



# COMUNE DI TOANO

Provincia di Reggio Emilia

Corso Trieste, n° 65 - 42010 Toano Tel 0522 805178 - Fax 0522 805542  
E-mail: edilizia@comune.toano.re.it - PEC: comune.toano@legalmail.it

## BANDO RIGENERAZIONE URBANA 2021 (BANDO RU21)

L.R. 24/2017 "Disciplina regionale sulla tutela e l'uso del territorio"

LINEA B: contributi destinati al recupero integrale di un immobile e del suo contesto nell'ambito di progetti di rigenerazione urbana consolidati e di più ampio respiro, che prevedano l'inserimento di nuove funzioni.

### Progetto per la realizzazione di uno spazio per la comunità: L'Ex cinema parrocchiale di Quara.

Via Conte Sasso, n°32

Foglio 63 - Mappale 581 - Subalterni 3 e 4

CUP: F78I21002520006

#### Progettista architettonico e strutturale:

Ing. Lucio Iotti

via G. Bizet, n°3 - 42123

Reggio Emilia (RE)

#### Ufficio Tecnico del comune di Toano

Responsabile: **Geom. Bondi Erica**

E-mail: [lavoripubblici@comune.toano.re.it](mailto:lavoripubblici@comune.toano.re.it)

Tel. 0522 805110 (Int. 8)

RELAZIONE GEOLOGICA E PERICOLOSITA' SISMICA

ELABORATI STRUTTURALI

AGOSTO 2023

tav. n.

S.01.02

**CAROLI DOTT. GEOL. NICOLA**

Via Folloni, 11/3 - 42019 SCANDIANO (RE)

Email: carolinicolageol@gmail.com

Cell: 3406286161



**Comune di Toano**  
(Provincia di Reggio nell'Emilia)

Località: Via Conte Sasso, 32 – Quara

**RELAZIONE GEOLOGICA E PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE**

**Rigenerazione urbana del fabbricato denominato "Ex Cinema di Quara"**



**Committente: Comune di Toano**

**Dicembre 2022**

## INDICE

1. PREMESSA.....	3
2. MORFOLOGIA, PEDOLOGIA E CARATTERISTICHE CLIMATICHE.....	4
3. INQUADRAMENTO GEOLOGICO E STABILITÀ DELL'AREA .....	5
4. METODOLOGIA D'INDAGINE E PARAMETRI GEOTECNICI.....	7
5. SISMICITÀ DELL'AREA .....	8
6. RISPOSTA SISMICA LOCALE SEMPLIFICATA .....	16
7. MICROZONAZIONE SISMICA.....	19
8. RISPOSTA SISMICA DI III° LIVELLO .....	20
9. VALUTAZIONE DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE.....	21
10. RIEPILOGO E CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE.....	22

### **- ALLEGATI:**

- UBICAZIONE DELLE INDAGINI
- PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE
- SISMICA A RIFRAZIONE TIPO MASW
- SISMICA PASSIVA HVSR
- RISPOSTA SISMICA LOCALE DI III° LIVELLO

## **1. PREMESSA**

Su incarico da parte della Committenza, trasmetto la presente relazione geologica e sulla pericolosità sismica di base atta a definire le caratteristiche litologiche, geomeccaniche e sismiche del terreno, sito in Via Conte Sasso, 32 – Quara di Toano (RE), su cui è in progetto la rigenerazione urbana del fabbricato denominato "Ex Cinema di Quara"

Le considerazioni espresse, illustrate in seguito, emergono pertanto dalla sintesi delle seguenti acquisizioni:

- ricerca bibliografica di dati relativi all’assetto geolitologico, geomorfologico, idrogeologico e sismotettonico generale e locale;
- caratterizzazione litostratigrafica e geomeccanica dei terreni del sedime attraverso l’esecuzione di indagini dirette sul lotto di interesse.
- caratterizzazione sismica attraverso l’utilizzo dei risultati di specifica indagine geofisica.

Più precisamente per la presente relazione sono state effettuate le seguenti indagini geognostiche:

- indagini dirette eseguite allo scopo di accertare la caratterizzazione stratigrafica e geomeccanica:

- n. 4 prove penetrometriche dinamiche spinte sino a rifiuto strumentale;

- indagini indirette, al fine di valutare la risposta sismica locale semplificata attraverso la determinazione della categoria di suolo ai sensi del cap. 3.2.2 Tab 3.2.II del D.M. 17 gennaio 2018, visto il contesto densamente urbanizzato e la dimensione ridotta del lotto:

- n. 1 sismica a rifrazione tipo MASW e n. 1 misura tomografica HVSR.

Il presente elaborato è stato redatto in ottemperanza alle disposizioni contenute nelle normative di riferimento per il settore geologico e geotecnico e consultando gli strumenti di pianificazione provinciale e di bacino.

Sono di seguito elencate le principali normative di riferimento:

- D.M. 17/1/2018 – “Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni”;
- D.G.R. n° 1300 del 01/08/2016 “Prime disposizioni regionali concernenti l’attuazione del Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni nel settore urbanistico”;
- D.G.R. n° 2193 del 21/12/2015 aggiornamento dell’atto di coordinamento tecnico denominato “Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica”;
- Circolare del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti 2/2/2009 – “Istruzioni per l’applicazione delle «Nuove norme tecniche per le costruzioni» di cui al decreto ministeriale 14 gennaio 2008”;
- D.M. 14/1/2008 – “Testo unitario - Norme tecniche per le costruzioni”;
- Delibera Assemblea Legislativa (DAL) n. 112/2007 Art. 16 c.1 ”Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica”;
- “Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica” approvato dal Dipartimento della Protezione Civile e dalla Conferenza delle Regioni e delle Province Autonome e successive modifiche e integrazioni (da qui in avanti “ICMS”);
- L 64/74 - “Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche”.
- D.M. 11/3/88 - “Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l’esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione”.
- Circolare Min. LL.PP. n°30483 24 settembre 1988;
- AGI: raccomandazioni sulle prove geotecniche di laboratorio e sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche. Giugno 1990;
- Legge regionale 30 ottobre 2008, n. 19 "Norme per la riduzione del rischio sismico".



## **2. MORFOLOGIA, PEDOLOGIA E CARATTERISTICHE CLIMATICHE**

L'area in oggetto di studio, sita a ridosso della linea di crinale in corrispondenza della quale si è sviluppato l'abitato di Quara, con modesta pendenza da Est verso Ovest e compresa tra le isoipse 720 m e 715 m s.l.m., degrada in direzione dell'ampio avvallamento frutto dell'incisione operata dal Rio di Vogno, tributario di sinistra del T. Secchiello.

Più precisamente, il terreno in esame, su cui preesiste il fabbricato, è ubicato nel centro di Quara, a nord della Chiesa di Santa Maria Assunta, tra Via Gonzaga e la Strada Provinciale n° 8 – Via Conte Sasso, da cui si accede (cf. stralcio dalla C.T.R. in scala 1:5000 – elemento n° 235033 – Lignano nonché ortofoto proposta sul frontespizio).

Il lotto è inoltre identificato al Nuovo Catasto Terreni del comune di Toano nel Foglio n° 63 – mappale n° 581 (cf stralci in allegato).

