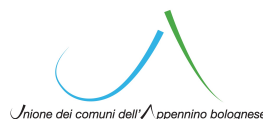


FSC

Fondo per lo Sviluppo
e la Coesione

**Intervento finanziato con risorse
FSC 2014-2020 – Piano operativo della Città
metropolitana di Bologna
Delibera CIPE n.75/2017**



**Progetto per la realizzazione del
"PERCORSO CICLOTURISTICO EUROVELO 7
TRATTA MARZABOTTO-SILLA"
(Stralcio funzionale Ponte di Sperticano - Riola
nei Comuni di Marzabotto, Grizzana Morandi e Vergato)**

COMUNE DI MARZABOTTO PROGETTO DEFINITIVO

**Studio geologico e sismico ai sensi della Delibera
di Giunta della Regione Emilia Romagna
n. 2193 del 21 dicembre 2015**

R.U.P.

ING. EMILIO PEDONE

GRUPPO DI PROGETTAZIONE

ING. EMILIO PEDONE

GEOL. ALDO FANTINI

ING. FRANCESCO BORRI

DOTT. FOR. ALESSANDRA PESINO

ELABORATO D1

REVISIONE 00

DATA Marzo 2020

COMUNE DI MARZABOTTO

Città Metropolitana di Bologna

PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DEL "PERCORSO CICLOTURISTICO EUROVELO 7 TRATTA MARZABOTTO-SILLA"

(STRALCIO FUNZIONALE PONTE DI SPERTICANO - RIOLA
NEI COMUNI DI MARZABOTTO, GRIZZANA MORANDI E VERGATO)

STUDIO GEOLOGICO E SISMICO

Prima stesura: aprile 2019

Revisione 1: aprile 2020

Redazione:



via masaccio, 3 - 40133 bologna
piazza giovanni XXIII, 12/B
40133 bologna
tel. 051-9912225 - fax: 051-4122990
e-mail: lucamonti@ultraland.it



INDICE

1. PREMESSA	3
2. INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO	4
3. MODELLO LITOSTRATIGRAFICO E GEOTECNICO	5
4. MODELLO SISMICO	6
4.1. Pericolosità sismica di base.....	6
4.2. Condizioni topografiche	6
4.3. Caratterizzazione sismica del comparto.....	6
4.4. Microzonazione di I livello - Tavola 2C foglio IV Variante PTCP	7
5. RISPOSTA SISMICA LOCALE (III Livello di Approfondimento).....	8
5.1. Sismostratigrafia di Input	9
5.2. Risultato Della Modellazione Numerica	9
6. VERIFICHE ANALITICHE DI STABILITÀ	10
7. CONSIDERAZIONI E CONCLUSIONI	11

1. PREMESSA

Il presente studio geologico è a corredo della variante agli strumenti urbanistici del Comune di Marzabotto e interessato dal progetto di realizzazione del *"Percorso Cicloturistico Eurovelo 7 Tratta Marzabotto-Silla"* (Stralcio funzionale Ponte di Sperticano - Riola nei Comuni di Marzabotto, Grizzana Morandi e Vergato).

L'elaborato è stato predisposto ai sensi della *Delibera di Giunta della Regione Emilia Romagna n. 2193 del 21 dicembre 2015*, che costituisce l'aggiornamento degli indirizzi regionali per studi di microzonazione sismica (MS) per la pianificazione urbanistica (*deliberazione dell'Assemblea Legislativa n. 112 del 2 maggio 2007*).

In particolare, lo studio ha analizzato un comparto dove, sulla base delle Tavole di PTCP, è necessario effettuare, in relazione al rischio sismico, un approfondimento di III livello. L'area di studio ricade nella frazione di Pioppe a immediatamente valle della località i Boschi.

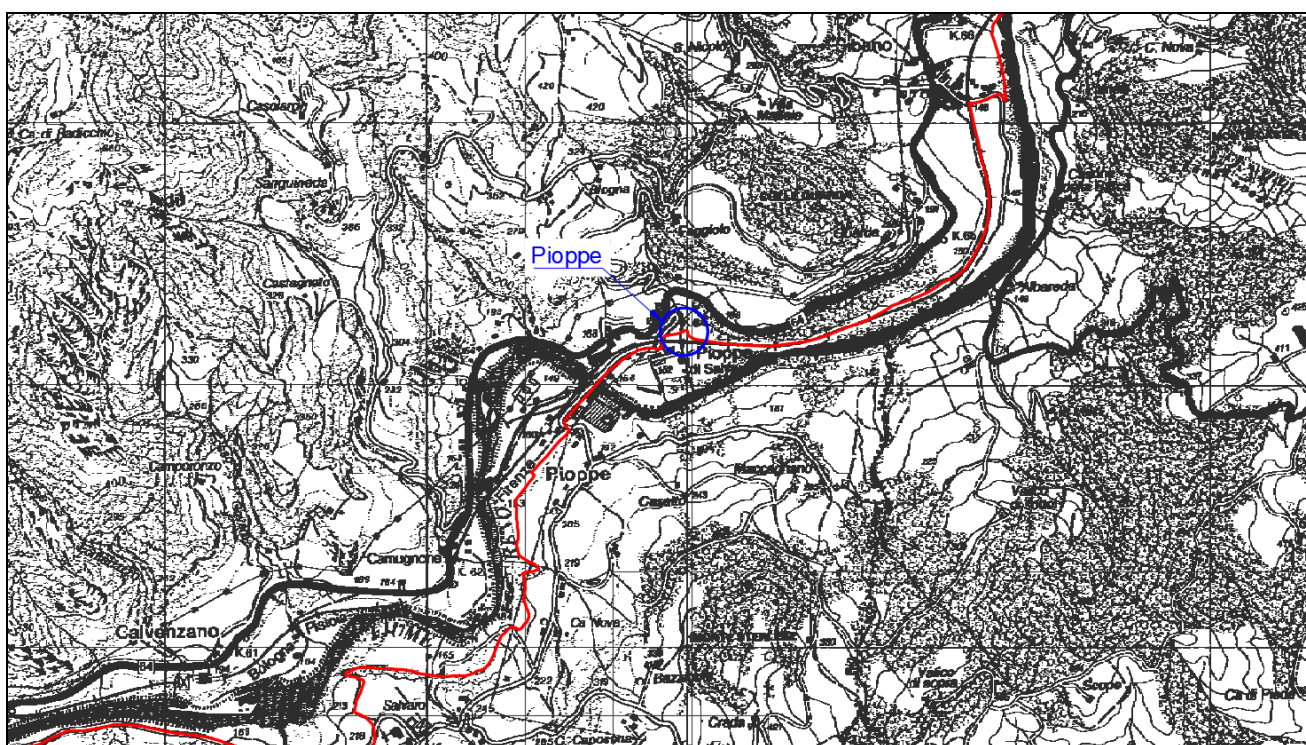


Figura 1. Ubicazione aree di studio su base cartografica CTR in scala 1:250.000.

Per la redazione del presente elaborato è stata condotta una verifica di superficie necessaria a inquadrare lo stato generale dei luoghi, individuando in particolare le condizioni geomorfologiche, cui è seguita, con l'intento di creare un quadro conoscitivo esauriente, la consultazione della seguente cartografia e documentazione:

- *Inventario del Dissesto della R.E.R.;*
- *Cartografia geologica e dei suoli on-line, Servizio Geologico e Sismico e dei Suoli della Regione Emilia Romagna;*
- *Variante al P.T.C.P. della Provincia di Bologna ai sensi della L.R. 20/2000 e s.m.i.- Stesura adottata.*
- *Studi geologici e dati geognostici a disposizione dello scrivente.*

A partire da quanto riportato dalle varie cartografie tematiche e dagli studi specifici, sulla base dei rilievi e degli approfondimenti condotti si è giunti agli approfondimenti necessari per le finalità richieste dal presente elaborato.

Le analisi e le successive considerazioni sono state realizzate in modo tale da definire nel dettaglio lo "stato dei luoghi", caratterizzando il comparto dal punto di vista geologico stratigrafico il più precisamente possibile. L'attenzione è stata focalizzata, oltre sugli aspetti geologico-strutturali, sugli aspetti morfologici geotecnici e sismici al fine di definire nel miglior modo possibile il modello geologico e geotecnico di riferimento per le valutazioni della risposta sismica locale e del grado di stabilità del comparto studiato.

L'area in esame è individuata nella seguente Cartografia Tecnica Regionale dell'Emilia Romagna:

Comparto	Cartografia Tecnica Regionale Scala 1:25.000	Cartografia Tecnica Regionale Scala 1:5.000
Pioppe	237_NE "Marzabotto"	237073 "Sibano"

2. INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO

Il settore analizzato ricade lungo il fondovalle del Fiume Reno immediatamente a monte della linea Ferroviaria Bologna - Porretta in località Pioppe nel comune di Marzabotto nei pressi del toponimo Boschi.

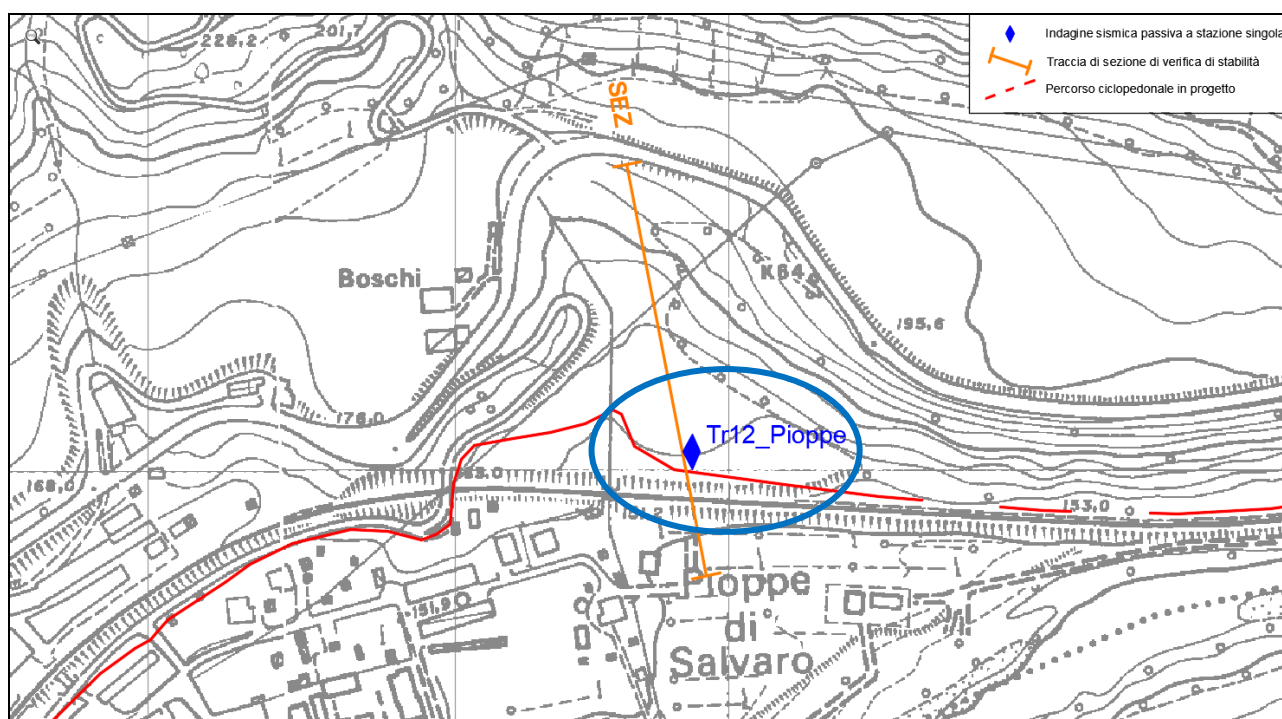


Figura 2. Individuazione comparto di studio su CTR della Regione Emilia Romagna.

