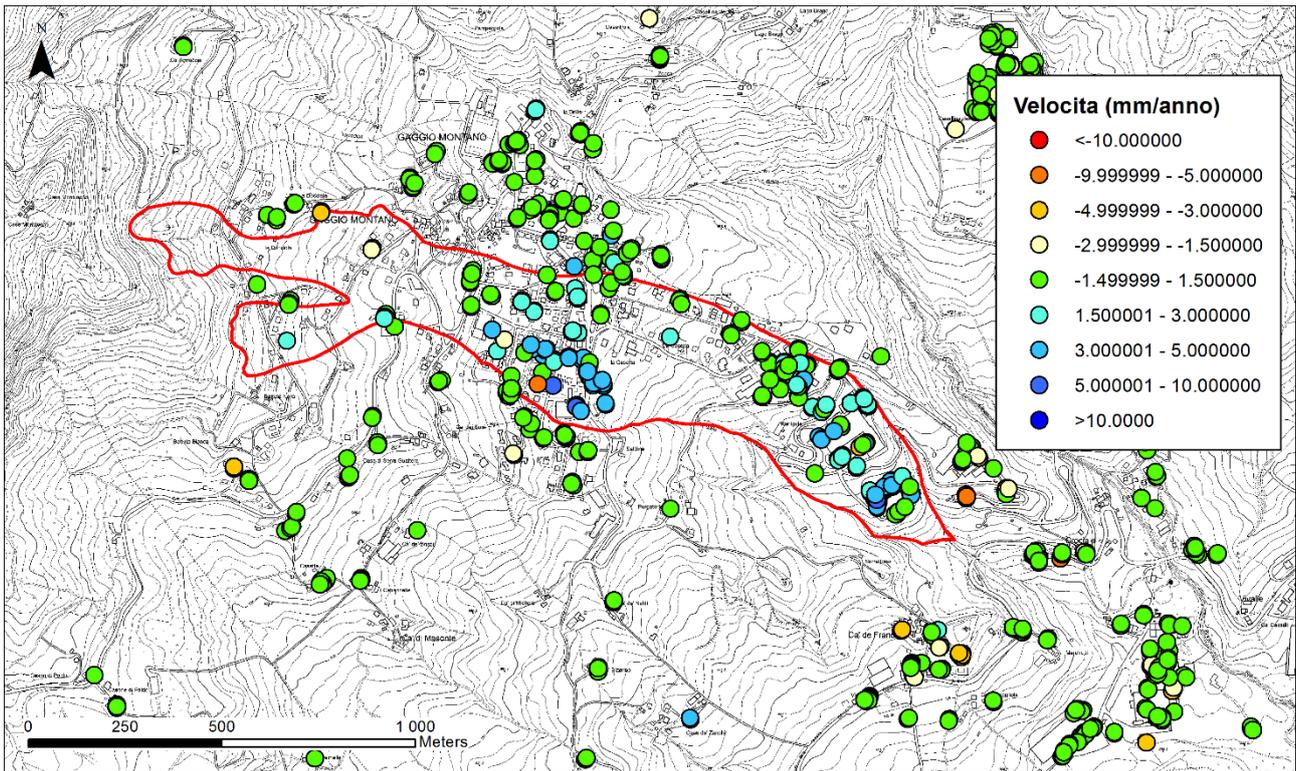
I dati sono stati forniti dal Servizio Geologico RER ma possono essere richiesti gratuitamente attraverso il GeoPortale del Ministero dell'Ambiente.

Le mappe in Fig. 6.15 mostrano i tre dataset del PST. I PS sono colorati sulla base della velocità media di spostamento. Visto che il versante di Gaggio Montano immerge verso est, un movimento verso valle ha velocità negative nell'orbita ascendente (colori caldi) e velocità positive in quella discendente (colori freddi). Purtroppo, solo metà del versante di Gaggio Montano è coperto dal frame COSMO-SkyMed. Gli stessi dati sono rappresentati come istogrammi di frequenza in Fig. 6.16.

#### ENVISAT ascendente (2004-2010)



ENVISAT discendente (2004-2010)



COSMO-SkyMed (2011-2014)