L'intervento edilizio prevede la demolizione dell'ex cinema con la conseguente ricostruzione sullo stesso sedime di un nuovo fabbricato ad uso sala civica e servizi (cf. planimetria stato di fatto e di progetto).

La Formazione calcareo-marnosa qui presente dà luogo a terreni tutt'altro che refrattari alla coltivazione agraria, tuttavia, per le caratteristiche fisico-chimiche, l'indirizzo naturale di questo terreno è quello silvo-pastorale.

I suoli appartenenti a questa unità geomorfologica sono inclusi nell'associazione dei “suoli bruni calcarei, rendzina e suoli bruni lisciviati”.

Si tratta di suoli abbastanza profondi, a profilo A(B)C, privi di carbonati nella parte alta del profilo e sensibilmente argillosi.

Fra gli elementi climatici che caratterizzano l'ambiente fisico, le precipitazioni e le temperature rivestono un ruolo di primaria importanza per meglio comprendere l'evoluzione geomorfologica del territorio.

Secondo la classificazione dei climi di Köppen questa zona si inserisce nel tipo di clima Csb (subcontinentale), clima temperato con siccità estive non molto marcate e quindi caratteristico di località che risentono della vicinanza di rilievi. Secondo ulteriori specifiche suddivisioni operate da Pinna M., il clima della zona rientra nel tipo temperato continentale. Il regime termico (secondo Keller) è quello vallivo delle basse altitudini (o collinare).

Le temperature medie sono di 12.1 °C, le massime estive di 25.3 °C, le minime invernali di 0.5 °C.

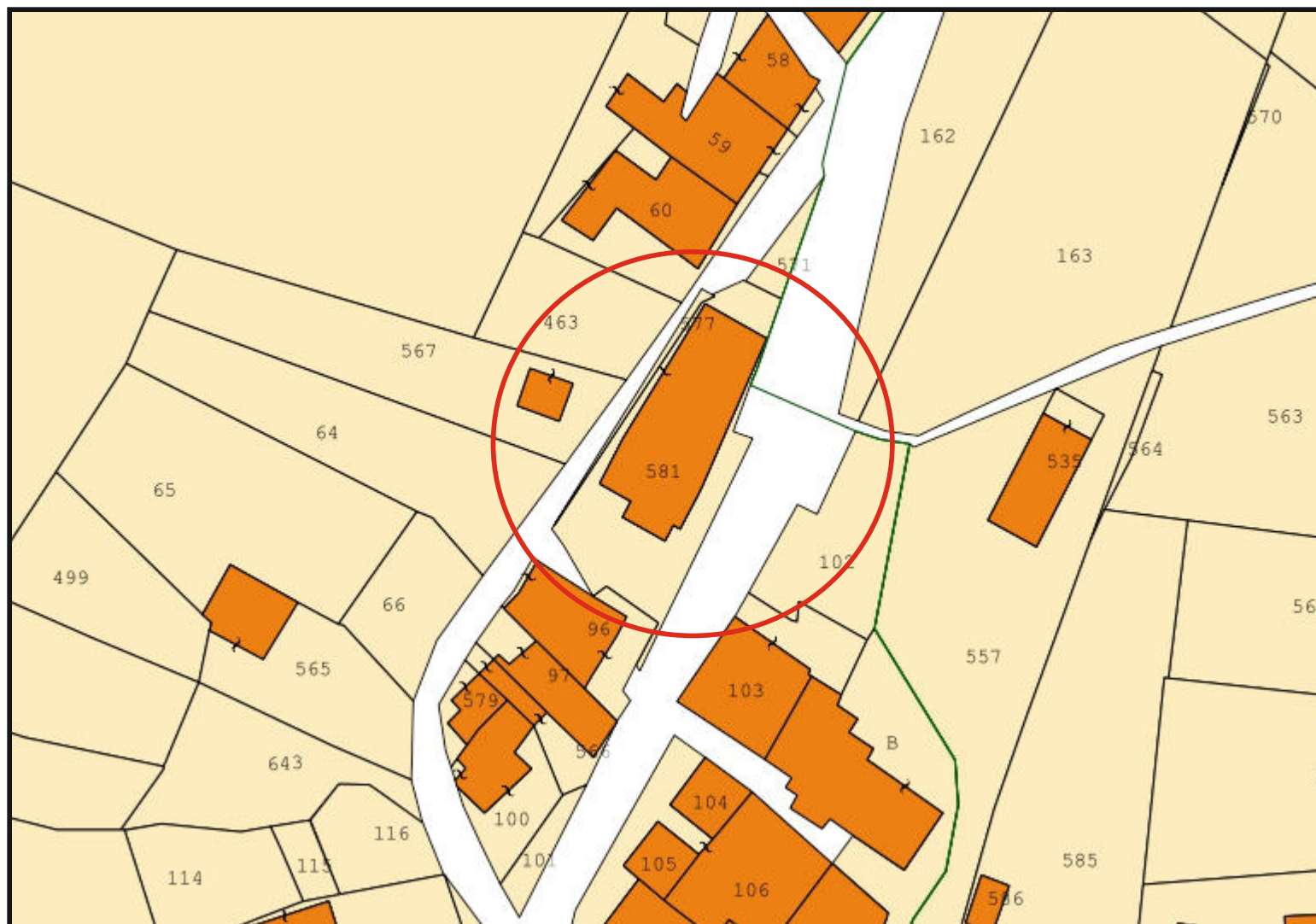
Il regime pluviometrico è di tipo sublitoraneo ed il valore delle precipitazioni è, per l'anno medio, di 1000/1100 mm con 300/350 mm in primavera ed autunno, 200/220 mm in estate ed in inverno.

# STRALCIO DALLA C.T.R. IN SCALA 1:5000

Elemento n° 235033 - Lignano



**ESTRATTO DI PLANIMETRIA CATASTALE**  
**Foglio n° 63 - mappale n° 581**



MOD. AN (CEU)



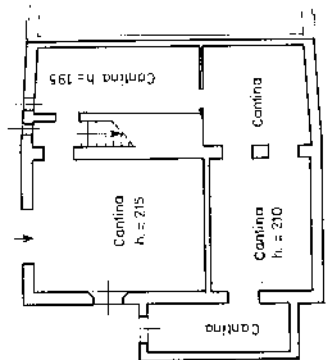
civ. 32

MINISTERO DELLE FINANZE  
DIPARTIMENTO DEL TERRITORIO  
**CATASTO EDILIZIO URBANO** (RDL 13-4-1939, n. 652)

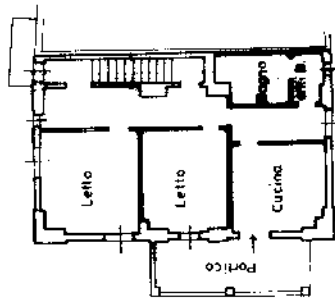


Planimetria di u.i.u. in Comune di TOANO, via Conte SASSO.