Geologicamente nell'area il substrato è costituito da unità appartenenti al Successione Epiligure rappresentate dalle Formazioni di Pantano, dalle Breccie argillose della Val Tiepido-Canossa e dalle Marne di Antognola Menbro di Anconella. In particolare nel comparto di studio il substrato geologico è costituito dalla Formazione delle Breccie argillose della Val Tiepido-Canossa (MVT). Si tratta di breccie a matrice argillosa grigia o grigio-scura, talora varicolore, con clasti decimetrici o di dimensioni maggiori di prevalenti calcilutiti biancastre tipo "palombino", calcari marnosi, marne, argilliti, siltiti e arenarie, e inclusi da decametrici ad ettometrici di formazioni liguri o epiliguri. La matrice può essere prevalente. Alla scala del campione è evidente la tessitura clastica "matrix-supported". I blocchi di maggiori dimensioni, talora cartografabili, sono presenti per lo più alla base. Sono state distinti: una litofacies argilloso-calcareo (MVTb) caratterizzata da maggiore frequenza di blocchi calcarei; inclusi arenacei (MVTar); inclusi calcareo-marnosi (MVTca); inclusi di argille varicolori (MVTva). Il limite inferiore è netto su MMP; questa unità presenta evidenti rapporti di eteropia con ANT e risulta anche sovrapposta ad unità epiliguri e liguri più antiche. Si tratta di depositi di

colata gravitativa (mud e debris flow). La potenza massima varia da qualche decina ad oltre 200 metri (Aquitaniense).

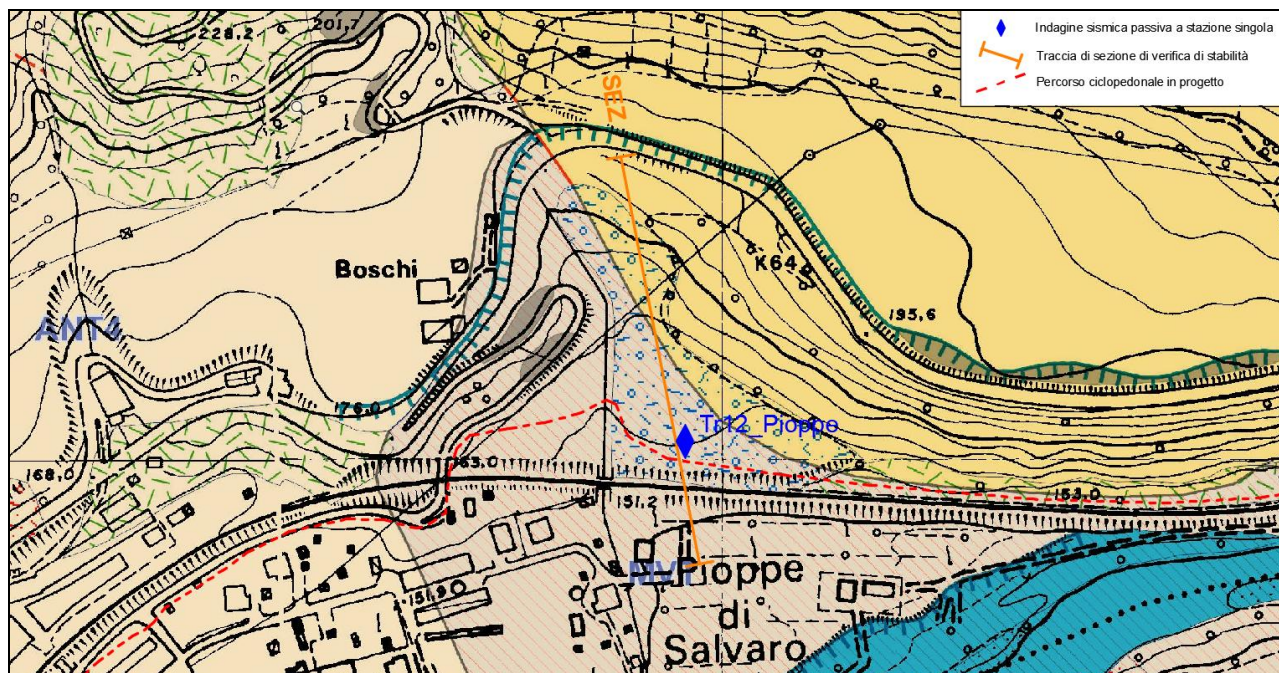


Figura 3. Stralcio carta geologica.

Dal punto di vista morfologico il comparto digrada in modo regolare verso SSE con una modesta pendenza, verso monte, invece, questa cresce rapidamente per la presenza di litotipi più competenti appartenenti alla Formazione di Pantano.

3. MODELLO LITOSTRATIGRAFICO E GEOTECNICO

Vista la tipologia di intervento in progetto e le finalità del presente studio, per caratterizzare da un punto di vista geotecnico il comparto si è fatto riferimento ai numerosi dati a disposizione dello scrivente e ai dati bibliografici. Con i risultati delle verifiche effettuate nel corso del sopralluogo e dall'analisi geofisica eseguita, è stato possibile ricostruire in modo sufficientemente accurato sia il modello litostratigrafico sia geotecnico del comparto consentendo di definire in modo appropriato la profondità del substrato geologico e le caratteristiche geomeccaniche dei terreni presenti. In particolare, è stata evidenziata la presenza di una copertura e/o substrato superficiale alterato di circa 12 m di spessore, che si sovrappone al substrato geologico inalterato ascrivibile alla Formazione Breccie argillose della Val Tiepido-Canossa. Quest'ultimo infatti si presenta inizialmente decompresso con proprietà geotecniche in miglioramento con la profondità. Nella seguente tabella si rappresenta in modo sintetico il modello geotecnico dell'area e i parametri geotecnici caratteristici delle unità litotecniche individuate, attenendosi alle indicazioni delle Norme Tecniche per le Costruzioni approvate con il D.M. 17-01-2018.

MODELLO LITOSTRATIGRAFICO E PARAMETRI GEOTECNICI CARATTERISTICI				
<i>Unità litostratigrafica</i>	<i>Profondità dal p.c. [m]</i>	<i>γ_k [t/m³]</i>	<i>ϕ'_k [°]</i>	<i>c'_k [KPa]</i>
Copertura e/o substrato decompresso	da 0÷12	1,9	20	5
Substrato	da 12	2,0	24	50

I parametri geotecnici utilizzati sono derivati da una stima ponderata e cautelava dei dati a disposizione dello scrivente, riferiti ad unità litotecniche simili. e cautelativamente ridotti

4. MODELLO SISMICO

4.1. Pericolosità sismica di base

La pericolosità sismica di base è definita dall'accelerazione sismica di picco su suolo di tipo A, che si determina attraverso un'interpolazione lineare dei valori di accelerazione forniti dall'Ingv, per l'intero territorio nazionale, sui punti di una griglia con passo 0.05°. Per il sito in esame si ottiene $a_{gmax} = 0.160g$.

4.2. Condizioni topografiche

Il comparto in esame, che si colloca alla base di un versante ed è caratterizzato da una modesta pendenza, è ascrivibile alla categoria T1 della classificazione della NTC18 (Tabella 3.2.IV – Categorie topografiche delle) dove non si prevedono fenomeni di amplificazione topografica ($S_T = 1$).

4.3. Caratterizzazione sismica del comparto

Per caratterizzare da un punto di vista geofisico l'area è stata realizzata un'indagine sismica passiva a stazione singola attraverso l'acquisizione del microtremore sismico (indagini HVSR). La prova HVSR è stata ubicata tenendo in considerazione l'assetto geologico e geomorfologico del comparto in modo tale da caratterizzarlo in modo appropriato (Figura 2).

L'indagine a stazione singola, con acquisizione del microtremore ambientale, è stata eseguita utilizzando un acquisitore tromografico digitale (**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/s²) 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.

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

La misura di microtremore, unitamente ai numerosi dati geotecnici a disposizione dello scrivente, hanno consentito di definire in modo appropriato il profilo di velocità delle onde di taglio (V_s) del sottosuolo necessario alla definizione della Risposta Sismica Locale di III livello.

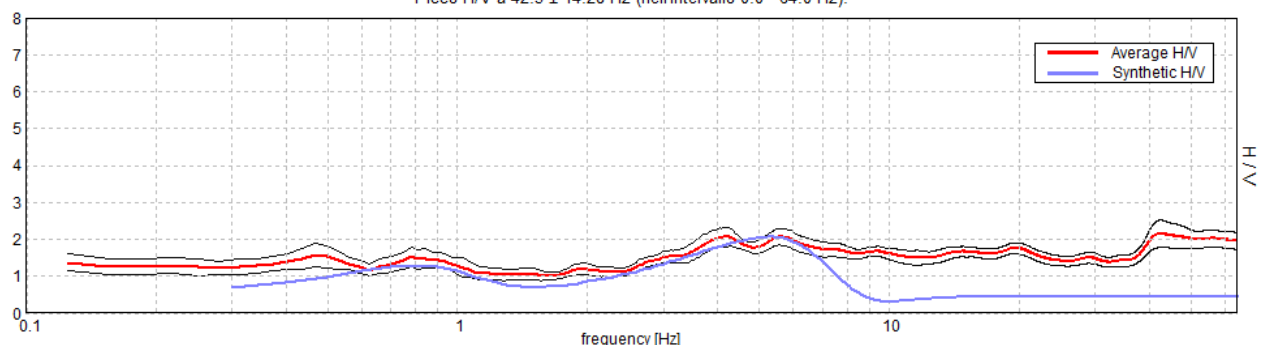
SISMOSTRATIGRAFIA

Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	V_s [m/s]	Rapporto di Poisson
10.00	10.00	230	0.42
38.00	28.00	460	0.42
158.00	120.00	540	0.42
inf.	inf.	800	0.42

$V_s(0.0-30.0)=345\text{m/s}$

EXPERIMENTAL vs. SYNTHETIC H/V

Picco H/V a 42.5 ± 14.28 Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).