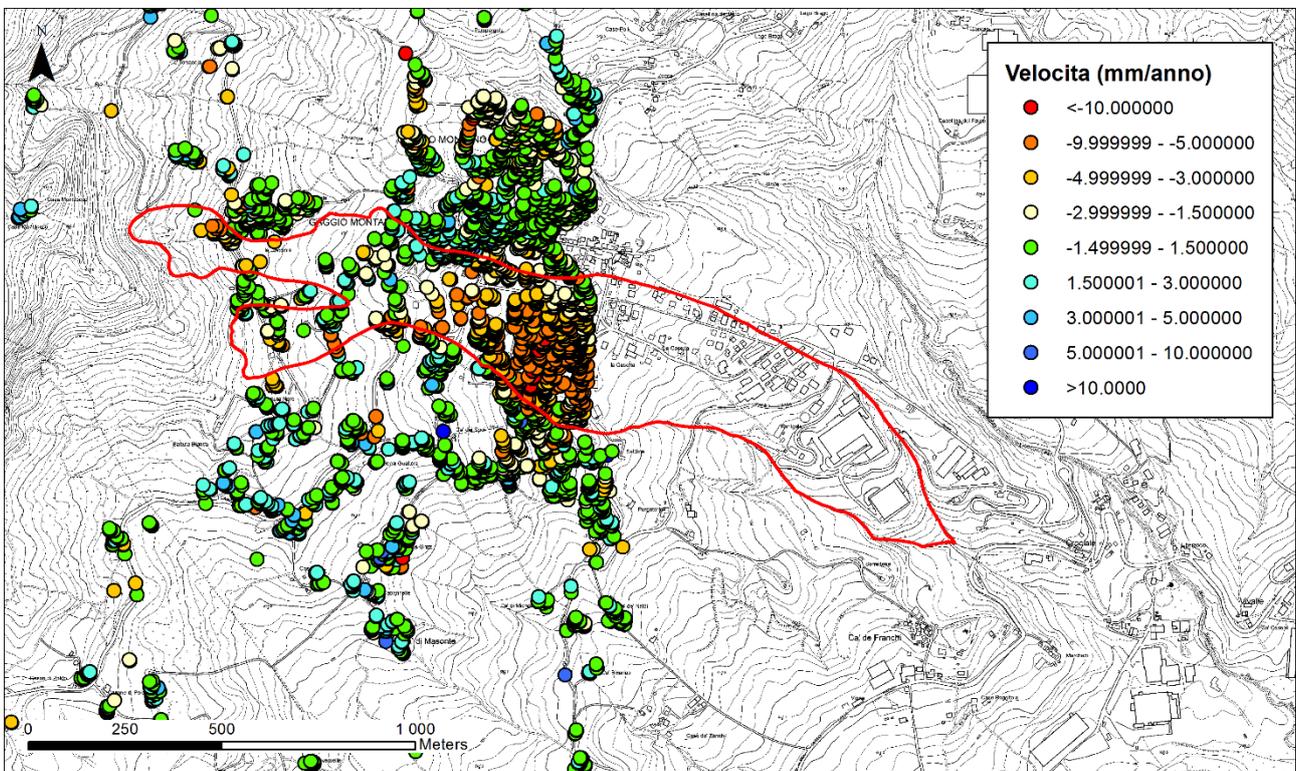
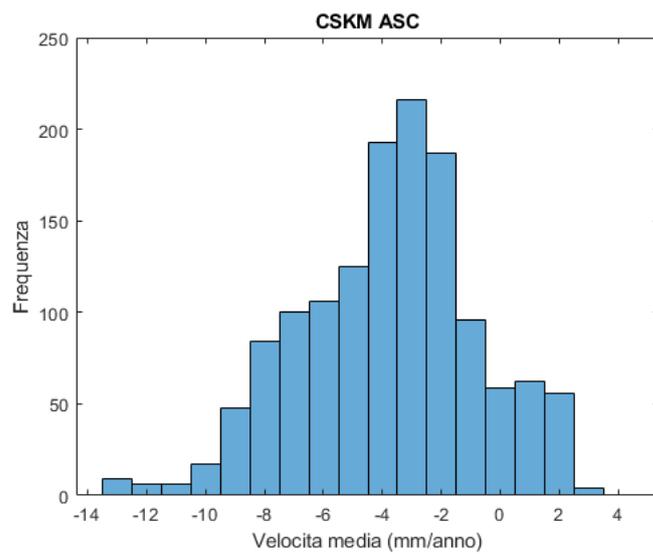
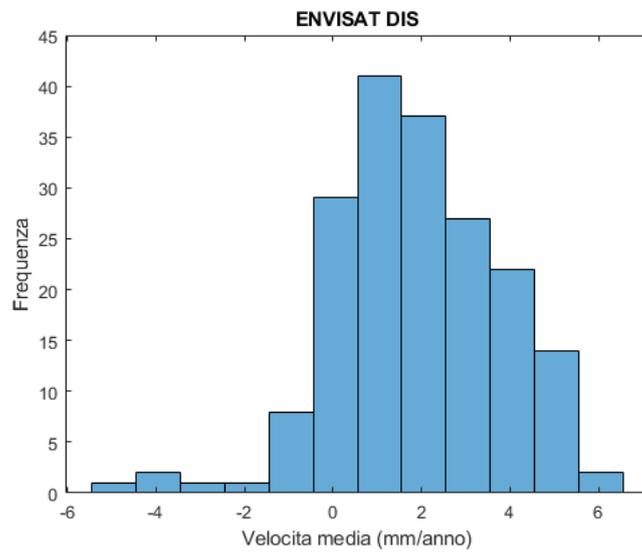
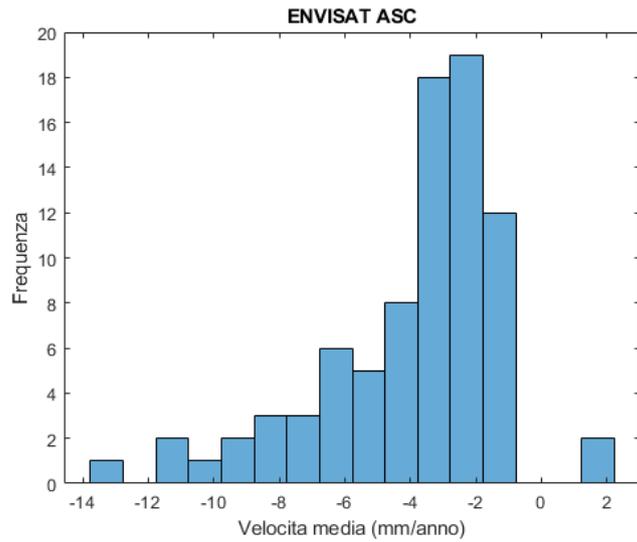


Fig. 6.15. Dati di interferometria satellitare PS disponibili nel Piano Straordinario di Telerilevamento del Ministero dell'Ambiente.



*Fig. 6.16. Istogrammi di frequenza dei valori medi di velocità di spostamento dei PS posti all'interno della frana di Gaggio Montano. Dati del Piano Straordinario di Telerilevamento del Ministero dell'Ambiente.*

I dati satellitari indicano che la frana di Gaggio Montano è in lento movimento. I valori di velocità sono estremamente bassi, dell'ordine di 5-10 mm/anno, ed in linea con quelli rilevati nelle misure inclinometriche. I movimenti sono piuttosto disomogenei e sembrano concentrarsi più nella zona centro-meridionale del corpo di frana ed in generale sul lato destro. Il corpo di frana è comunque chiaramente individuabile.

Le serie temporali dei PS posti all'interno del corpo di frana sono mostrate in Fig. 6.17. In ogni grafico è indicato con una linea rossa il terremoto più forte avvenuto durante il periodo di monitoraggio:

Dataset	Terremoto più intenso avvenuto durante il periodo di monitoraggio		
	Data	Magnitudo	Distanza (km)
ENVISAT	01/03/2008	4.4-4.5	28
COSMO-SkyMed	25/01/2013	4.8	40

Nel complesso i PS mostrano serie temporali di spostamento con andamento lineare. La frana si muove quindi con velocità relativamente costante e non sembra aver subito particolari accelerazioni o decelerazioni nel periodo 2004-2014.