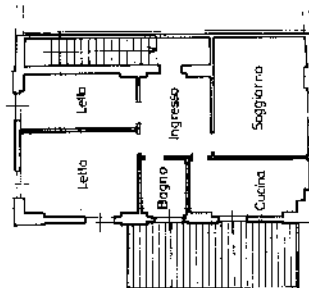
MODELLO  
F. 76 (R.D. 1988)



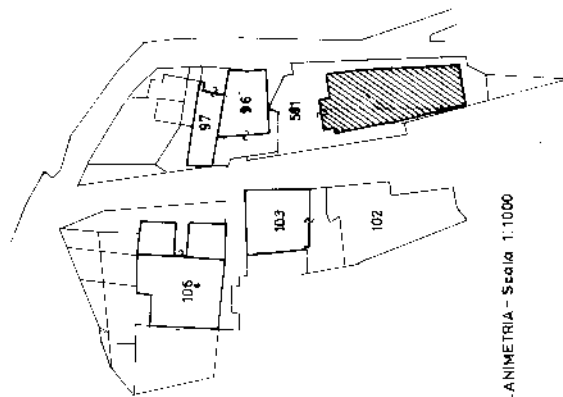
PIANO SEMINTERRATO



PIANO TERRA h. = 30,5



PIANO PRIMO h. 24,5



PLANIMETRIA - Scala 1:1000

ORIENTAMENTO



SCALA DI F. 200

RISERVATO ALL'UFFICIO



Compilata dal Geom. ANNOVI YASCO  
Iscritto all'albo dei Geometri n. 1234  
della provincia di Reggio Emilia  
data 05-12-1997 Firma

Dichiarazione di N.C.   
Denuncia di variazione

Identificativi catastali:

F. 63 sub. 1 man. 1  
n. 581 sub. 1 man. 1

MODULARIO  
F. rig. rend. 487

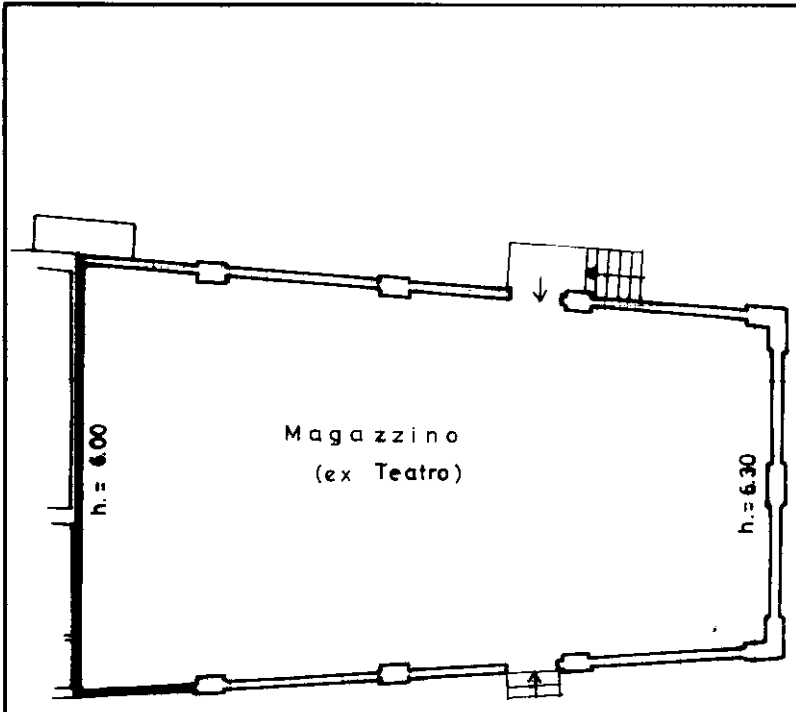


MINISTERO DELLE FINANZE  
DIPARTIMENTO DEL TERRITORIO  
**CATASTO EDILIZIO URBANO** (RDL 13-4-1939, n. 652)

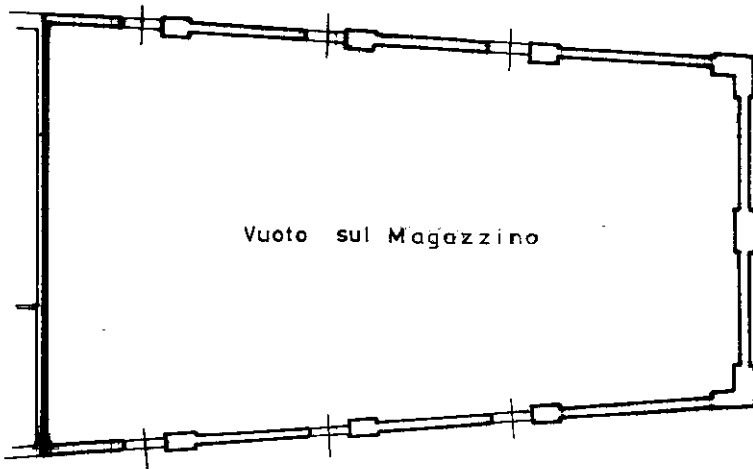
MOD. **BN** (CEU)

LIRE  
**200**

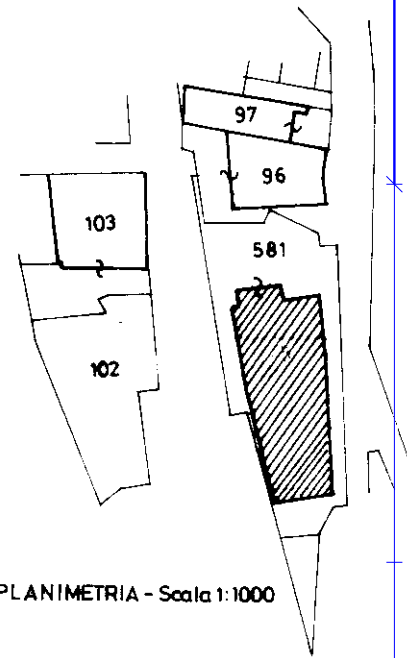
Planimetria di u.i.u. in Comune di **TOANO** via **Conte Sasso** civ. **32**



PIANO TERRA

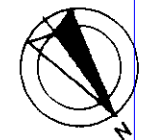


PIANO PRIMO



PLANIMETRIA - Scala 1:1000

ORIENTAMENTO



SCALA DI L. 200

Bozza - Istituto Poligrafico e Zecca dello Stato - P.V.

Dichiarazione di N.C.   
Denuncia di variazione

Compilata dal **Geometra**  
(Titolo, cognome e nome)  
**ANNOVI VASCO**

Identificativi catastali  
F. **63**  
n. **581** sub. **2**

Iscritto all'albo dei geometri  
della provincia di **Reggio Emilia**  
n. **1234**  
data **05-12-1997** Firma *Alleva*