4.4. Microzonazione di I livello - Tavola 2C foglio IV Variante PTCP

Nella variante al PTCP ai sensi dell'art.27 della L.R. 20/2000 e s.m.i. Delibera di Consiglio Provinciale n.4 del 14/01/2012, facendo riferimento alla Tavola 2C_foglio IV alla scala 1: 25.000 denominata "Rischio sismico: carta delle aree suscettibili di effetti locali", il comparto in esame risulta classificato come "*Q - Area potenzialmente instabile e soggetta ad amplificazione per caratteristiche litologiche*" (Figura 4).

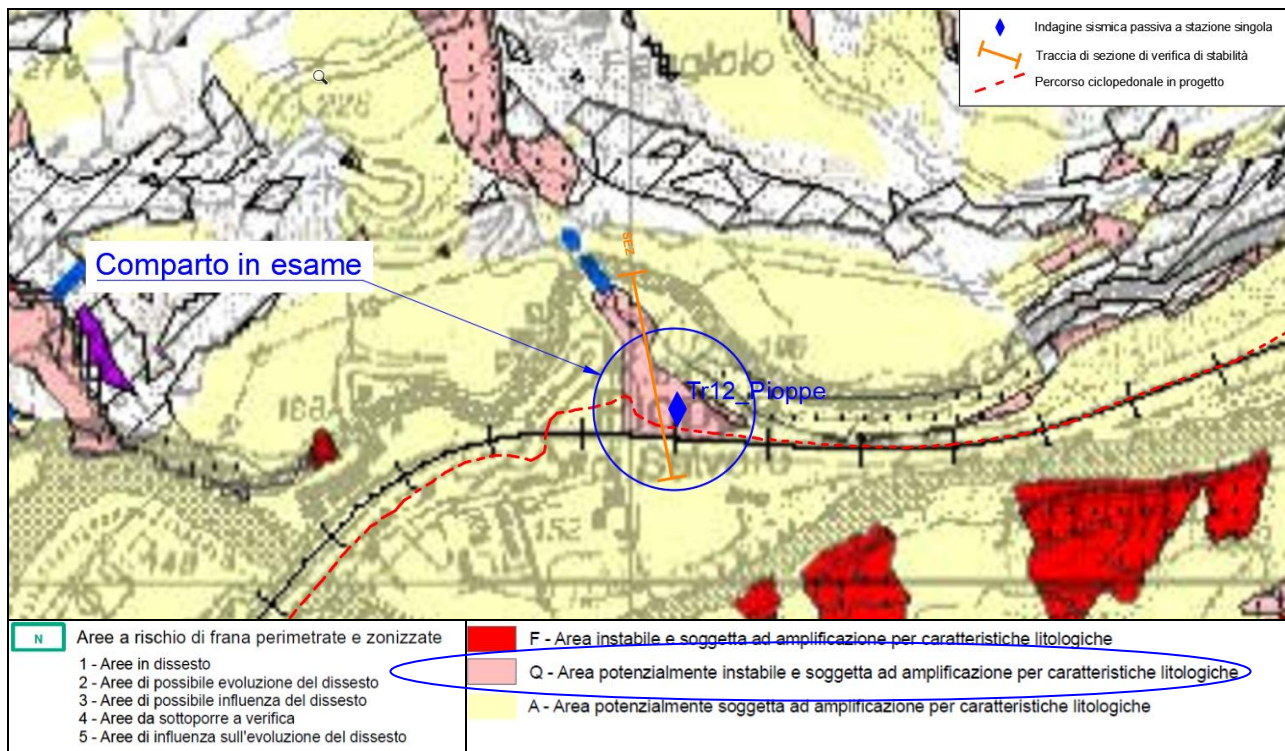


Figura 4. Stralcio della Tavola 2C foglio IV della Variante al PTCP "Rischio sismico: carta delle aree suscettibili di effetti locali".

In base alle Norme di Attuazione della variante al PTCP in materia di riduzione del rischio sismico è necessario predisporre un approfondimento di III livello.

5. RISPOSTA SISMICA LOCALE (III Livello di Approfondimento)

Come accennato in premessa nell'area di studio è stata effettuato uno studio di Risposta Sismica Locale di III livello. A tal fine è stato utilizzato il codice di calcolo monodimensionale STRATA scritto nel 2007 da Albert Kottke e dal 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.

Per la definizione del moto di input ci si è riferiti a quanto contenuto nella Delibera Giunta della Regione Emilia Romagna **n. 2193 del 21 dicembre 2015** che costituisce l'aggiornamento degli indirizzi regionali per studi di microzonazione sismica (MS) per la pianificazione urbanistica, atto d'indirizzo ai sensi dell'art. 16 della LR 20/2000 (deliberazione dell'Assemblea Legislativa n. 112 del 2 maggio 2007). La Regione Emilia Romagna ha predisposto tale aggiornamento a seguito dell'entrata in vigore delle Norme Tecniche per le Costruzioni (D.M. 14/1/2008), della pubblicazione degli "Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica" del Dipartimento della Protezione Civile e Conferenza delle Regioni e P. A. (ICMS 2008), delle numerose fusioni di Comuni, avvenute e in atto, in Emilia-Romagna nonché dei numerosi dati acquisiti e studi effettuati in oltre 8 anni di attività. In particolare, l'aggiornamento tiene conto dei dati acquisiti e degli *studi effettuati per la ricostruzione e la pianificazione urbanistica post-sisma* di L'Aquila 2009 ed Emilia 2012, ai quali hanno contribuito i Servizi regionali Geologico, Sismico e dei Suoli e Pianificazione Urbanistica, Paesaggio e Uso Sostenibile del Territorio e gli *studi realizzati con i contributi per studi di riduzione del rischio sismico* di cui all'art. 11 della L. 77/2009 (OPCM 3907/2011 – DGR 1051/2011; OPCM 4007/2012 – DGR 1302/2012; OCDPC 52/2013 – DGR 1919 2013) che hanno consentito anche l'aggiornamento degli ICMS 2008 e degli

standard nazionali di riferimento per gli studi di microzonazione sismica (v. documenti della Commissione Tecnica per la microzonazione sismica del Dipartimento della Protezione Civile).

La DGR 2193/2015 fornisce, per il calcolo della risposta sismica locale nelle analisi di terzo livello, tre 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 2008, ovvero con V_{S30} superiore a 800 m/s. I segnali di riferimento sono forniti in forma normalizzata (ampiezza massima assoluta unitaria), e devono pertanto essere moltiplicati per il valore di accelerazione massima orizzontale (a_{gref}) che rappresenta la pericolosità sismica di base del sito in esame. Tale valore di accelerazione si determina attraverso un'interpolazione lineare dei valori di accelerazione forniti dalla Regione, per l'intero territorio regionale, sui punti di una griglia con passo 0.05° gradi. In particolare per il comparto in esame tale valore è di **$a_{gref} = 0,160$ g**.

5.1. Sismostratigrafia di Input

Per il comparto è stata ricostruita la stratigrafia sismica del sito attraverso un'indagine sismica passiva a stazione singola, unitamente ai numerosi dati geognostici a disposizione dello scrivente.

Visto il contesto geologico di riferimento, i dati disponibili e le finalità del presente studio, 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 nelle seguenti tabelle suddivise in base ai due contesti geologici individuati.

Name	Unit Weight (kN/m ³)	G/G_max Model	Damping Model
coltre	18.60	Idriss (1990), Clay	Idriss (1990), Clay
substrato	19.60	Argilliti Alterate (Garfagnana)	Argilliti Alterate (Garfagnana)
substrato profondo	20.60	Argilliti Alterate (Garfagnana)	Argilliti Alterate (Garfagnana)

5.2. Risultato Della Modellazione Numerica

Dallo studio di RSL si ricava l'accelerazione sismica di picco a_{gmax} utilizzata per le verifiche analitiche di stabilità in condizioni sismiche e i parametri che quantificano l'amplificazione sismica del comparto analizzato. Questi sono espressi sia in termini di rapporto di accelerazione massima orizzontale ($FA_{PGA} = PGA/PGA_0$) sia di rapporto di Intensità di Housner ($FA_{SI1} = SI1/SI_{10}$; $FA_{SI2} = SI2/SI_{20}$) per prefissati intervalli di periodi ($SI1: 0.1s \leq T_0 \leq 0.5s$; $SI2: 0.5s \leq T_0 \leq 1.0s$), dove PGA_0 e SI_0 sono rispettivamente l'accelerazione massima orizzontale e l'Intensità di Housner al suolo di riferimento e PGA e SI sono le corrispondenti grandezze di accelerazione massima orizzontale e intensità di Housner in superficie determinati a seguito dell'elaborazione con il software Strata.

In particolare lo studio di risposta sismica locale di terzo livello ha consentito di definire un'accelerazione sismica di picco **$a_{gmax} = 0.204$ g** e i seguenti fattori di amplificazione:

$FA_{PGA} =$	1.3	(Fattore di Amplificazione accelerazione di picco orizzontale)
$FA_{SI1} =$	1.5	(Fattore di amplificazione dell'intensità spettrale di Housner (periodo 0,1-0,5s))
$FA_{SI2} =$	1.3	(Fattore di amplificazione dell'intensità spettrale di Housner (periodo 0,5-1s))

6. VERIFICHE ANALITICHE DI STABILITÀ

Per il comparto in esame sono state eseguite delle verifiche analitiche di stabilità globale del versante attraverso 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.

Le verifiche sono state effettuate sulla sezione litostratigrafica ricostruita sulla base dai dati geognostici e geofisici rilevati, ricostruendo così in modo sufficientemente dettagliato il modello geologico del sottosuolo.

Nelle analisi analitiche di stabilità sono state definite delle superfici di scivolamento cinematicamente ammissibili e compatibili con l'assetto geologico e morfologico dell'area.