Come si può notare, i dati sono di buona qualità nel rilievo ENVISAT ascendente mentre risultano molto rumorosi nei rilievi ENVISAT discendente e COSMO-SkyMed ascendente. L'elevato rumore di ENVISAT discendente dipende molto probabilmente dalla sfavorevole geometria di acquisizione del satellite (movimento verso la LOS), mentre nel caso di COSMO-SkyMed il segnale è spesso disturbato a causa della ridotta lunghezza d'onda su cui opera il satellite (banda X). Serie così rumorose non sono idonee per l'analisi statistica di covarianza e potrebbero fornire risultati errati.

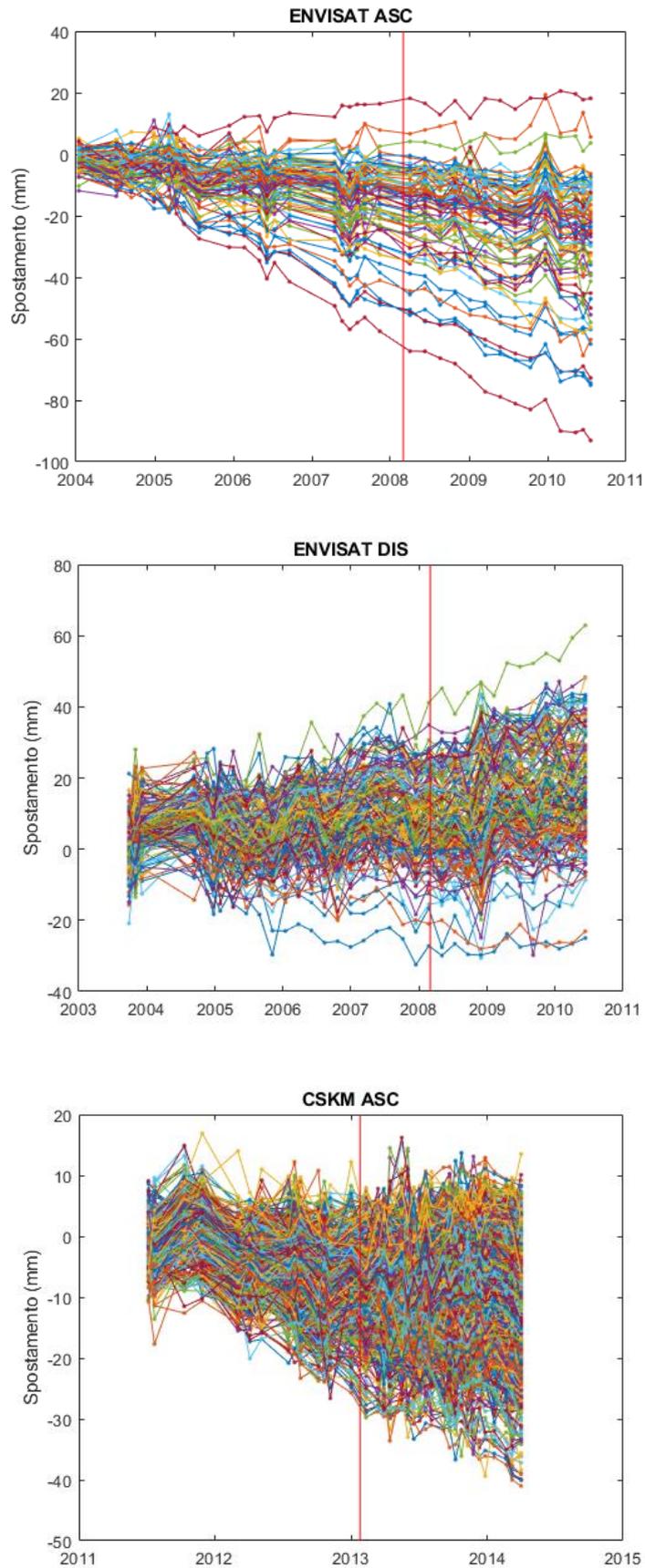
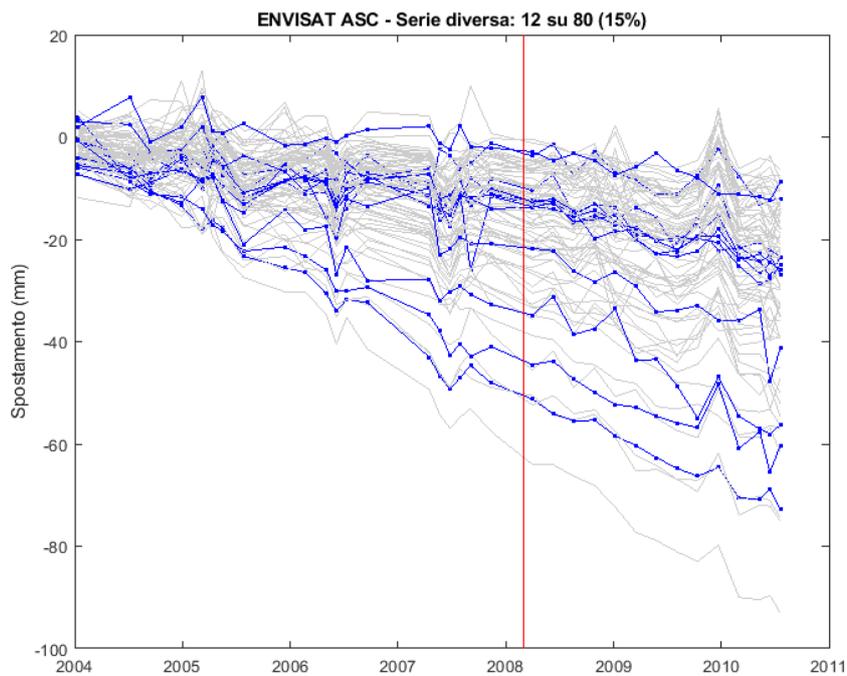


Fig. 6.17. Serie temporali di spostamento dei PS posti all'interno della frana di Gaggio Montano. Dati del Piano Straordinario di Telerilevamento del Ministero dell'Ambiente.