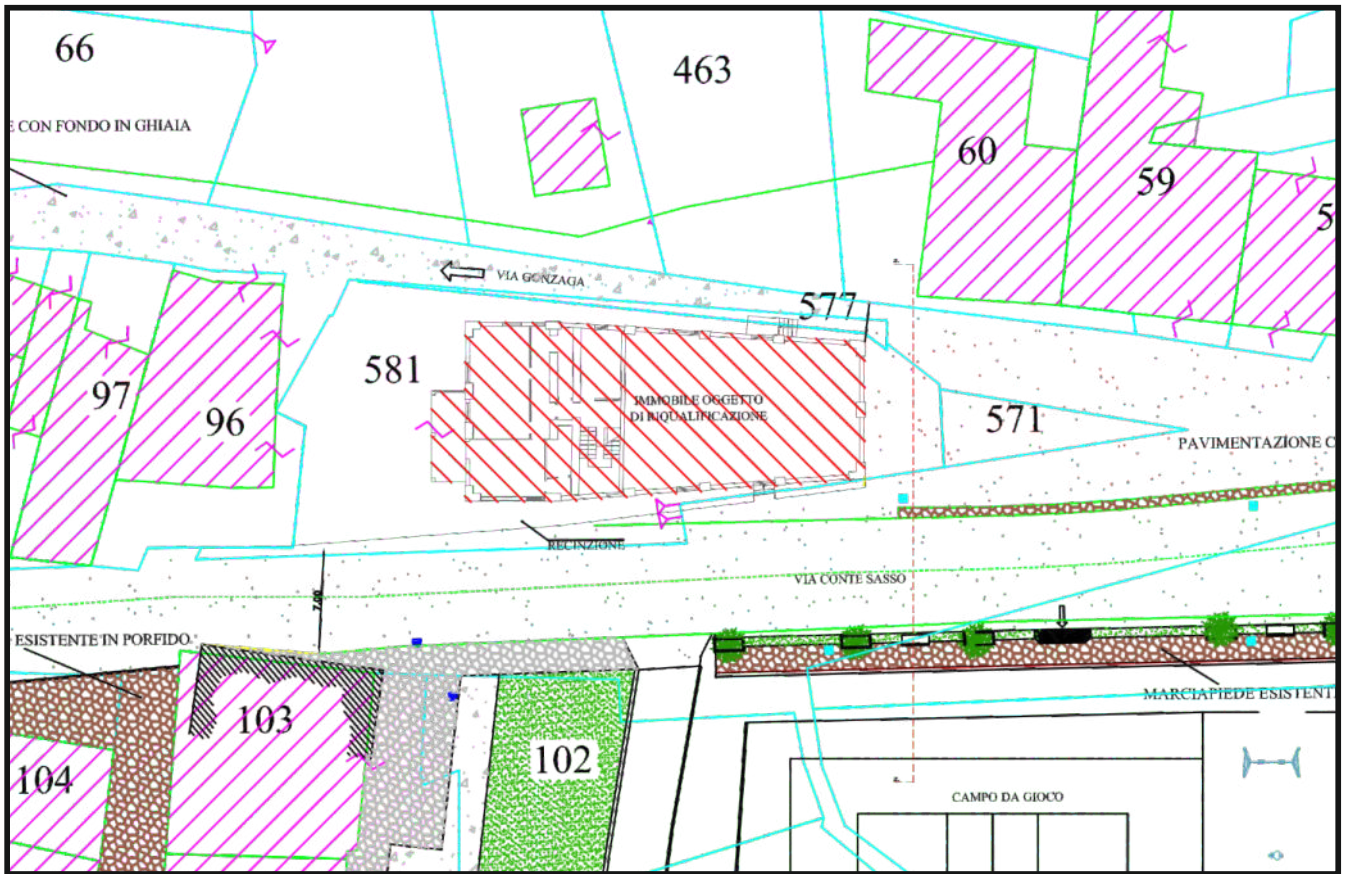
RISERVATO ALL'UFFICIO

Catasto di Fabbricati - Situazione al 07/10/2021 - Comune di TOANO(L.184) - < Foglio 63 - Particella 581 - Subalterno 2>  
Via **CONTE SASSO** n. 32 Piano T

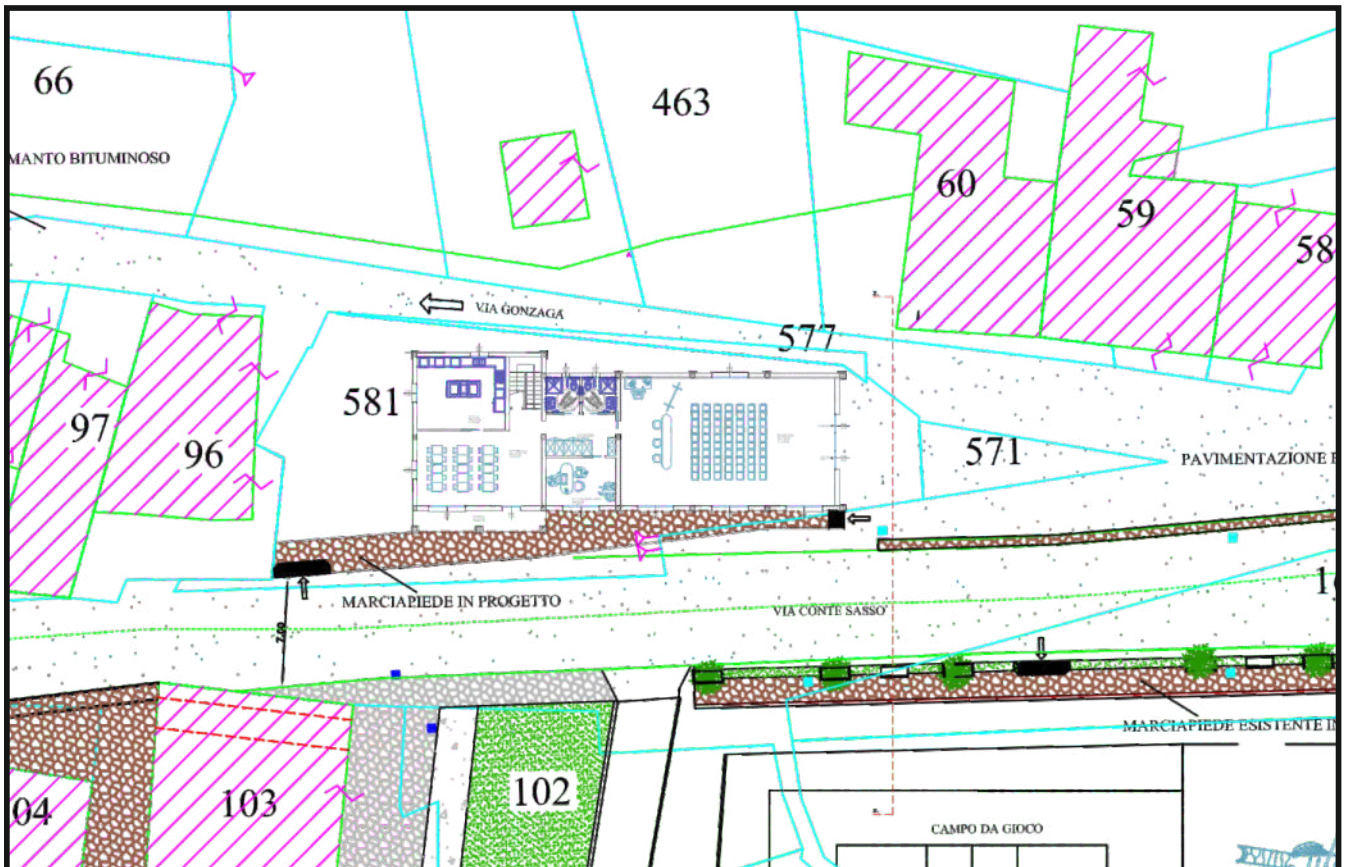
Ultima planimetria in atti



## PLANIMETRIA STATO DI FATTO



## PLANIMETRIA STATO DI PROGETTO



### **3. INQUADRAMENTO GEOLOGICO E STABILITÀ DELL'AREA**

Geologicamente la dorsale di Quara che verso est degrada in direzione del T. Dolo mentre verso ovest in direzione del T. Secchiello è costituito da terreni appartenenti alle coltri alloctone che affiorano estesamente nell'Appennino Tosco-Emiliano e che sono in prevalenza costituite da Formazioni in facies di pre-flysch calcareo marnosi ed arenacei.