I metodi di calcolo hanno previsto la suddivisione della porzione di pendio in oggetto in un numero determinato di conci di uguale ampiezza. Ipotizzando che la base di ciascun concio 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).

Facendo riferimento alle norme Tecniche per le Costruzioni del 2018 le analisi sono state eseguite in condizioni sismiche, applicando coefficienti parziali unitari, sia per i parametri geotecnici sia per le resistenze.

Le verifiche sono state eseguite considerando una situazione a lungo termine con parametri geotecnici efficaci essendo tale condizione la più gravosa nei confronti della stabilità. Inoltre è stata cautelativamente considerata la presenza di un livello freaticometrico al contatto tra substrato e coltre di circa 3 m di altezza.

Di seguito si riassumono i dati principali di input:

- accelerazione massima attesa $a_{g_{max}} = 0.204$ g (ricavata dalla Risposta Sismica locale);
- coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito $\beta_s = 0,24$;
- coefficiente azione sismica orizzontale $K_h = 0.049$;
- coefficiente azione sismica verticale $K_v = 0.0245$;
- tipo di opera: 2-Opere ordinarie;
- classe d'uso: Classe II;
- stato limite: Salvaguardia della vita (SLV; TR = 475 anni);
- Categoria Topografica T1: $S_T = 1,0$.

VERIFICA ANALITICA DI STABILITÀ IN CONDIZIONI SISMICHE METODO DI CALCOLO DI BELL COMPARTO PIOPPE	
<i>Descrizione</i>	<i>Coefficiente di sicurezza</i>
Superficie 1	2.18
Superficie 2	2.30
Superficie 3	2.48

Come si può osservare tutte le verifiche risultano ampiamente verificate.

7. CONSIDERAZIONI E CONCLUSIONI

Lo studio effettuato ha permesso di definire i principali parametri di amplificazione del comparto e di verificare la stabilità dell'area in condizioni sismiche. Di seguito si riassumono i fattori di amplificazione ottenuti.

ag_{max}	= 0.204 g	(accelerazione di picco orizzontale)
FA_{PGA}	= 1.3	(Fattore di Amplificazione accelerazione di picco orizzontale)
FA_{SI1}	= 1.5	(Fattore di amplificazione dell'intensità spettrale di Housner (periodo 0,1-0,5s))
FA_{SI2}	= 1.3	(Fattore di amplificazione dell'intensità spettrale di Housner (periodo 0,5-1s))

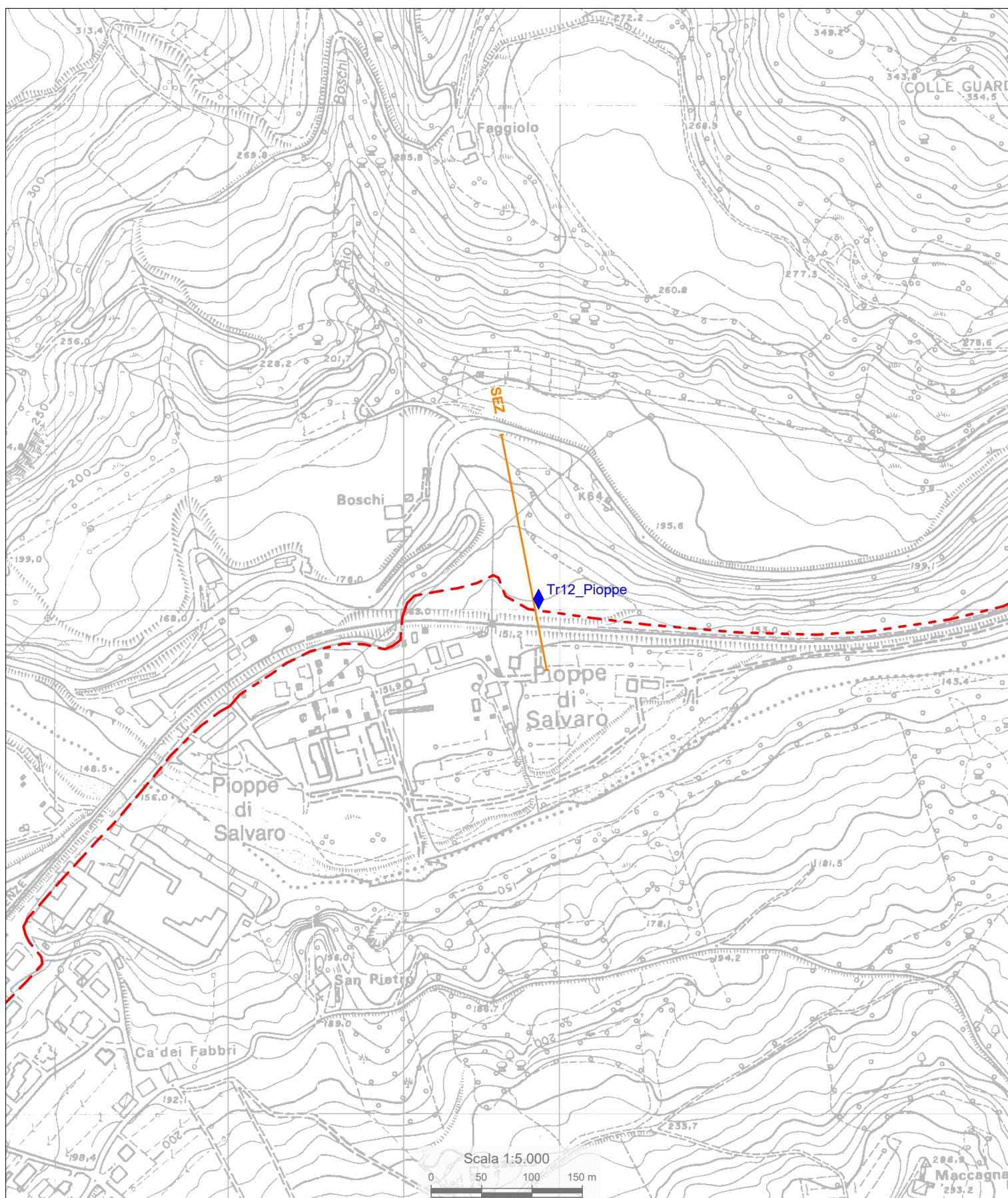
In considerazione di quanto emerso dalle analisi e dalle verifiche effettuate, la richiesta di variante risulta pienamente fattibile, e che l'intervento in progetto non influenzi negativamente l'equilibrio geologico morfologico e sismico dell'area.

dott. Luca Monti
geologo



Bologna, Prima stesura: aprile 2019;
Revisione 1: aprile 2020.

PERCORSO CICLOTURISTICO EUROVELO 7 TRATTA MARZABOTTO-SILLA"
UBICAZIONE INDAGINI GEOGNOSTICHE E TRACCIA DI SEZIONE



LEGENDA



Percorso ciclopedonale in progetto

Traccia di sezione di verifica di stabilità



Indagine sismica passiva a stazione singola

ALLEGATO A

INDAGINE SISMICA PASSIVA A STAZIONE SINGOLA

PISTA CICLABILE - MARZABOTTO PIOPPE

Formato dati: 16 byte

Fondo scala [mV]: n.a.

Inizio registrazione: 27/02/20 11:50:23 Fine registrazione: 27/02/19 12:04:24

Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST; UP DOWN

Dato GPS non disponibile

Durata registrazione: 0h14'00". Analizzato 83% tracciato (selezione manuale)

Freq. campionamento: 128 Hz

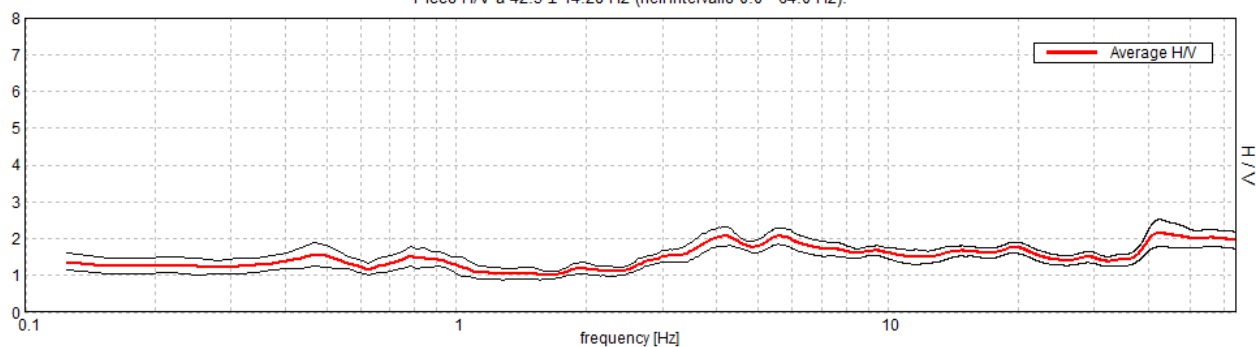
Lunghezza finestre: 20 s

Tipo di lisciamento: Triangular window

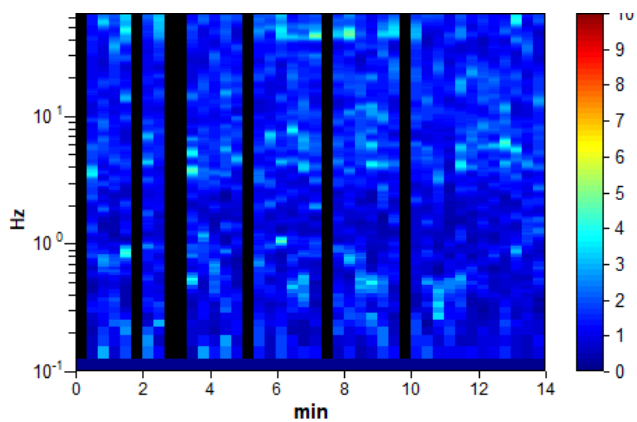
Lisciamento: 10%

RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE

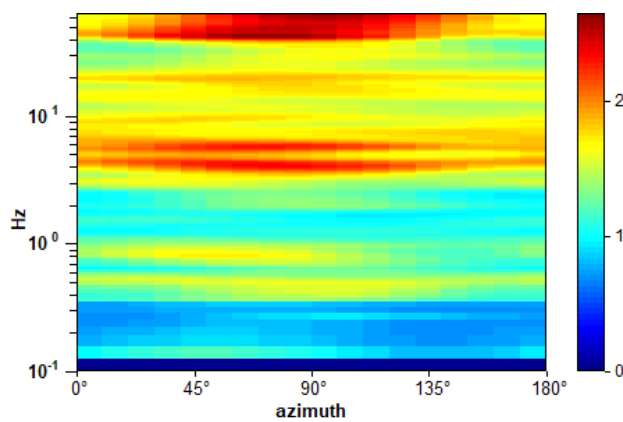
Picco H/V a 42.5 ± 14.28 Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).