L'analisi statistica è stata quindi condotta sul solo dataset ENVISAT ascendente. I risultati sono mostrati in Fig. 6.18: solo 12 serie temporali su 80 (15%) non superano il test statistico di similarità (linee blu in figura). La gran parte delle serie temporali (68 su 80, pari all'85%) è invece continua e non mostra quindi alcuna variazione statisticamente significative di pendenza e/o intercetta dopo il sisma del 01/03/2008.



*Fig. 6.18. Risultati dell'analisi di covarianza sulle serie temporali di spostamento ENVISAT ascendente. La linea rosso indica il terremoto del 01/03/2008.*

## Dati Sentinel

A partire dal 2015 sono disponibili le immagini acquisite dal satellite Sentinel 1 dell' Agenzia Spaziale Europea). Gli interferogrammi ottenuti dai dati Sentinel sono di qualità molto elevata grazie all' alta frequenza di acquisizione (6 giorni in media) che riduce i problemi di decorrelazione. Il Ministero dell' Ambiente non ha ancora aggiornato il PST con questi dati ma è possibile scaricare gratuitamente le immagini satellitari che servono per l' analisi.

I PS che si ottengono dall' elaborazione delle immagini Sentinel sono molto numerosi e di maggiore qualità rispetto a quelli del PST. Anche le serie temporali sono più precise e meno rumorose. Per ottenere un dato di buona qualità però necessaria un' elaborazione esperta delle immagini satellitari. Per la presente Convenzione è stata richiesta un' elaborazione specifica allo spin-off Fragile s.r.l. (Università di Bologna). Fragile ha una grande esperienza nell' analisi interferometrica applicata ai movimenti di versante ed ha collaborato con diversi enti territoriali regionali.

L' analisi è stata condotta per il dataset discendente:

<b>Dataset</b>	<b>Periodo</b>	<b>N PS</b>	<b>Fonte</b>
SENTINEL ascendente	2015-2021		Fragile s.r.l.

I risultati sono riportati in Fig. 6.19 come mappa di velocità media dei PS e in Fig. 6.20 (sinistra) come istogrammi di frequenza. Bisogna notare che Fragile usa una convenzione opposta a quella del PST: velocità negative (colori caldi dal giallo al rosso) indicano movimenti di avvicinamento al satellite lungo la linea di vista (LOS), mentre valori positivi (colori freddi dall' azzurro al blu) indicano allontanamento al satellite lungo la LOS. Nel caso di Gaggio Montano quindi, un movimento verso valle avrà velocità negative in orbita discendente e positive in orbita ascendente.

Come si può notare in Fig. 6.19, la copertura dei PS è molto buona e decisamente maggiore rispetto ai dati del PST. I dati Sentinel mostrano che negli ultimi 6 anni il corpo di frana ha continuato a muoversi lentamente ma in modo diffuso. I valori massimi di velocità sono dell' ordine dei 10 mm/anno e sono in linea con quelli degli anni precedenti. Le porzioni in movimento più rapido sono localizzate nella porzione centrale della frana e al piede. Si notano movimenti anche nell' area del campo sportivo e nel versante a valle, che insistono almeno in parte su un grande corpo di frana quiescente

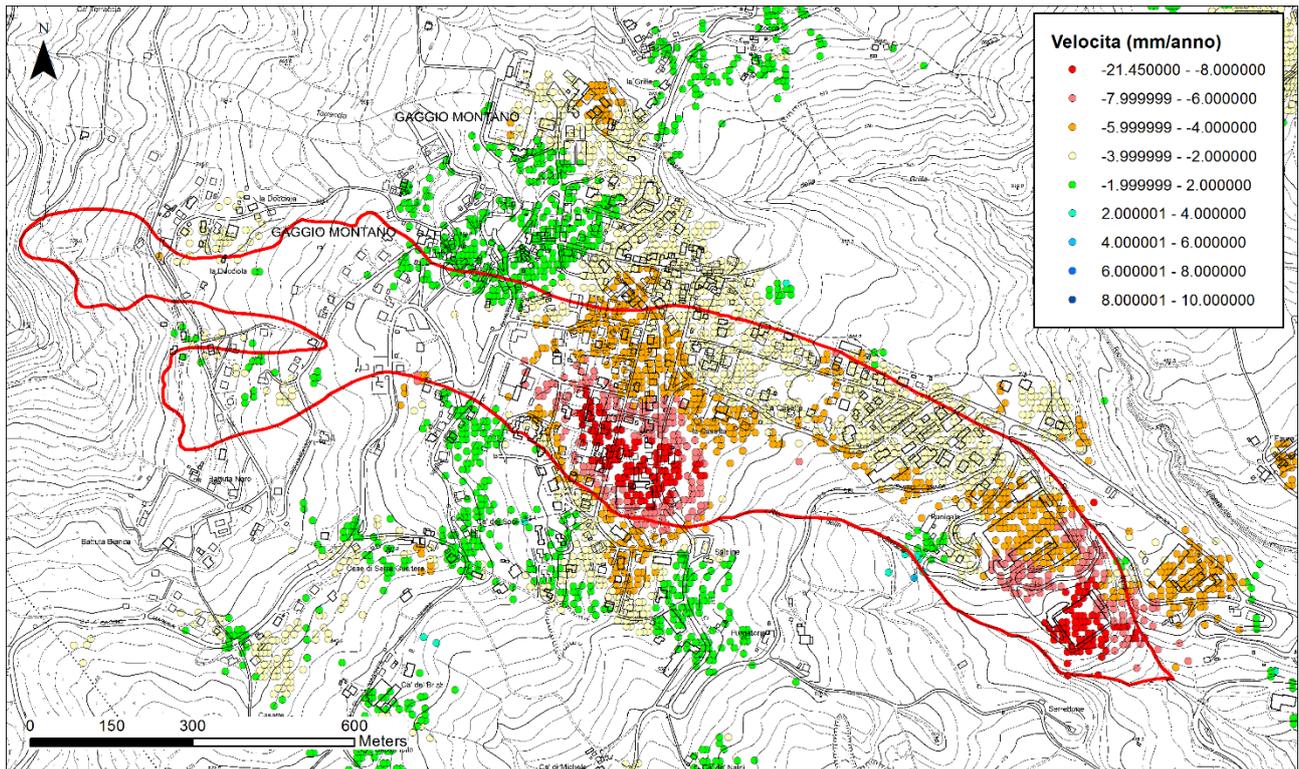


Fig. 6.19. Analisi interferometrica satellitare PS effettuata da Fragile s.r.l. su dati Sentinel (orbita discendente).