La frammentarietà degli affioramenti, dovuta all'erosione ed ai movimenti di traslazione subiti da queste Formazioni, ha reso difficile la correlazione fra le varie placche ed ha favorito il moltiplicarsi di unità litostratigrafiche spesso considerate esclusive di una singola area di affioramento.

Diversi autori hanno tentato di ricostruire le successioni stratigrafiche negli affioramenti meno dislocati cercando poi di riconoscere e correlare queste unità litostratigrafiche anche nelle placche tettonicamente più disturbate e disarticolate. Le Unità finora riconosciute possono essere raggruppate in sette gruppi.

Nel territorio di Quara, da un punto di vista tettonico, l'assetto dei terreni è pertanto abbastanza complesso. Come si evince dalla Carta Geologica del CARG, solo a monte dell'abitato e sporadicamente lungo il versante opposto a quello in esame, degradante verso occidente, sono stati rilevati assetti significativi.

In base ad essi, rispetto alla sommità del crinale in corrispondenza del quale si è sviluppato il paese, l'assetto degli strati, lungo entrambe le pendici, sembrerebbe a franapoggio. Si potrebbe quindi ragionevolmente ipotizzare l'esistenza di una piega, tale da giustificare l'indicazione di faglia certa al passaggio fra le due formazioni. Come in precedenza sottolineato, vi è normalmente infatti continuità di sedimentazione tra le due formazioni flyscioidi qui affioranti.

La "Formazione di Monghidoro", a cui appartengono i terreni posti lungo il versante, rientra, insieme alla "Formazione di M. Venere", nel gruppo della Val di Sambro.

Nell'ambito del territorio a cui appartiene l'area in esame la "Formazione di Monghidoro" si presenta nel "membro arenaceo-pelitico" (rapporto A/P > 1).

Si tratta di arenarie torbiditiche fini e medie, localmente grossolane e microconglomeratiche, grigie e giallastre per alterazione con grado di cementazione variabile, passanti ad argille siltose grigio scure o nerastre e, più raramente, a peliti debolmente marnose grigio verdi. Gli strati, localmente lenticolari, sono da molto sottili a molto spessi con frequenti controimpronte basali.

Verso oriente, come chiaramente evidenziato dalla Carta Geologica del progetto CARG della Regione, la "Formazione di M. Venere" viene a contatto con affioramenti della "Formazione di Monghidoro".

La "Formazione di M. Venere (MOV)" è invece costituita da torbiditi calcareo marnose in strati da spessi a molto spessi (fino ad oltre 20 m) costituite da una porzione basale carbonatica, arenaceo-calcareo, fine e media, passanti a calcari marnosi e marne scheggiose, a luoghi sormontate da argille siltose nerastre emipelagiche. In alternanza singoli strati o pacchi di torbiditi arenaceo-pelitiche in strati da sottili a molto spessi, a luoghi prevalenti e di frequente mal cementate.

Tutto ciò premesso, al fine di acquisire dati certi sulle caratteristiche del primo sottosuolo, si è ritenuto opportuno procedere all'esecuzione, nelle immediate vicinanze dell'edificio, di quattro indagini penetrometriche dinamiche. La DIN1 e DIN2 sono state effettuate lungo il lato occidentale su Via Gonzaga mentre la DIN3 nel giardino della Chiesa e la DIN4 nello spigolo di SE dell'ex cinema.

Le prove penetrometriche dinamiche, appositamente effettuate per accertare la reale natura del primo sottosuolo, hanno riscontrato la presenza di una coltre superficiale di alterazione, di vario spessore, costituita da materiali coesivi che ricoprono le arenarie torbiditiche appartenenti alla Formazione di Monghidoro (MOH). Da evidenziare che spostandosi dalla sommità della linea di crinale sia verso oriente sia verso occidente, aumenta la coltre di alterazione al di sopra della roccia di substrato; nella fattispecie lungo il lato ovest la roccia si rinviene tra 3.5 e 4 m mentre sul lato orientale a circa 2 m. La prova 3 infatti, realizzata ad una distanza di almeno 10 m dal lato est, la roccia è stata accertata a circa 5 m di profondità.

Come in precedenza descritto, il terreno in oggetto di studio è situato a ridosso del piccolo crinale su cui si è sviluppato l'abitato di Quara, in direzione del pendio verso occidente inciso dal Rio di Vogno e dai suoi tributari.

Nel loro insieme le aree poste a ridosso della sommità del crinale ed anche quella dei piccoli rilievi ad essa collegati sono contraddistinti da una stabilità sufficientemente buona.

Ciò non toglie però che entro gli avvallamenti si siano in epoche diverse instaurati numerosi movimenti di origine gravitativa, alcuni dalle carte tematiche valutati ancora attivi (cf. Carta Geologica del progetto CARG della Regione e stralcio della Carta dell'Inventario del Dissesto, entrambe in scala 1 : 5.000). Le frane sono ascrivibili sia all'assetto scompaginato delle formazioni in posto sia all'instabilità delle sovrastanti coltri di alterazione e detritiche.

Limitatamente all'area d'intervento e ai terreni attigui che degradano in direzione dell'avvallamento inciso dal Rio di Vogno e dai suoi tributari occorre segnalare i movimenti franosi che hanno interessato le zone a settentrione e ad occidente. Nell'altro versante, a nord della Chiesa, gli eventi, la cui ubicazione sull'Archivio Storico dei Movimenti Franosi della Regione viene riconosciuta con il n° 60200, sono avvenuti anche in epoca storica, ne è esistita infatti una documentazione risalente all'autunno 1896. Più precisamente di questo scritto si dice "Riattivazione di un'estesa frana sul tratto di versante compreso tra Quara e Monzone. Vasta frana quiescente, estesa dal crinale di Quara sino all'alveo del Fosso della Costa".

Di un evento verificatosi nell'aprile 1960 esiste invece questa documentazione "Versante sottostante la strada provinciale Quara – Toano, degradante verso la vallecchia del Fosso della Costa, nel tratto subito a nord della Chiesa. Attivazione di una frana sul pendio subito a valle della strada all'interno di uno dei lobi superiori relativi alla estesa frana quiescente che coinvolge gran parte del versante destro della vallecchia del Fosso della Costa".

Sempre lungo questo tratto di versante ma più a sud, l'inventario cataloga con il n° 60199 un secondo movimento gravitativo.

Di esso, anch'esso avvenuto nella primavera del 1960, attivatosi in data certa, a causa della abbondanti precipitazioni, per un periodo di circa sette giorni, a partire dal 13/04/1960, si dice "Strada comunale Quara – Gova, località 0.5 Km oltre Quara. Attivazione di una frana sul pendio a valle della strada. Presenza, a monte della strada, di una depressione sede di ristagno idrico. All'interno di una propaggine relativa alla zona di coronamento di una vasta frana quiescente".