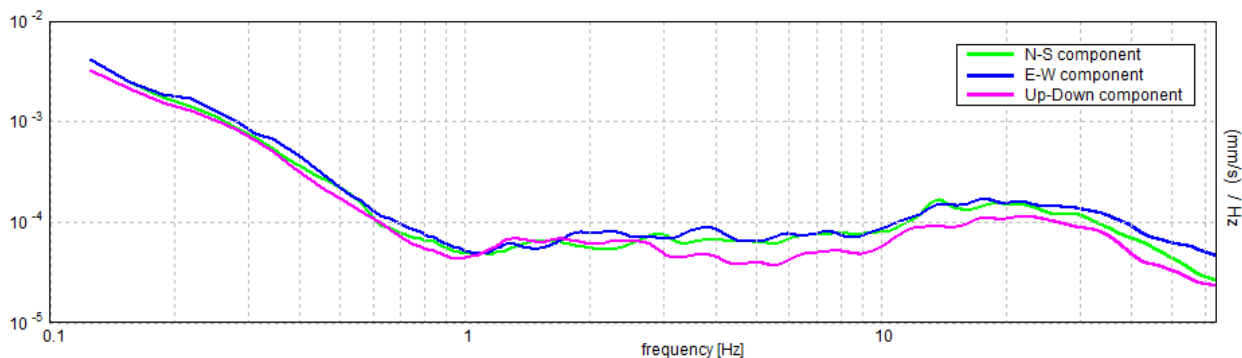
SERIE TEMPORALE H/V



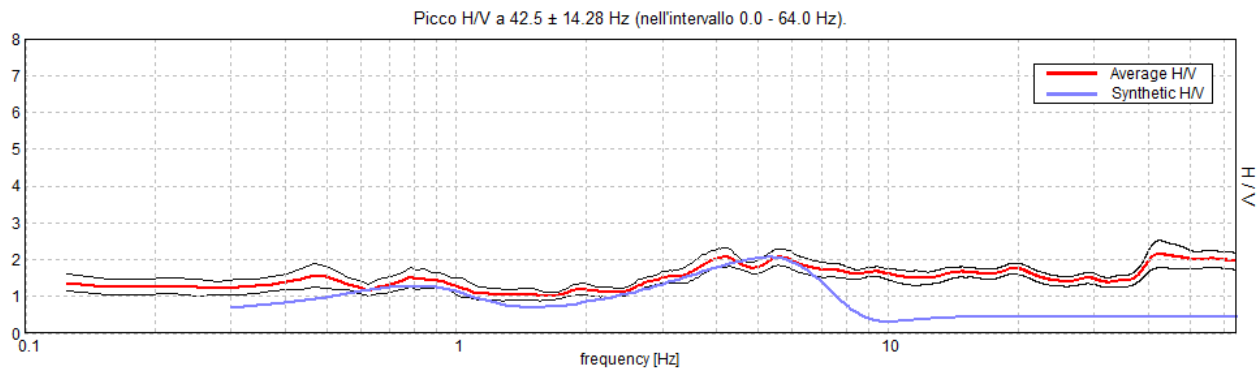
DIREZIONALITA' H/V



SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI

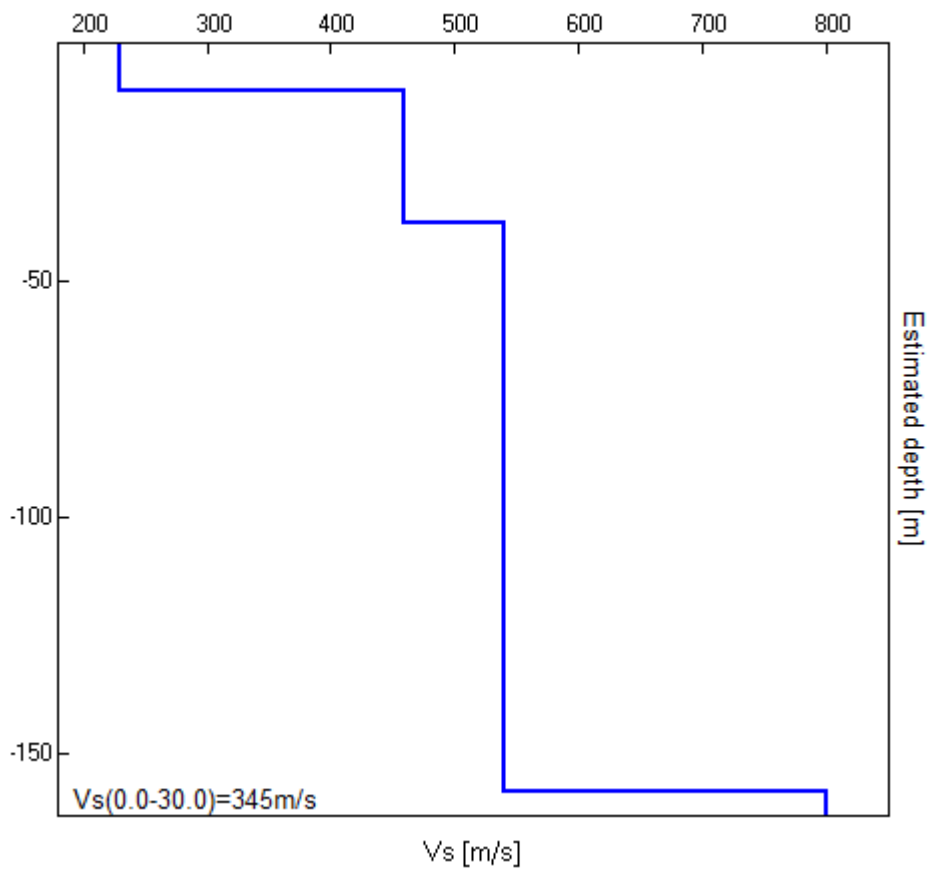


H/V SPERIMENTALE vs. H/V SINTETICO



Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Rapporto di Poisson
10.00	10.00	230	0.42
38.00	28.00	460	0.42
158.00	120.00	540	0.42
inf.	inf.	800	0.42

$V_s(0.0-30.0)=345\text{m/s}$



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

Picco H/V a 42.5 ± 14.28 Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).

Criteri per una curva H/V affidabile

[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

$f_0 > 10 / L_w$	$42.50 > 0.50$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$29750.0 > 200$	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Superato 0 volte su 1369	OK	

Criteri per un picco H/V chiaro

[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

Esiste f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$			NO
Esiste f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$			NO
$A_0 > 2$	$2.16 > 2$	OK	
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.33594 < 0.05$		NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$14.27728 < 2.125$		NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.3683 < 1.58$	OK	

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

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

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

ALLEGATO B

VERIFICHE ANALITICHE DI STABILITA'

Relazione di calcolo

Definizione

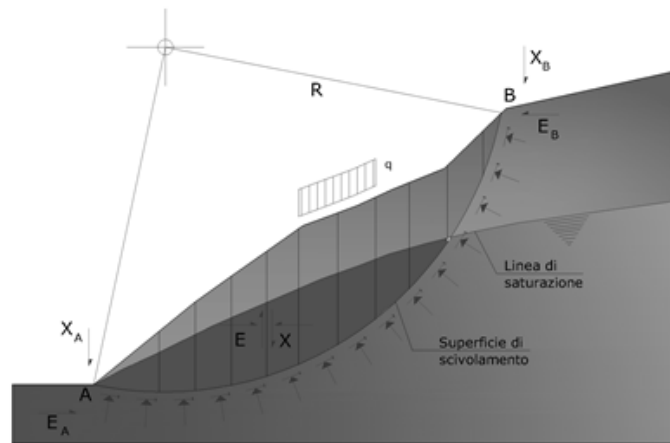
Per pendio s'intende una porzione di versante naturale il cui profilo originario è stato modificato da interventi artificiali rilevanti rispetto alla stabilità. Per frana s'intende una situazione di instabilità che interessa versanti naturali e coinvolgono volumi considerevoli di terreno.

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 (τ) e confrontate con la resistenza disponibile (τ_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 concii considerando l'equilibrio di ciascuno (Fellenius, Bishop, Janbu ecc.). Di seguito vengono discussi i metodi dell'equilibrio limite dei concii.



Metodo dei concii

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

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

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

Mentre le equazioni a disposizione sono:

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

Totale numero di equazioni $4n$.

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

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

Il grado di indeterminazione si riduce ulteriormente a $(n-2)$ in 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 σ e τ 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;

Φ_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:

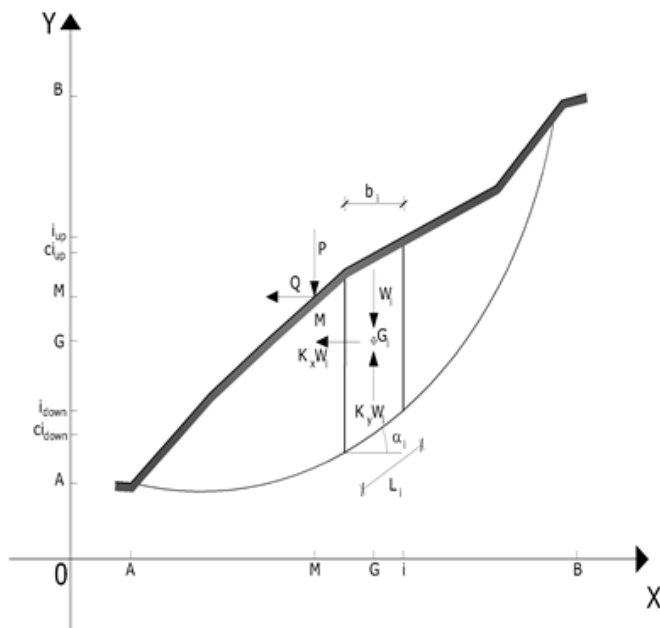
$$N_i = \sigma_{ci} L_i$$

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 esaminare un numero elevato di potenziali superfici.



Nel caso vengano ipotizzate superfici di forma circolare, la ricerca diventa più semplice, in quanto dopo aver posizionato una maglia dei centri costituita da m righe e n colonne saranno esaminate tutte le superfici aventi per centro il generico nodo della maglia $m \times n$ e raggio variabile in un determinato range di valori tale da esaminare superfici cinematicamente ammissibili.