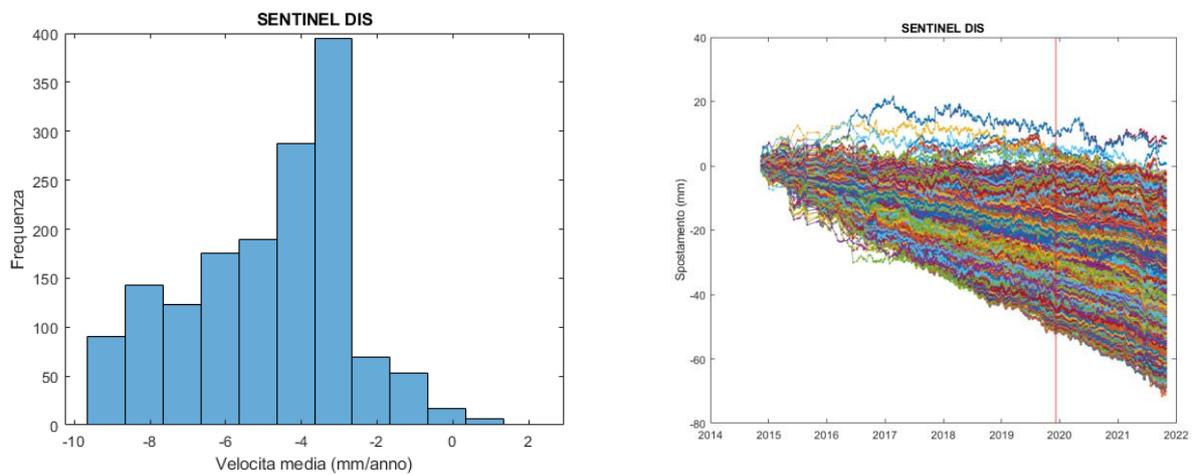


Fig. 6.20. Sinistra) istogramma di frequenza dei valori di velocità media. Destra) serie temporali di spostamento.

Le serie temporali di spostamento (Fig. 6.20 destra) confermano un movimento essenzialmente stazionario della frana, senza particolari accelerazioni o rallentamenti. Il fatto che le velocità siano molto basse e che non risentano delle fluttuazioni stagionali delle precipitazioni è un dato positivo.

La bassa rumorosità del dato consente di effettuare l'analisi statistica di covarianza già applicata ai dati ENVISAT per verificare se durante il periodo di misura ci sono stati spostamenti permanenti causati da terremoti. Il sisma più intenso avvenuto tra il 2015 e il 2020 è quello del 09/12/2019:

Dataset	Terremoto più intenso avvenuto durante il periodo di monitoraggio		
	Data	Magnitudo	Distanza (km)
SENTINEL	09/12/2019	4.5	36

Secondo la relazione di Sabetta e Pugliese il sisma avrebbe causato sul versante un'accelerazione di circa  $0.26 \text{ m/s}^2$ . È un valore rilevante anche se molto inferiore a quello massimo atteso di  $1.8 \text{ m/s}^2$  (vedi capitolo 5).

L'analisi di covarianza mostra che solo 74 serie temporali su 1540 (il 5%) sono caratterizzate da una variazione di pendenza e/o di intercetta significativa dopo il sisma di dicembre 2019. Nel grafico di Fig. 6.21 queste serie sono evidenziate in colore blu e corrispondono a PS in cui la velocità media è cambiata di oltre 3 mm/anno. Visto che il 95% delle serie temporali non mostra alcuna variazione, possiamo ragionevolmente concludere che il terremoto in esame non ha causato alcun spostamento percettibile del corpo di frana.

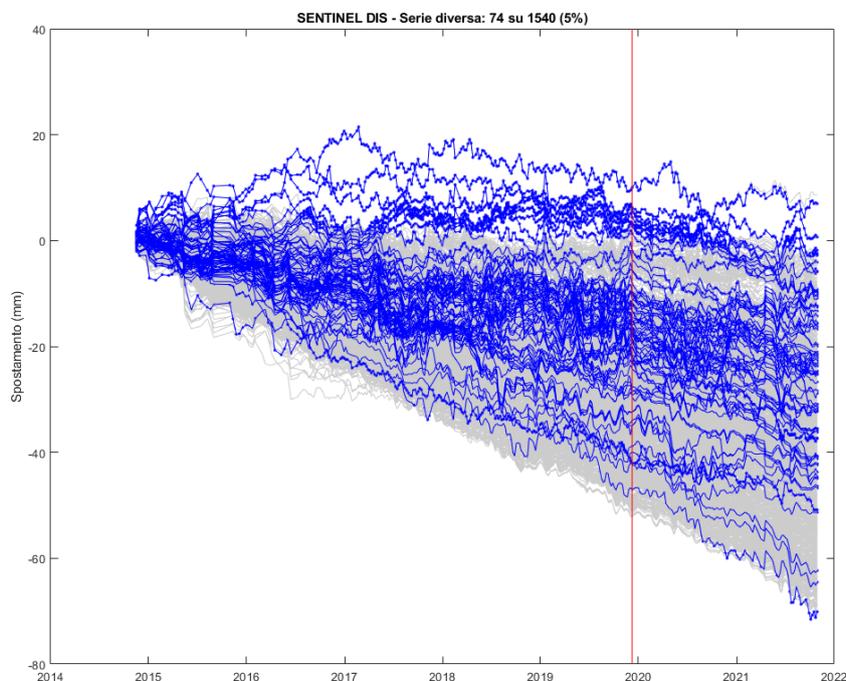


Fig. 6.21. Risultati dell'analisi di covarianza sulle serie temporali di spostamento SENTINEL discendente. La linea rosso indica il terremoto del 09/12/2019.

## 6.4 Calibrazione delle analisi di stabilità tramite dati di monitoraggio

I dati di monitoraggio possono essere combinati con le analisi di stabilità (capitolo 5) per ridurre le incertezze nei risultati ed ottenere una microzonazione sismica più affidabile.