In entrambi i casi si tratta in genere di frane complesse (a2g in carta), in gran parte considerate quiescenti ma parzialmente valutate ancora attive, a seguito di rimobilizzazioni, in una fascia a sud collegata all'evento n° 60200 ed in una lingua che a settentrione visualizza un arretramento sino ai piedi della sovrastante strada provinciale.

Come sottolineato in geolitoologia, questi eventi sono strettamente riconducibili al particolare contesto in cui essi sono avvenuti, alle caratteristiche geolitoologiche delle formazioni qui presenti, Monte Venere e Monghidoro, a contatti di tipo tettonico ed assetti di strato a franapoggio rispetto al naturale andamento del pendio ma soprattutto al fattivo contributo delle intense precipitazioni avvenute nella primavera del 1960, periodo nel comune di Toano tristemente noto per la movimentazione delle frane, di ingenti proporzioni, che hanno interessato gli abitati di Cavola, Manno e Morra e, particolare menzione, repentinamente ostruito l'alveo del F. Secchia.

Visto l'andamento del pendio, l'attuazione di seppur modeste opere di sbanco, tali da comportare l'asportazione di una parte della coltre di alterazione che ricopre la roccia più compatta di substrato nella posizione in cui verrà a ricadere il fabbricato, stante altresì il maggior approfondimento delle fondazioni nella zona a monte, entro terreni con migliori caratteristiche geomeccaniche, è giustificato un buona stabilità del crinale.

#### 4. METODOLOGIA D'INDAGINE E PARAMETRI GEOTECNICI

Le caratteristiche del terreno sono state determinate interpretando i dati ricavati da quattro indagini penetrometriche. Le penetrometrie dinamiche sono state realizzate mediante l'ausilio di un penetrometro dinamico tipo D.P.S.H. (Dynamic Probing super Heavy) montato su penetrometro cingolato Pagani mod. TG 63-200 kN.

Nei tabulati di calcolo allegati, oltre al numero di colpi (N) necessari per l'avanzamento di 20 cm della punta, sono stati riportati i valori, calcolati mediante elaborazione automatica dei dati, delle resistenze penetrometriche dinamiche alla punta (Rpd), espresse in Kg/cm<sup>2</sup>.

Le elaborazioni sopra citate, fornite in allegato ed effettuate mediante un programma di calcolo automatico, fanno riferimento a esperienze e ricerche condotte in vari Paesi da diversi autori.

Le indagini consentono di ricostruire, per i vari strati, le caratteristiche litologiche ed i parametri geotecnici caratteristici:

##### PROVA PENETROMETRICA DIN1

Nr.	Profondità (m)	Peso unità di Volume [kN/m <sup>3</sup> ]	Peso Unità di volume saturo [kN/m <sup>3</sup> ]	Fi (°)	Cu [kPa]	c' [kPa]	Mo [kPa]	Descrizione litologica
1	Da 0 a 1.6	18.14	19.12	18	68.64	14.71	5883	Riporto e suolo argilloso
2	Da 1.6 a 4	18.63	19.61	20	88.25	14.71	6864	Argille sabbioso limose
3	Oltre 4	20.59	20.59	35	0	0	29420	Torbiditi arenacee

##### PROVA PENETROMETRICA DIN2

Nr.	Profondità (m)	Peso unità di Volume [kN/m <sup>3</sup> ]	Peso Unità di volume saturo [kN/m <sup>3</sup> ]	Fi (°)	Cu [kPa]	c' [kPa]	Mo [kPa]	Descrizione litologica
1	Da 0 a 1.4	18.14	19.12	18	78.45	14.71	6864	Riporto e suolo argilloso
2	Da 1.4 a 3.4	18.63	19.61	20	88.25	14.71	6864	Argille sabbioso limose
3	Oltre 3.4	20.59	20.59	35	0	0	29420	Torbiditi arenacee

##### PROVA PENETROMETRICA DIN3

Nr.	Profondità (m)	Peso unità di Volume [kN/m <sup>3</sup> ]	Peso Unità di volume saturo [kN/m <sup>3</sup> ]	Fi (°)	Cu [kPa]	c' [kPa]	Mo [kPa]	Descrizione litologica
1	Da 0 a 1.2	18.14	19.12	18	68.64	14.71	5883	Riporto e suolo argilloso
2	Da 1.2 a 5.2	18.63	19.61	20	58.83	9.81	5883	Argille sabbioso limose
3	Oltre 5.2	20.59	20.59	35	0	0	29420	Torbiditi arenacee

##### PROVA PENETROMETRICA DIN4

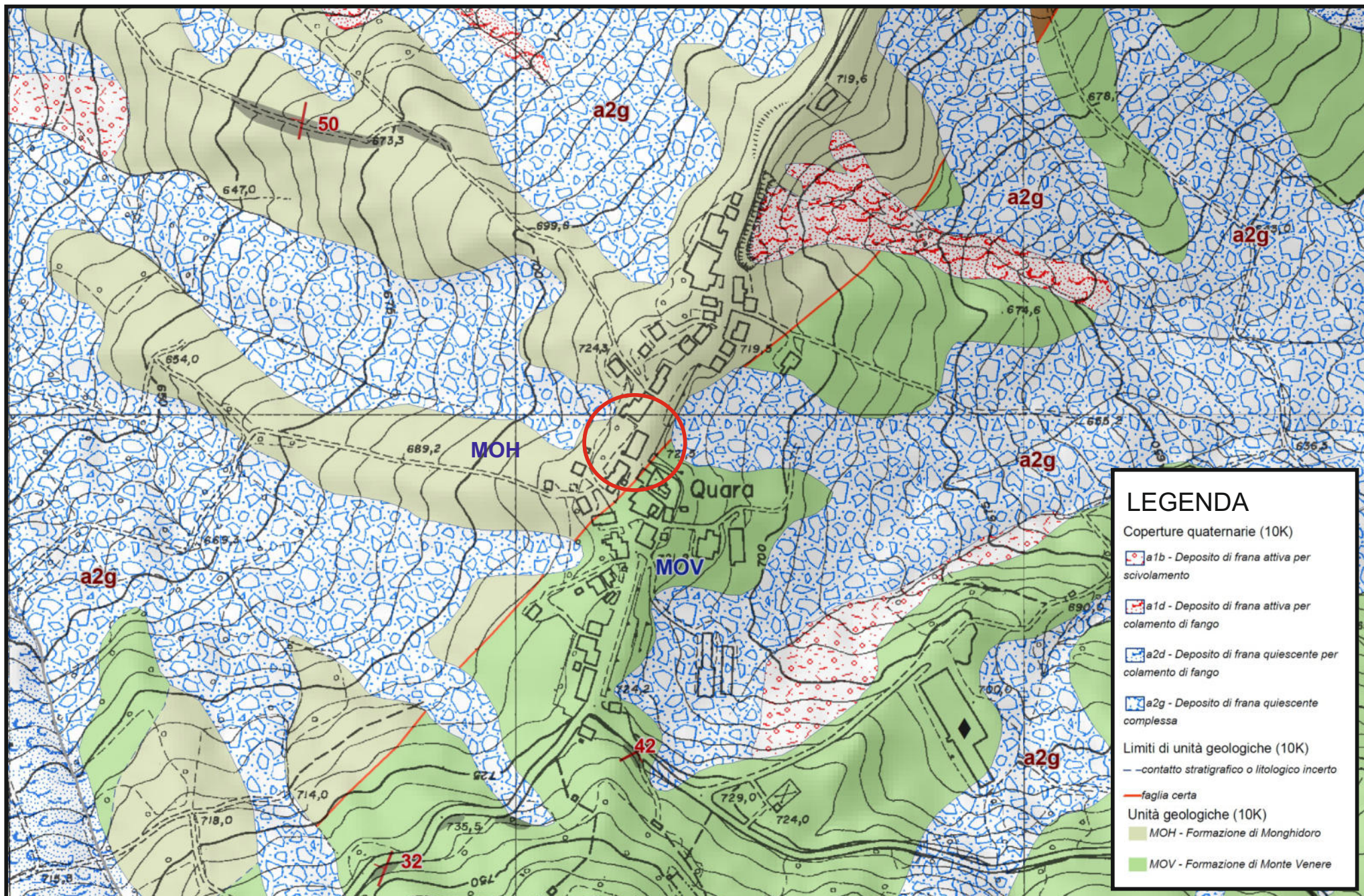
Nr.	Profondità (m)	Peso unità di Volume [kN/m <sup>3</sup> ]	Peso Unità di volume saturo [kN/m <sup>3</sup> ]	Fi (°)	Cu [kPa]	c' [kPa]	Mo [kPa]	Descrizione litologica
1	Da 0 a 1.2	18.14	19.12	18	58.83	9.81	5883	Riporto e suolo argilloso
2	Oltre 5.2	20.59	20.59	35	0	0	29420	Torbiditi arenacee