Analisi di stabilità dei pendii con: BELL (1968)

Lat./Long.	44.266418/11.318641
Calcolo eseguito secondo	[A1+M1+R1]
Numero di strati	2.0
Numero dei conci	80.0
Grado di sicurezza ritenuto accettabile	1.0
Coefficiente parziale resistenza	1.0
Parametri geotecnici da usare. Angolo di attrito:	Picco
Analisi	Condizione drenata
Superficie di forma generica	

Coefficienti sismici**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 ²]	F0 [-]	TC* [sec]
S.L.O.	30.0	0.6	2.48	0.26
S.L.D.	50.0	0.75	2.47	0.27
S.L.V.	475.0	1.68	2.54	0.3
S.L.C.	975.0	2.09	2.57	0.31

Coefficienti sismici orizzontali e verticali

Opera: Stabilità dei pendii e Fondazioni

S.L. Stato limite	amax [m/s ²]	beta [-]	kh [-]	kv [sec]
S.L.O.	0.72	0.2	0.0147	0.0073
S.L.D.	0.9	0.2	0.0184	0.0092
S.L.V.	2.016	0.24	0.0493	0.0247
S.L.C.	2.4681	0.28	0.0705	0.0352

Accelerazione sismica a_{\max} [m/s ²]	0.204
Coefficiente azione sismica orizzontale	0.049
Coefficiente azione sismica verticale	0.0245

Vertici profilo

Nr	X (m)	y (m)
1	0.0	22.38
2	41.38	23.12
3	42.62	23.88
4	46.55	23.88
5	50.55	23.88
6	55.45	27.68
7	71.47	32.68
8	146.86	37.68
9	183.18	42.68
10	195.25	47.68
11	218.39	52.68
12	237.31	57.68

Falda

Nr.	X (m)	y (m)
1	0.05	20.86
2	65.94	22.67
3	104.19	26.03
4	138.81	32.23
5	173.18	38.95
6	237.24	57.67

Vertici strato1

N	X (m)	y (m)
1	0.0	17.64
2	66.4	19.43
3	106.57	24.03
4	140.0	29.82
5	175.11	39.18
6	237.31	57.68

Vertici superficie Nr...1

N	X m	y m
1	41.38	23.12
2	52.35	22.14
3	61.67	21.75
4	70.99	21.7
5	84.6	22.39
6	97.68	23.54
7	106.11	24.41
8	133.35	28.94
9	141.66	30.68
10	163.26	36.26
11	180.37	40.97
12	183.18	42.68

Vertici superficie Nr...2

N	X m	y m
1	50.55	23.88
2	59.48	22.71
3	67.57	22.47
4	80.56	22.97
5	106.41	24.88
6	129.82	28.52
7	141.3	31.01
8	170.8	38.08
9	180.99	41.17
10	183.18	42.68

Vertici superficie Nr...3

N	X m	y m
1	50.55	23.88
2	68.76	24.28
3	86.91	25.79
4	109.61	28.48
5	132.31	31.65
6	154.8	35.93
7	180.76	41.51
8	183.18	42.68

Coefficienti parziali azioni

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

Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

Tangente angolo di resistenza al taglio	1.0
Coesione efficace	1.0
Coesione non drenata	1.0
Riduzione parametri geotecnici terreno	No

Stratigrafia

Strato	Coesione (kN/m ²)	Coesione non drenata (kN/m ²)	Angolo resistenza al taglio (°)	Peso unità di volume (t/m ³)	Peso saturo (t/m ³)	Litologia	
1	5		20	1.9	1.9	Coltre	
2	50		24	2	2	Substato	

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

Superficie Nr...1 Fattore di sicurezza=2.18

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (t)	Kh•Wi (t)	Kv•Wi (t)	c (kN/m ²)	Fi (°)	Ui (t)	N'i (t)	Ti (t)
1	1.77	-5.2	1.78	2.09	0.1	0.05	5.0	20.0	0.0	0.8	0.6
2	1.77	-5.2	1.78	3.37	0.16	0.08	5.0	20.0	0.0	0.6	0.5
3	1.77	-5.2	1.78	3.91	0.19	0.1	5.0	20.0	0.0	0.5	0.5
4	1.77	-5.0	1.78	4.44	0.22	0.11	5.0	20.0	0.0	0.5	0.5
5	1.77	-5.2	1.78	4.97	0.24	0.12	5.0	20.0	0.0	0.3	0.5
6	1.77	-5.2	1.78	7.01	0.34	0.17	5.0	20.0	0.0	0.0	0.4
7	1.77	-2.8	1.77	12.07	0.59	0.3	5.0	20.0	0.3	-0.3	0.4
8	1.77	-2.5	1.77	16.98	0.83	0.42	5.0	20.0	0.6	-0.8	0.3
9	1.77	-2.3	1.77	20.3	0.99	0.5	5.0	20.0	0.8	-1.1	0.2
10	1.77	-2.3	1.77	22.41	1.1	0.55	5.0	20.0	1.0	-1.5	0.2
11	1.77	-2.3	1.77	24.51	1.2	0.6	5.0	20.0	1.2	-1.9	0.1
12	1.77	-1.1	1.77	26.55	1.3	0.65	5.0	20.0	1.4	-1.3	0.2
13	1.77	-0.4	1.77	28.49	1.39	0.7	5.0	20.0	1.5	-0.9	0.3
14	1.77	-0.4	1.77	30.39	1.49	0.74	5.0	20.0	1.6	-1.0	0.2
15	1.77	-0.4	1.77	32.3	1.58	0.79	5.0	20.0	1.9	-1.3	0.2
16	1.77	-0.2	1.77	34.19	1.67	0.84	5.0	20.0	2.1	-1.4	0.2
17	1.77	0.5	1.77	36.03	1.76	0.88	5.0	20.0	2.4	-0.9	0.3
18	1.77	3.1	1.78	36.94	1.81	0.9	5.0	20.0	2.6	1.7	0.7
19	1.77	2.7	1.77	37.04	1.81	0.91	5.0	20.0	2.7	1.1	0.6
20	1.77	3.1	1.78	37.13	1.82	0.91	5.0	20.0	2.8	1.4	0.7
21	1.77	2.7	1.77	37.23	1.82	0.91	5.0	20.0	2.9	0.9	0.6
22	1.77	3.1	1.78	37.32	1.83	0.91	5.0	20.0	3.1	1.2	0.6
23	1.77	2.7	1.77	37.42	1.83	0.92	5.0	20.0	3.2	0.6	0.5
24	1.77	2.7	1.77	37.53	1.84	0.92	5.0	20.0	3.3	0.5	0.5
25	1.77	4.5	1.78	37.55	1.84	0.92	5.0	20.0	3.4	2.4	0.8
26	1.77	5.0	1.78	37.45	1.83	0.92	5.0	20.0	3.4	2.9	0.9
27	1.77	5.0	1.78	37.33	1.83	0.91	5.0	20.0	3.4	2.9	0.9
28	1.77	5.0	1.78	37.2	1.82	0.91	5.0	20.0	3.4	2.9	0.9
29	1.77	5.0	1.78	37.07	1.82	0.91	5.0	20.0	3.4	2.8	0.9
30	1.77	5.0	1.78	36.95	1.81	0.9	5.0	20.0	3.4	2.8	0.9
31	1.77	5.0	1.78	36.82	1.8	0.9	5.0	20.0	3.4	2.8	0.9
32	1.77	5.1	1.78	36.69	1.8	0.9	5.0	20.0	3.4	2.9	0.9
33	1.77	6.1	1.78	36.5	1.79	0.89	5.0	20.0	3.4	4.0	1.1
34	1.77	5.8	1.78	36.27	1.78	0.89	5.0	20.0	3.3	3.6	1.0

35	1.77	6.1	1.78	36.04	1.76	0.88	5.0	20.0	3.3	4.0	1.1
36	1.77	5.8	1.78	35.82	1.75	0.88	5.0	20.0	3.2	3.5	1.0
37	1.77	7.8	1.79	35.5	1.74	0.87	5.0	20.0	3.4	5.5	1.3
38	1.77	9.2	1.8	35.01	1.71	0.86	5.0	20.0	3.5	6.7	1.5
39	1.77	9.5	1.8	34.42	1.69	0.84	5.0	20.0	3.6	6.8	1.6
40	1.77	9.5	1.8	33.81	1.66	0.83	5.0	20.0	3.6	6.6	1.5
41	1.77	9.5	1.8	33.2	1.63	0.81	5.0	20.0	3.6	6.4	1.5
42	1.77	9.2	1.8	32.62	1.6	0.8	5.0	20.0	3.7	5.8	1.4
43	1.77	9.5	1.8	32.03	1.57	0.78	5.0	20.0	3.7	5.9	1.4
44	1.77	9.5	1.8	31.42	1.54	0.77	5.0	20.0	3.7	5.7	1.4
45	1.77	9.5	1.8	30.81	1.51	0.75	5.0	20.0	3.8	5.5	1.3
46	1.77	9.2	1.8	30.23	1.48	0.74	5.0	20.0	3.8	4.9	1.2
47	1.77	9.5	1.8	29.64	1.45	0.73	5.0	20.0	3.9	5.0	1.3
48	1.77	9.5	1.8	29.03	1.42	0.71	5.0	20.0	3.9	4.8	1.2
49	1.77	9.5	1.8	28.42	1.39	0.7	5.0	20.0	4.0	4.6	1.2
50	1.77	9.2	1.8	27.84	1.36	0.68	5.0	20.0	4.0	4.1	1.1
51	1.77	9.5	1.8	27.25	1.33	0.67	5.0	20.0	4.0	4.1	1.1
52	1.77	9.6	1.8	26.64	1.3	0.65	5.0	20.0	4.1	3.9	1.1
53	1.77	11.8	1.81	25.91	1.27	0.63	5.0	20.0	4.0	5.5	1.3
54	1.77	12.1	1.81	25.04	1.23	0.61	5.0	20.0	3.9	5.6	1.3
55	1.77	11.8	1.81	24.17	1.18	0.59	5.0	20.0	3.8	5.1	1.3
56	1.77	11.8	1.81	23.32	1.14	0.57	5.0	20.0	3.8	4.8	1.2
57	1.77	12.9	1.82	22.41	1.1	0.55	5.0	20.0	3.7	5.3	1.3
58	1.77	14.3	1.83	21.36	1.05	0.52	5.0	20.0	3.6	6.0	1.4
59	1.77	14.7	1.83	20.21	0.99	0.49	5.0	20.0	3.4	5.9	1.4
60	1.77	14.3	1.83	19.06	0.93	0.47	5.0	20.0	3.2	5.4	1.3
61	1.77	14.3	1.83	18.35	0.9	0.45	5.0	20.0	3.0	5.3	1.3
62	1.77	14.7	1.83	17.63	0.86	0.43	5.0	20.0	2.8	5.3	1.3
63	1.77	14.3	1.83	16.9	0.83	0.41	5.0	20.0	2.6	5.0	1.2
64	1.77	14.7	1.83	16.18	0.79	0.4	5.0	20.0	2.4	5.1	1.3
65	1.77	14.3	1.83	15.46	0.76	0.38	5.0	20.0	2.2	4.8	1.2
66	1.77	14.3	1.83	14.75	0.72	0.36	5.0	20.0	2.0	4.6	1.2
67	1.77	14.7	1.83	14.03	0.69	0.34	5.0	20.0	1.8	4.7	1.2
68	1.77	14.3	1.83	13.3	0.65	0.33	5.0	20.0	1.6	4.4	1.1
69	1.77	14.8	1.83	12.57	0.62	0.31	5.0	20.0	1.4	4.4	1.1
70	1.77	15.4	1.84	11.78	0.58	0.29	5.0	20.0	1.1	4.5	1.2
71	1.77	15.1	1.84	10.98	0.54	0.27	5.0	20.0	0.9	4.2	1.1
72	1.77	15.4	1.84	10.18	0.5	0.25	5.0	20.0	0.7	4.2	1.1
73	1.77	15.4	1.84	9.35	0.46	0.23	5.0	20.0	0.4	4.1	1.1
74	1.77	15.4	1.84	8.53	0.42	0.21	5.0	20.0	0.2	3.9	1.1
75	1.77	15.4	1.84	7.7	0.38	0.19	5.0	20.0	0.0	3.7	1.0
76	1.77	15.4	1.84	6.88	0.34	0.17	5.0	20.0	0.0	3.3	1.0
77	1.77	15.4	1.84	6.06	0.3	0.15	5.0	20.0	0.0	2.8	0.9
78	1.77	15.4	1.84	5.23	0.26	0.13	5.0	20.0	0.1	2.4	0.8
79	1.77	25.3	1.96	3.82	0.19	0.09	5.0	20.0	0.0	3.1	0.9
80	1.77	31.4	2.08	1.41	0.07	0.03	5.0	20.0	0.0	1.5	0.7