Nel caso di Gaggio Montano tale integrazione non è in realtà necessaria visto che i risultati delle analisi sono molto robusti ed hanno un basso grado di incertezza. In un caso più generale, però, la variabilità dei parametri di resistenza (o le incertezze su altri parametri di input) possono produrre risultati molto differenti in termini di spostamento del corpo di frana, rendendo così difficile la definizione dello scenario da utilizzare per la microzonazione sismica. In tali condizioni l'integrazione con i dati di monitoraggio è molto utile.

Illustriamo la metodologia utilizzando il caso in esame. A Gaggio Montano sono stati considerati sia dati di monitoraggio satellitare (dati InSAR acquisiti dai satelliti ENVISAT e SENTINEL) che dati originali raccolti con un sistema di monitoraggio GPS-Raspberry Shake. I dati disponibili hanno permesso di escludere movimenti sismo-indotti per una serie di terremoti recenti:

Data (UTC)	M <sub>L</sub>	Distanza (km)	PGA <sub>h</sub> (m/s <sup>2</sup> )	Monitoraggio	Spostamento
09/09/2021	2.0÷2.6	10.0	0.11÷0.18	GPS-Raspberry Shake	Assente
09/12/2019	4.5	36	0.26	InSAR SENTINEL	Assente
01/03/2008	4.4÷4.5	28	0.31	InSAR ENVISAT	Assente

Come ci si poteva aspettare, i sismi registrati sono ben più deboli di quelli massimi attesi. Le accelerazioni orizzontali di picco sono infatti dell'ordine dei 0.26-0.31 m/s<sup>2</sup> mentre la PGA con tempo di ritorno di 475 anni è circa 6 volte maggiore ( $a=1.8$  m/s<sup>2</sup>). I soli dati di monitoraggio non consentono quindi di escludere movimenti del corpo di frana con sismi più forti.

Includiamo ora queste informazioni nelle analisi di stabilità. Prendiamo ad esempio il caso 7 delle analisi dinamiche (input sismico RER2007, accelerogramma 000354). I risultati sono riportati nella tabella sottostante e nel grafico  $c_u$ -spostamento di Fig. 6.22.

$c_u$ (kPa)	$F_{statico}$	$a_c$ ( $m/s^2$ )	Spostamento (cm)
51	0.993	0.000	125.38
52	1.013	0.016	44.92
53	1.033	0.041	25.60
54	1.053	0.068	17.42
55	1.072	0.093	12.66
56	1.092	0.120	9.94
57	1.112	0.143	7.88
58	1.132	0.169	6.30
59	1.152	0.196	5.20
60	1.172	0.222	4.35
62	1.192	0.247	3.03
65	1.231	0.294	2.00
70	1.291	0.373	1.03
75	1.390	0.500	0.54
80	1.489	0.638	0.31
90	1.589	0.765	0.10
100	1.787	1.010	0.05
120	1.986	1.285	0.00

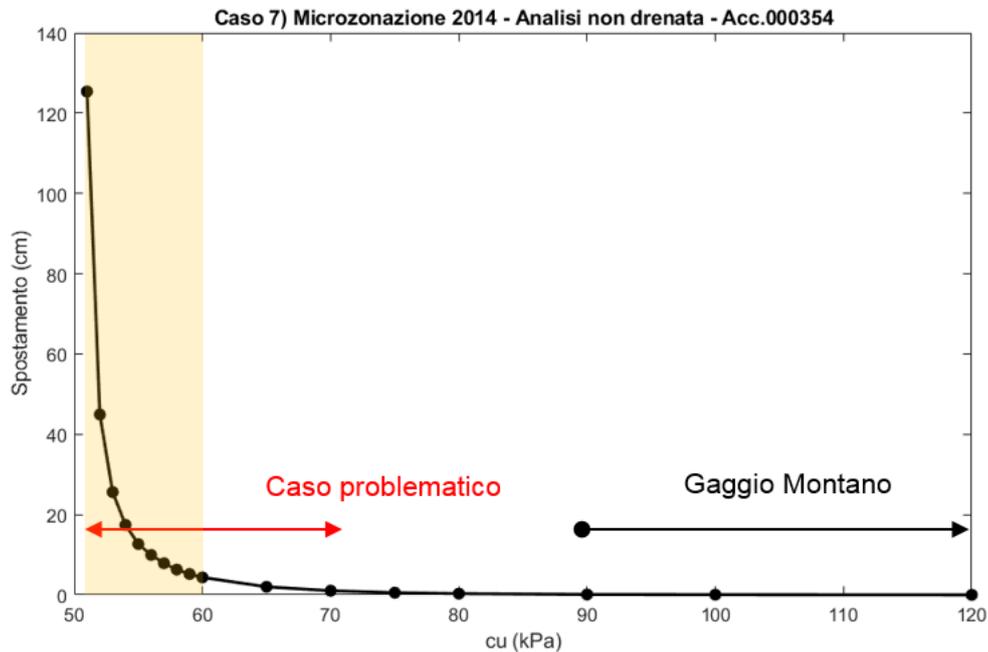


Fig. 6.22. Risultati delle analisi di stabilità dinamica (caso 7 Acc.000354). Il campo di variazione della freccia rossa indica un possibile caso problematico in cui la resistenza disponibile si sovrappone al campo dei valori di resistenza critica.

Le analisi mostrano una forte dipendenza tra coesione non drenata e spostamento simo-indotto, e prevedono spostamenti significativi del corpo di frana per valori di  $c_u < 60$  kPa (area evidenziata in arancione). Abbiamo già detto che nel caso di Gaggio Montano il terreno ha una resistenza molto maggiore (freccia nera in figura) per cui siamo ragionevolmente certi che non avverranno spostamenti.

Se però le resistenze fossero minori (freccia rossa) lo scenario cambierebbe radicalmente. In questo caso lo spostamento sismo-indotto potrebbe variare da 125 cm per  $c_u = 51$  kPa a 4 cm per  $c_u = 60$  kPa, cioè una differenza di oltre 1 metro per una variazione di  $c_u$  di soli 9 kPa. Visto che tutti i valori sono ugualmente probabili e che non è possibile determinare la resistenza non drenata con la precisione di pochi kPa, gli spostamenti risultano molto incerti.