dove:  $\gamma$  = peso di volume;  $\gamma_{\text{sat}}$  = peso di volume saturo; Cu = coesione non drenata; c' = coesione efficace;  $\phi'$  = angolo di attrito; Mo = modulo edometrico.



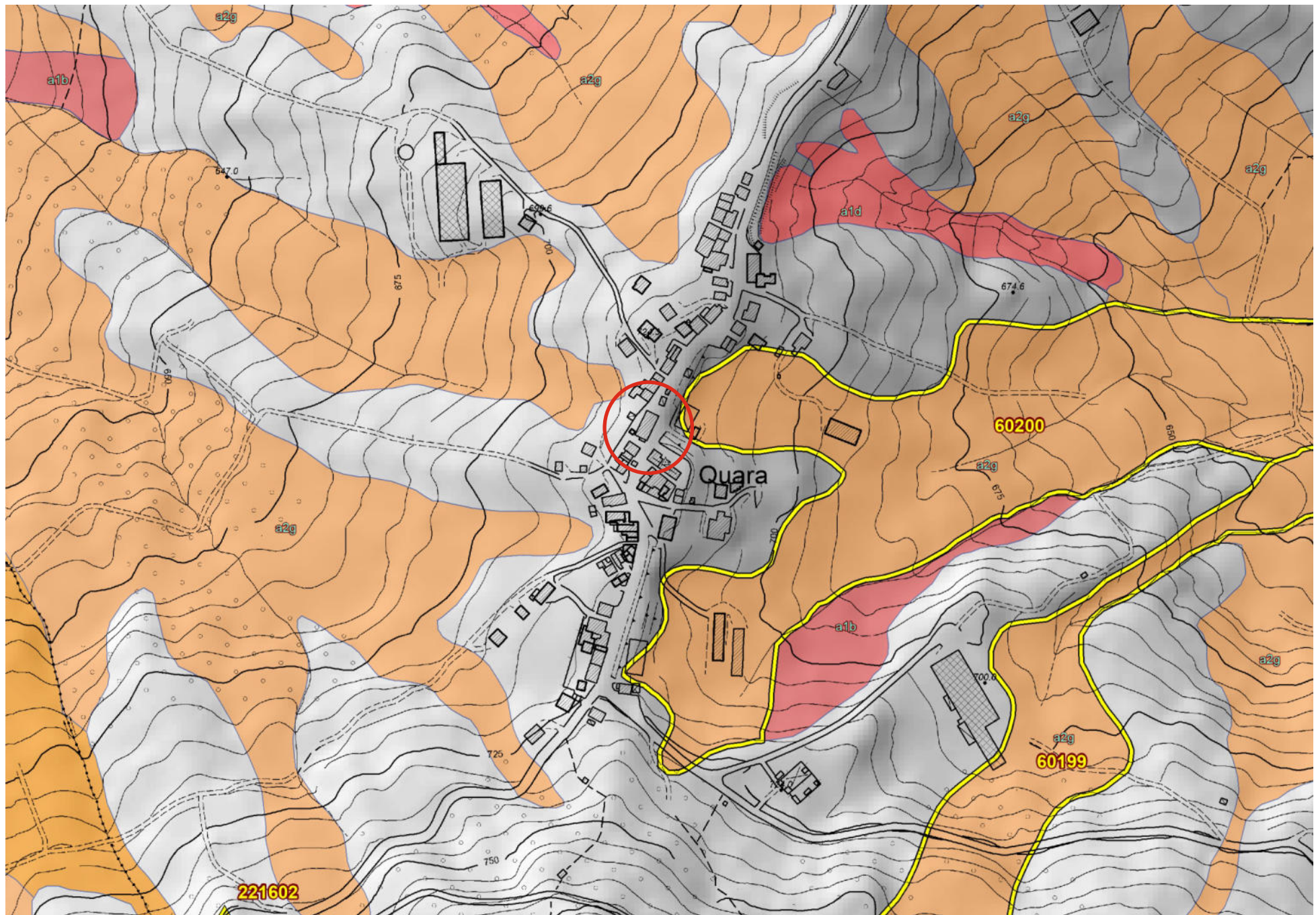
# CARTA GEOLOGICA DEL PROGETTO CARG DELLA REGIONE EMILIA ROMAGNA

SCALA 1: 5.000





**CARTA DEL DISSESTO DELLA REGIONE EMILIA ROMAGNA IN SCALA 1:5000**

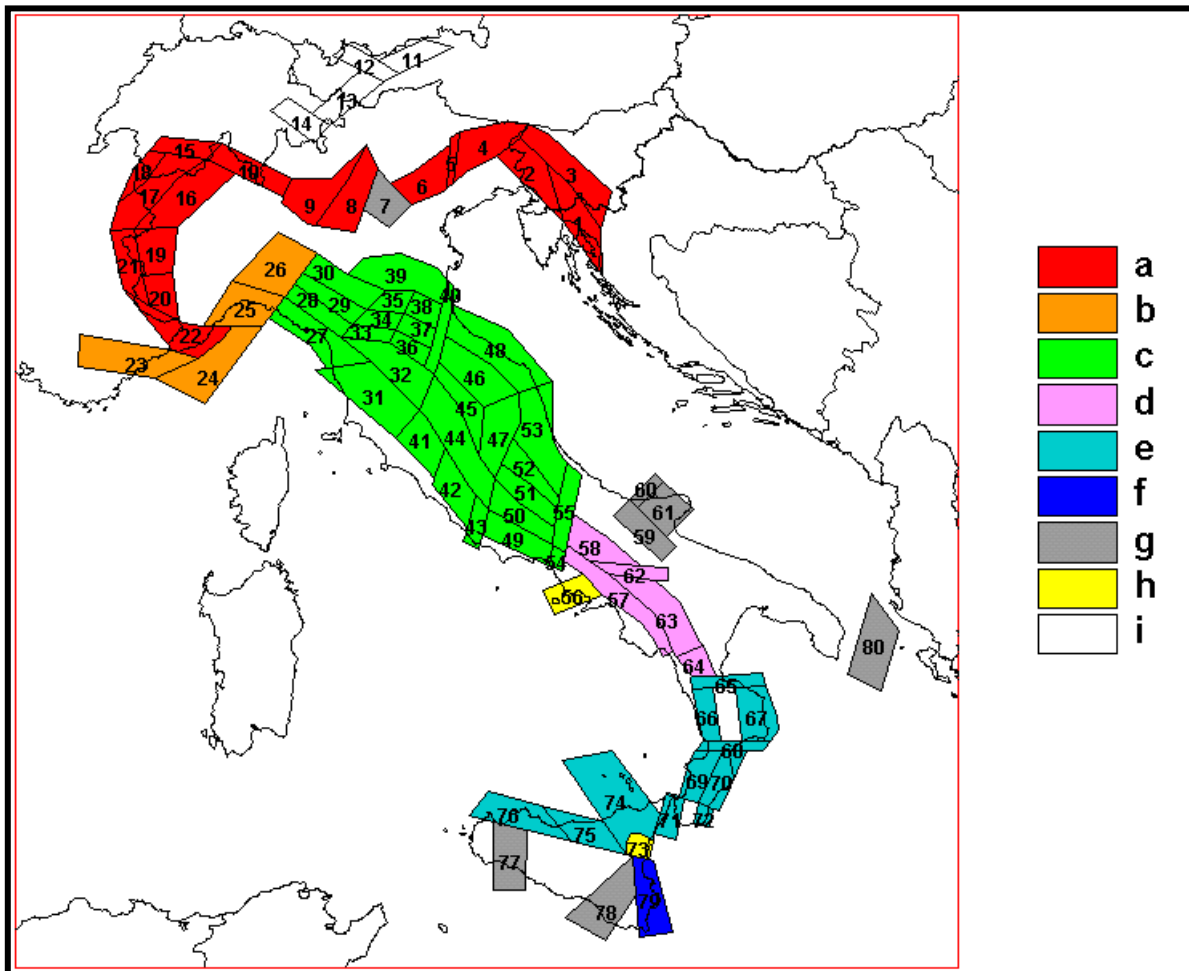


## 5. SISMICITÀ DELL'AREA

Per caratterizzare la sismicità dell'area si è fatto riferimento, oltre che alla normativa vigente, ai dati disponibili in letteratura ed in particolare ai lavori svolti dal GNDT del CNR (Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti).

Si è presa in considerazione la zonazione sismogenetica del territorio italiano ZS4 (progetto di P. Scandone e M. Stucchi – marzo 1999 – cf. tav. seg.) che considera 80 sorgenti omogenee dal punto di vista strutturale e sismogenetico.

Secondo questa suddivisione, l'area oggetto di studio ricade nell'area 30, appartenente alla fascia padano-adriatica in compressione legata allo sprofondamento passivo della litosfera adriatica sotto il sistema di catena nell'Arco Appenninico Settentrionale secondo cui i meccanismi di rottura attesi sono di tipo thrust e strike-slip con assi di subduzione da SW a NE.