Superficie Nr...2 Fattore di sicurezza=2.30

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (t)	Kh•Wi (t)	Kv•Wi (t)	c (kN/m²)	Fi (°)	Ui (t)	N'i (t)	Ti (t)
1	1.66	-7.4	1.67	2.37	0.12	0.06	5.0	20.0	0.0	1.0	0.5
2	1.66	-7.6	1.67	7.11	0.35	0.17	5.0	20.0	0.0	0.0	0.4
3	1.66	-7.4	1.67	11.85	0.58	0.29	5.0	20.0	0.0	-1.0	0.2
4	1.66	-7.6	1.67	15.26	0.75	0.37	5.0	20.0	0.0	-1.8	0.1
5	1.66	-7.4	1.67	17.57	0.86	0.43	5.0	20.0	0.0	-2.2	0.0
6	1.66	-4.0	1.66	19.72	0.97	0.48	5.0	20.0	0.0	-0.8	0.2
7	1.66	-1.9	1.66	21.62	1.06	0.53	5.0	20.0	0.0	0.3	0.4
8	1.66	-1.6	1.66	23.41	1.15	0.57	5.0	20.0	0.0	0.3	0.4
9	1.66	-1.6	1.66	25.19	1.23	0.62	5.0	20.0	0.1	0.1	0.4
10	1.66	-1.9	1.66	26.98	1.32	0.66	5.0	20.0	0.3	-0.4	0.3

11	1.66	1.3	1.66	28.63	1.4	0.7	5.0	20.0	0.6	1.7	0.6
12	1.66	2.1	1.66	30.1	1.47	0.74	5.0	20.0	0.7	2.2	0.7
13	1.66	2.5	1.66	31.53	1.54	0.77	5.0	20.0	0.9	2.5	0.8
14	1.66	2.1	1.66	31.82	1.56	0.78	5.0	20.0	1.0	2.0	0.7
15	1.66	2.1	1.66	31.98	1.57	0.78	5.0	20.0	1.1	1.9	0.7
16	1.66	2.5	1.66	32.12	1.57	0.79	5.0	20.0	1.3	2.1	0.7
17	1.66	2.1	1.66	32.26	1.58	0.79	5.0	20.0	1.4	1.6	0.6
18	1.66	2.1	1.66	32.42	1.59	0.79	5.0	20.0	1.6	1.4	0.6
19	1.66	4.1	1.66	32.48	1.59	0.8	5.0	20.0	1.6	3.1	0.9
20	1.66	4.5	1.66	32.44	1.59	0.79	5.0	20.0	1.7	3.5	0.9
21	1.66	4.1	1.66	32.39	1.59	0.79	5.0	20.0	1.7	3.0	0.8
22	1.66	4.1	1.66	32.36	1.58	0.79	5.0	20.0	1.8	3.0	0.8
23	1.66	4.1	1.66	32.33	1.58	0.79	5.0	20.0	1.8	2.9	0.8
24	1.66	4.5	1.66	32.28	1.58	0.79	5.0	20.0	1.8	3.2	0.9
25	1.66	4.1	1.66	32.23	1.58	0.79	5.0	20.0	1.9	2.8	0.8
26	1.66	4.1	1.66	32.21	1.58	0.79	5.0	20.0	1.9	2.7	0.8
27	1.66	4.1	1.66	32.18	1.58	0.79	5.0	20.0	2.0	2.7	0.8
28	1.66	4.5	1.66	32.13	1.57	0.79	5.0	20.0	2.0	3.0	0.8
29	1.66	4.1	1.66	32.08	1.57	0.79	5.0	20.0	2.0	2.6	0.8
30	1.66	4.1	1.66	32.05	1.57	0.78	5.0	20.0	2.1	2.5	0.8
31	1.66	4.5	1.66	32.0	1.57	0.78	5.0	20.0	2.1	2.8	0.8
32	1.66	4.1	1.66	31.96	1.56	0.78	5.0	20.0	2.1	2.4	0.7
33	1.66	4.1	1.66	31.93	1.56	0.78	5.0	20.0	2.2	2.3	0.7
34	1.66	5.7	1.67	31.82	1.56	0.78	5.0	20.0	2.5	3.4	0.9
35	1.66	9.0	1.68	31.5	1.54	0.77	5.0	20.0	2.6	6.1	1.3
36	1.66	8.6	1.68	31.03	1.52	0.76	5.0	20.0	2.7	5.5	1.2
37	1.66	9.0	1.68	30.57	1.5	0.75	5.0	20.0	2.7	5.6	1.3
38	1.66	9.0	1.68	30.09	1.47	0.74	5.0	20.0	2.8	5.5	1.2
39	1.66	8.6	1.68	29.63	1.45	0.73	5.0	20.0	2.9	4.9	1.1
40	1.66	9.0	1.68	29.17	1.43	0.71	5.0	20.0	2.9	5.0	1.2
41	1.66	9.0	1.68	28.69	1.4	0.7	5.0	20.0	3.0	4.8	1.1
42	1.66	8.6	1.68	28.23	1.38	0.69	5.0	20.0	3.1	4.3	1.1
43	1.66	9.0	1.68	27.77	1.36	0.68	5.0	20.0	3.1	4.5	1.1
44	1.66	8.6	1.68	27.31	1.34	0.67	5.0	20.0	3.2	4.0	1.0
45	1.66	9.0	1.68	26.85	1.31	0.66	5.0	20.0	3.3	4.1	1.0
46	1.66	9.0	1.68	26.37	1.29	0.65	5.0	20.0	3.3	3.9	1.0
47	1.66	8.6	1.68	25.91	1.27	0.63	5.0	20.0	3.4	3.4	0.9
48	1.66	9.8	1.68	25.41	1.24	0.62	5.0	20.0	3.4	4.1	1.0
49	1.66	12.2	1.7	24.74	1.21	0.61	5.0	20.0	3.4	5.6	1.2
50	1.66	12.2	1.7	23.96	1.17	0.59	5.0	20.0	3.3	5.4	1.2
51	1.66	12.2	1.7	23.18	1.13	0.57	5.0	20.0	3.2	5.2	1.2
52	1.66	12.2	1.7	22.4	1.1	0.55	5.0	20.0	3.1	5.0	1.2
53	1.66	12.2	1.7	21.62	1.06	0.53	5.0	20.0	3.0	4.8	1.1
54	1.66	12.6	1.7	20.82	1.02	0.51	5.0	20.0	2.9	4.9	1.1
55	1.66	12.6	1.7	20.0	0.98	0.49	5.0	20.0	2.8	4.7	1.1
56	1.66	13.3	1.7	19.15	0.94	0.47	5.0	20.0	2.7	4.9	1.1
57	1.66	13.3	1.7	18.25	0.89	0.45	5.0	20.0	2.6	4.6	1.1
58	1.66	13.3	1.7	17.36	0.85	0.42	5.0	20.0	2.5	4.4	1.1
59	1.66	13.7	1.71	16.6	0.81	0.41	5.0	20.0	2.4	4.4	1.1
60	1.66	13.3	1.7	16.06	0.79	0.39	5.0	20.0	2.2	4.1	1.0
61	1.66	13.3	1.7	15.54	0.76	0.38	5.0	20.0	2.1	4.0	1.0
62	1.66	13.7	1.71	15.0	0.73	0.37	5.0	20.0	2.0	4.1	1.0
63	1.66	13.3	1.7	14.46	0.71	0.35	5.0	20.0	1.9	3.8	1.0
64	1.66	13.3	1.7	13.94	0.68	0.34	5.0	20.0	1.8	3.7	1.0
65	1.66	13.7	1.71	13.4	0.66	0.33	5.0	20.0	1.6	3.8	1.0
66	1.66	13.3	1.7	12.86	0.63	0.31	5.0	20.0	1.5	3.5	0.9
67	1.66	13.3	1.7	12.34	0.6	0.3	5.0	20.0	1.4	3.4	0.9
68	1.66	13.7	1.71	11.81	0.58	0.29	5.0	20.0	1.3	3.5	0.9
69	1.66	13.3	1.7	11.27	0.55	0.28	5.0	20.0	1.1	3.3	0.9
70	1.66	13.3	1.7	10.75	0.53	0.26	5.0	20.0	1.0	3.2	0.9
71	1.66	13.3	1.7	10.23	0.5	0.25	5.0	20.0	0.9	3.1	0.9
72	1.66	13.7	1.71	9.69	0.47	0.24	5.0	20.0	0.8	3.1	0.9