Per ridurre questa incertezza seguiamo un semplice ragionamento:

- 1) i dati di monitoraggio indicano che un sisma con accelerazione di picco  $a \approx 0.30$  m/s<sup>2</sup> non produce alcun movimento del corpo di frana
- 2) l'accelerazione critica del versante deve essere quindi  $a_c > 0.30$  m/s<sup>2</sup> (altrimenti la frana si sarebbe mossa)
- 3) l'accelerazione critica è una proprietà intrinseca del versante e dipende (a parità di geometria del corpo di frana) solo dalla coesione non drenata
- 4) nel nostro caso, per avere  $a_c > 0.30$  m/s<sup>2</sup> la coesione non drenata del terreno deve essere  $c_u > 65$  kPa (valori rossi in tabella)
- 5) se  $c_u > 65$  kPa, il massimo valore di spostamento atteso è paria a circa 2 cm

Lo stesso risultato può essere ottenuto per via grafica realizzando un diagramma spostamenti-accelerazione critica (Fig. 6.23). Basta entrare nel grafico con l'accelerazione del sisma di monitoraggio ( $0.30 \text{ m/s}^2$ ) e leggere direttamente lo spostamento atteso per la PGA di progetto sull'asse y.

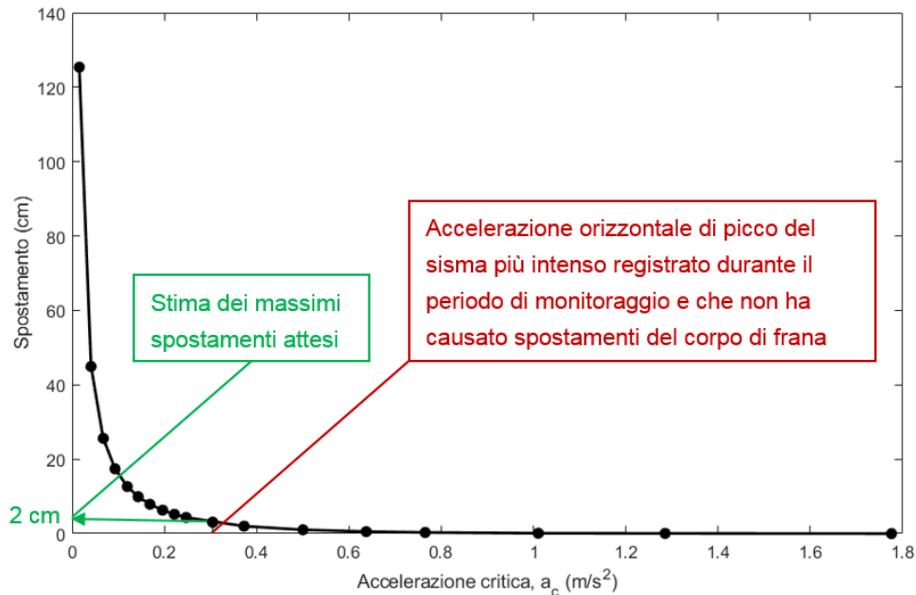


Fig. 6.23. Calibrazione delle analisi di stabilità tramite dati di monitoraggio.

In sostanza, grazie ai dati di monitoraggio abbiamo ristretto il campo di incertezza dello spostamento da oltre 1 m a meno di 2 cm. È un risultato molto positivo, soprattutto se consideriamo che l'accelerazione del sisma di monitoraggio è relativamente bassa, 6 volte inferiore a quella di progetto.

A questo proposito è necessario fare una precisazione. Quando diciamo che un sisma di  $0.30 \text{ m/s}^2$  “non ha prodotto alcun movimento” dovremo in realtà dire “nessun movimento percepibile dal sistema di monitoraggio”. Non possiamo infatti escludere che la frana si sia spostata, ad esempio, di pochi millimetri, e che tale spostamento non è stato rilevato dal sistema di monitoraggio. Se così fosse, l'accelerazione critica sarebbe inferiore a  $0.30 \text{ m/s}^2$  (magari di poco) e non potremmo calibrare l'analisi seguendo il ragionamento che abbiamo fatto.

Per effettuare un'analisi di questo tipo (che tenga cioè in considerazione la sensibilità del sistema di monitoraggio) serve un'analisi a ritroso. In pratica applichiamo al modello di Newmark il sisma di monitoraggio e determiniamo il valore di  $c_u$  che produce spostamenti inferiori a quelli rilevabili dal sistema stesso. Nel nostro esempio, per avere spostamenti inferiori al centimetro (valore indicativo di risoluzione dei dati InSAR SENTINEL) con un sisma di  $0.30 \text{ m/s}^2$ , la coesione non drenata deve essere  $c_u > 53 \text{ kPa}$ . A questo valore di  $c_u$  corrisponde uno spostamento di progetto di 44 cm (valori verdi in tabella). È un valore molto più alto dei 2 cm determinati sopra, ma che restringe comunque il campo di incertezza iniziale.

In definitiva, possiamo concludere che integrando le analisi di stabilità con i dati di monitoraggio è possibile ridurre le incertezze presenti. L'entità di tale riduzione, e quindi l'efficacia della calibrazione, dipende fortemente dall'intensità del sisma registrato durante il periodo di monitoraggio. Un sisma con accelerazione di picco  $a > 1/3 - 1/4$  della PGA è probabile che permetta una calibrazione molto efficace.

## 7 TASK E) RACCOMANDAZIONI PER LA ZONAZIONE SISMICA DI 3° LIVELLO

I dati raccolti e le analisi complessivamente effettuate nell'ambito della Convenzione hanno permesso di ottenere un quadro esaustivo sulle condizioni di stabilità statica e dinamica della frana di Gaggio Montano. Ai fini della zonazione sismica di 3° livello, riassumiamo i punti salienti:

- la frana di Gaggio Montano è un grande corpo di colata in terra costituito da terreni litologicamente e strutturalmente complessi di natura argillosa
- il corpo di frana ha una geometria essenzialmente tabulare ed ha uno spessore progressivamente crescente da monte verso valle, dove raggiunge una potenza massima di circa 30 m
- le misure inclinometriche e i dati di interferometria satellitare (ENVISAT e SENTINEL in particolare) mostrano che la frana è in lento movimento, con velocità generalmente comprese tra 5 e 10 mm/anno
- i movimenti, almeno negli ultimi 10-15 anni, sembrano costanti e non evidenziano significative accelerazioni o rallentamenti
- il corpo di frana è essenzialmente saturo e caratterizzato da una falda freatica posta a pochi metri dal piano campagna
- le scadenti caratteristiche di resistenza al taglio residua ( $\phi' \approx 14^\circ - 15^\circ$ ) e gli elevati livelli di falda giustificano le precarie condizioni di stabilità statica del versante, evidenziate dalla presenza di movimenti lenti ma continui
- le prove geofisiche effettuate in sito restituiscono una sismostratigrafia coerente col modello geologico-tecnico del versante ed indicano valori di  $V_s$  del corpo di frana mediamente comprese tra 200 e 300 m/s
- l'accelerazione orizzontale di base restituita dalla mappa di pericolosità è pari a 0.181g
- le analisi di risposta sismica locale 1D e 2D indicano effetti relativamente modesti di amplificazione stratigrafica e topografica, con risultati molto simili ottenuti utilizzando diversi input sismici al bedrock e diversi metodi di analisi
- gli spettri di risposta calcolati alla profondità media della frana non mostrano variazioni significative muovendosi da monte verso valle, né in termini di accelerazione di picco né di frequenze di scuotimento
- la sostanziale omogeneità della risposta sismica locale, unita alla mancanza di chiare differenze nelle caratteristiche dei materiali e nella morfologia del versante (almeno sulla base dei dati disponibili) portano a considerare il corpo di frana come un'entità unica, cioè senza zonazioni interne
- viste le caratteristiche dei materiali in frana (terreni argillosi saturi a bassa permeabilità) e la velocità della sollecitazione sismica, le analisi di stabilità dinamica vanno eseguite in condizioni non drenate (analisi in tensioni totali)

- le analisi di stabilità, effettuate considerando numerose combinazioni di input sismico al bedrock, risposta sismica locale e parametri di resistenza al taglio, indicano che non sono attesi spostamenti significativi del corpo di frana anche in caso di terremoti di forte intensità
- questi risultati hanno un basso grado di incertezza visto che i parametri di resistenza non drenata del materiale sono ampiamente superiori a quelli critici individuati nelle analisi
- come previsto dalla normativa, le analisi hanno considerato il movimento della frana nel suo complesso (scorrimento in blocco); in caso di terremoti forti non si possono quindi escludere effetti locali legati ad amplificazione superficiale e/o presenza di materiali scadenti
- i dati di monitoraggio in sito (sistema GPS-Raspberry Shake) e satellitare (analisi INSAR) confermano i risultati della analisi di stabilità: nel recente passato non sono avvenuti spostamenti significativi del corpo di frana anche in occasione di terremoti di media intensità (accelerazioni dell'ordine di 0.25-0.30 m/s<sup>2</sup>)

Sulla base dei risultati ottenuti è possibile perfezionare lo studio di microzonazione sismica effettuato nel 2014. Gran parte della documentazione prodotta non necessita in realtà di alcuna modifica essendo corretta. Le parti che andrebbero riviste riguardano essenzialmente le analisi di stabilità, che nello studio precedente erano state cautelativamente effettuate in condizioni drenate, e alcuni elaborati cartografici.

Per facilitare il processo di revisione è stata realizzata la tabella riportata di seguito. La tabella elenca gli elaborati prodotti nella microzonazione del 2014 ed indica le modifiche necessarie per aggiornare ogni elaborato e renderlo conforme con la metodologia sviluppata nell'ambito della Convenzione.

<b>Elaborato</b>	<b>Modifiche richieste</b>
Carta delle Indagini	Aggiornare la carta con le nuove indagini realizzate nell'ambito della Convenzione (prove MASW e HVSr)
Carta geologico-tecnica per la microzonazione sismica	Includere nella classe di "instabilità di versante colamento-quiescente" i depositi di frana posti attorno alla frana di Gaggio Montano e riportati nella cartografia RER come frane quiescenti. Nell carta del 2014 sono indicati come CLec (terreni di copertura) e non come depositi di frana.
Carta delle frequenze fondamentali dei terreni	Aggiornare la carta con i nuovi dati ottenuti dalle prove HVSr
Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica	Modificare la carta in accordo con la carta geologico-tecnica, riclassificando cioè i corpi di frana quiescente posti attorno alla frana di Gaggio Montano come ZAFR (Zona di attenzione per instabilità di versante quiescente), e in accordo con la carta delle indagini e delle frequenze inserendo i nuovi dati HVSr
Carta della velocità delle onde di taglio Vs	Aggiornare la carta con i nuovi dati ottenuti dalle prove MASW

Carta di microzonazione sismica (livello 3)	Adeguare la cartografia di microzonazione sismica, considerando la presenza delle frane quiescenti attorno alla frana di Gaggio Montano e i risultati delle verifiche di stabilità in condizioni sismiche (occorre quindi riclassificare la frana di Gaggio Montano), in coerenza con gli indirizzi regionali per la MS (DGR 476/2021 e DGR 564/2021)
Relazione illustrativa - Analisi di stabilità in condizioni dinamiche	Aggiornare la relazione in base ai nuovi risultati ottenuti
Spettri di risposta al sito	Sostituire con gli spettri delle nuove analisi RSL (v. analisi condotte e indirizzi regionali per la MS, DGR 476/2021 e DGR 564/2021)
Banca dati GIS	Aggiornare la banca dati GIS in base ai nuovi dati e alle modifiche cartografiche effettuate utilizzando gli standard di rappresentazione e archiviazione informatica per la Microzonazione Sismica versione 4.2

Come si vede, a parte la questione analisi di stabilità, la modifica principale riguarda l'inserimento dei depositi di frana quiescente che circondano la frana di Gaggio Montano, e che nella microzonazione del 2014 sono stati considerati terreni di copertura.

A questo proposito si precisa che nell'ambito della Convenzione non sono stati effettuati nuovi rilievi geologici e geomorfologici dell'area; quindi, questa raccomandazione si basa esclusivamente su quanto riportato nella cartografia geologica RER e sulla nostra interpretazione. Chi realizzerà l'aggiornamento della microzonazione è ovviamente libero di fornire un'interpretazione differente se supportata da dati di maggior dettaglio.