73	1.66	15.1	1.72	9.06	0.44	0.22	5.0	20.0	0.6	3.3	0.9
74	1.66	16.8	1.73	8.29	0.41	0.2	5.0	20.0	0.4	3.7	0.9
75	1.66	16.8	1.73	7.43	0.36	0.18	5.0	20.0	0.2	3.4	0.9
76	1.66	16.8	1.73	6.58	0.32	0.16	5.0	20.0	0.2	3.0	0.8
77	1.66	16.8	1.73	5.72	0.28	0.14	5.0	20.0	0.2	2.6	0.8
78	1.66	17.2	1.74	4.84	0.24	0.12	5.0	20.0	0.1	2.3	0.7
79	1.66	23.2	1.8	3.63	0.18	0.09	5.0	20.0	0.0	2.5	0.8
80	1.66	34.5	2.01	1.44	0.07	0.04	5.0	20.0	0.0	1.6	0.6

Superficie Nr...3 Fattore di sicurezza=2.48

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (t)	Kh•Wi (t)	Kv•Wi (t)	c (kN/m²)	Fi (°)	Ui (t)	N'i (t)	Ti (t)
1	1.66	1.2	1.66	1.97	0.1	0.05	5.0	20.0	0.0	0.9	0.5
2	1.66	1.2	1.66	5.91	0.29	0.14	5.0	20.0	0.0	1.0	0.5
3	1.66	1.2	1.66	9.86	0.48	0.24	5.0	20.0	0.0	1.1	0.5
4	1.66	1.2	1.66	12.47	0.61	0.31	5.0	20.0	0.0	1.2	0.5
5	1.66	1.2	1.66	13.99	0.68	0.34	5.0	20.0	0.0	1.3	0.5
6	1.66	1.2	1.66	15.5	0.76	0.38	5.0	20.0	0.0	1.3	0.5
7	1.66	1.2	1.66	17.02	0.83	0.42	5.0	20.0	0.0	1.3	0.5
8	1.66	1.6	1.66	18.52	0.91	0.45	5.0	20.0	0.0	1.6	0.6
9	1.66	1.2	1.66	20.01	0.98	0.49	5.0	20.0	0.0	1.4	0.6
10	1.66	1.2	1.66	21.53	1.05	0.53	5.0	20.0	0.0	1.5	0.6
11	1.66	1.0	1.66	23.06	1.13	0.56	5.0	20.0	0.0	1.4	0.5
12	1.66	4.9	1.66	24.41	1.2	0.6	5.0	20.0	0.0	4.0	0.9
13	1.66	4.5	1.66	25.61	1.25	0.63	5.0	20.0	0.0	3.9	0.9
14	1.66	4.9	1.66	25.68	1.26	0.63	5.0	20.0	0.0	4.2	1.0
15	1.66	4.5	1.66	25.59	1.25	0.63	5.0	20.0	0.0	3.9	0.9
16	1.66	4.9	1.66	25.51	1.25	0.62	5.0	20.0	0.0	4.1	0.9
17	1.66	4.5	1.66	25.42	1.24	0.62	5.0	20.0	0.0	3.8	0.9
18	1.66	4.9	1.66	25.34	1.24	0.62	5.0	20.0	0.0	4.1	0.9
19	1.66	4.5	1.66	25.25	1.24	0.62	5.0	20.0	0.0	3.8	0.9
20	1.66	4.9	1.66	25.17	1.23	0.62	5.0	20.0	0.0	4.0	0.9
21	1.66	4.5	1.66	25.08	1.23	0.61	5.0	20.0	0.0	3.7	0.9
22	1.66	4.9	1.66	25.0	1.22	0.61	5.0	20.0	0.0	3.9	0.9
23	1.66	7.0	1.67	24.8	1.21	0.61	5.0	20.0	0.0	5.4	1.1
24	1.66	6.6	1.67	24.53	1.2	0.6	5.0	20.0	0.0	5.0	1.1
25	1.66	7.0	1.67	24.26	1.19	0.59	5.0	20.0	0.0	5.2	1.1
26	1.66	6.6	1.67	23.98	1.17	0.59	5.0	20.0	0.0	4.9	1.1
27	1.66	7.0	1.67	23.71	1.16	0.58	5.0	20.0	0.0	5.1	1.1
28	1.66	6.6	1.67	23.44	1.15	0.57	5.0	20.0	0.0	4.8	1.0
29	1.66	7.0	1.67	23.16	1.13	0.57	5.0	20.0	0.0	5.0	1.1
30	1.66	6.6	1.67	22.89	1.12	0.56	5.0	20.0	0.0	4.7	1.0
31	1.66	7.0	1.67	22.62	1.11	0.55	5.0	20.0	0.0	4.9	1.1
32	1.66	6.6	1.67	22.35	1.09	0.55	5.0	20.0	0.0	4.5	1.0
33	1.66	7.0	1.67	22.07	1.08	0.54	5.0	20.0	0.0	4.7	1.0
34	1.66	6.6	1.67	21.8	1.07	0.53	5.0	20.0	0.0	4.4	1.0
35	1.66	7.0	1.67	21.53	1.05	0.53	5.0	20.0	0.0	4.6	1.0
36	1.66	7.0	1.67	21.23	1.04	0.52	5.0	20.0	0.0	4.6	1.0
37	1.66	8.2	1.67	20.88	1.02	0.51	5.0	20.0	0.0	5.2	1.1
38	1.66	7.8	1.67	20.5	1.0	0.5	5.0	20.0	0.0	4.8	1.1
39	1.66	8.2	1.67	20.11	0.98	0.49	5.0	20.0	0.0	5.0	1.1
40	1.66	7.8	1.67	19.72	0.97	0.48	5.0	20.0	0.0	4.7	1.0
41	1.66	8.2	1.67	19.34	0.95	0.47	5.0	20.0	0.0	4.8	1.0
42	1.66	7.8	1.67	18.95	0.93	0.46	5.0	20.0	0.0	4.5	1.0
43	1.66	8.2	1.67	18.57	0.91	0.45	5.0	20.0	0.0	4.6	1.0
44	1.66	7.8	1.67	18.18	0.89	0.45	5.0	20.0	0.0	4.3	1.0
45	1.66	8.2	1.67	17.79	0.87	0.44	5.0	20.0	0.0	4.4	1.0
46	1.66	7.8	1.67	17.41	0.85	0.43	5.0	20.0	0.0	4.1	0.9
47	1.66	7.8	1.67	17.04	0.83	0.42	5.0	20.0	0.0	4.0	0.9
48	1.66	8.2	1.67	16.66	0.82	0.41	5.0	20.0	0.0	4.1	0.9

49	1.66	7.8	1.67	16.27	0.8	0.4	5.0	20.0	0.0	3.8	0.9
50	1.66	10.1	1.68	15.8	0.77	0.39	5.0	20.0	0.0	4.7	1.0
51	1.66	10.6	1.69	15.19	0.74	0.37	5.0	20.0	0.0	4.8	1.0
52	1.66	11.0	1.69	14.54	0.71	0.36	5.0	20.0	0.0	4.7	1.0
53	1.66	10.6	1.69	13.89	0.68	0.34	5.0	20.0	0.0	4.4	1.0
54	1.66	11.0	1.69	13.24	0.65	0.32	5.0	20.0	0.0	4.3	1.0
55	1.66	10.6	1.69	12.59	0.62	0.31	5.0	20.0	0.0	4.0	0.9
56	1.66	11.0	1.69	11.95	0.58	0.29	5.0	20.0	0.0	3.9	0.9
57	1.66	10.6	1.69	11.3	0.55	0.28	5.0	20.0	0.0	3.6	0.9
58	1.66	11.0	1.69	10.65	0.52	0.26	5.0	20.0	0.0	3.5	0.9
59	1.66	10.6	1.69	10.15	0.5	0.25	5.0	20.0	0.0	3.2	0.8
60	1.66	11.0	1.69	9.88	0.48	0.24	5.0	20.0	0.0	3.2	0.8
61	1.66	10.6	1.69	9.6	0.47	0.23	5.0	20.0	0.0	3.0	0.8
62	1.66	10.6	1.69	9.34	0.46	0.23	5.0	20.0	0.0	2.9	0.8
63	1.66	11.2	1.69	9.06	0.44	0.22	5.0	20.0	0.0	3.0	0.8
64	1.66	12.2	1.7	8.7	0.43	0.21	5.0	20.0	0.0	3.1	0.8
65	1.66	12.2	1.7	8.29	0.41	0.2	5.0	20.0	0.0	3.0	0.8
66	1.66	11.8	1.69	7.9	0.39	0.19	5.0	20.0	0.0	2.7	0.7
67	1.66	12.2	1.7	7.51	0.37	0.18	5.0	20.0	0.0	2.7	0.7
68	1.66	12.2	1.7	7.1	0.35	0.17	5.0	20.0	0.0	2.5	0.7
69	1.66	12.2	1.7	6.7	0.33	0.16	5.0	20.0	0.0	2.4	0.7
70	1.66	12.2	1.7	6.29	0.31	0.15	5.0	20.0	0.0	2.2	0.7
71	1.66	12.2	1.7	5.88	0.29	0.14	5.0	20.0	0.0	2.1	0.6
72	1.66	12.2	1.7	5.47	0.27	0.13	5.0	20.0	0.0	1.9	0.6
73	1.66	12.2	1.7	5.07	0.25	0.12	5.0	20.0	0.0	1.8	0.6
74	1.66	11.8	1.69	4.68	0.23	0.11	5.0	20.0	0.0	1.6	0.6
75	1.66	12.2	1.7	4.29	0.21	0.1	5.0	20.0	0.0	1.5	0.6
76	1.66	12.2	1.7	3.88	0.19	0.09	5.0	20.0	0.0	1.4	0.5
77	1.66	12.2	1.7	3.47	0.17	0.09	5.0	20.0	0.0	1.2	0.5
78	1.66	12.2	1.7	3.07	0.15	0.08	5.0	20.0	0.0	1.1	0.5
79	1.66	18.6	1.75	2.34	0.11	0.06	5.0	20.0	0.0	1.3	0.5
80	1.66	25.9	1.84	0.91	0.04	0.02	5.0	20.0	0.0	0.7	0.4

VERIFICA ANALITICA DI STABILITA'
IN CONDIZIONI SISMICHE