Attraverso elaborazioni probabilistiche il GNDT ha prodotto, per un tempo di ritorno di 475 anni (equivalente alla probabilità di superamento nell'arco temporale di 50 anni – vita media di un edificio), la zonazione del territorio italiano, come riportato in figura. Per la zona le accelerazioni orizzontali di picco attese sono state considerate, in accordo con quanto proposto dal GNDT, pari a  $PGA = 0.25g$  (Peak Ground Acceleration).

Come risulta dai dati del catalogo del Servizio Sismico Nazionale, l'intensità massima risentita nel territorio di Viano, non ha superato in epoca storica il valore del VI/VII grado MCS (cf. tabelle qui di seguito allegate).

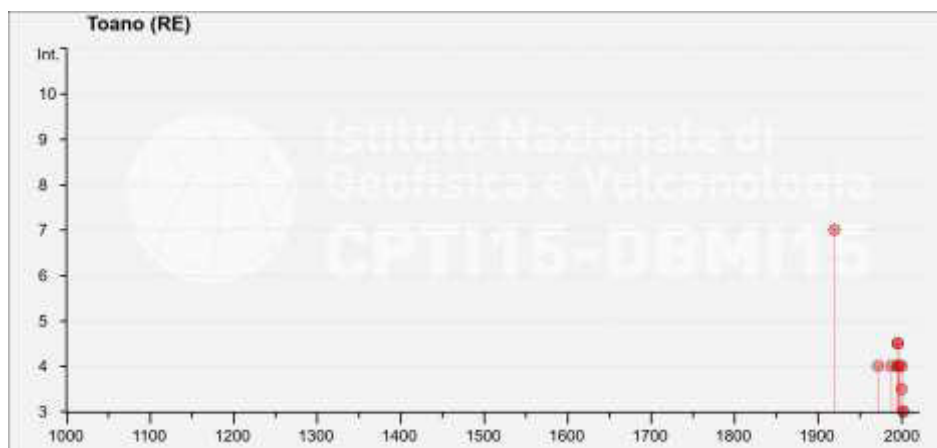


**Storia sismica di Toano (RE)**  
[44.376, 10.560]

Osservazioni disponibili: 15

Effetti	In occasione del terremoto del								
Int.	Anno	Me	Gi	Ho	Mi	Se	Area epicentrale	Io	Mw
7	1920	09	07	05	55	4	Garfagnana	10	6.53
2	1957	10	25	23	02	0	Appennino reggiano	5-6	4.27
4	1972	10	25	21	56	1	Appennino settentrionale	5	4.87
NF	1986	12	06	17	07	1	Ferrarese	6	4.43
2-3	1987	05	02	20	43	5	Reggiano	6	4.71
4	1988	02	08	11	24	4	Garfagnana	6	4.34
NF	1989	10	03	09	41	3	Appennino parmense	4	4.04
4	1995	10	10	06	54	2	Lunigiana	7	4.82
4-5	1995	12	31	21	29	4	Appennino reggiano	4-5	4.51
4-5	1996	10	15	09	55	5	Pianura emiliana	7	5.38
4	1997	12	24	17	53	1	Garfagnana	5	4.33
3-4	2000	06	18	07	42	0	Pianura emiliana	5-6	4.40
4	2000	10	03	01	12	3	Frignano	5	4.22
3	2002	06	08	20	13	0	Frignano	4	4.23
3	2002	06	18	22	23	3	Frignano	4	4.30

*Intendendo: Int = Intensità al sito (MCS); Io = Intensità epicentrale (MCS); Mw = Magnitudo*



*eventi sismici nel rapporto tra anni (in ascisse) ed intensità sismica (in ordinate)*

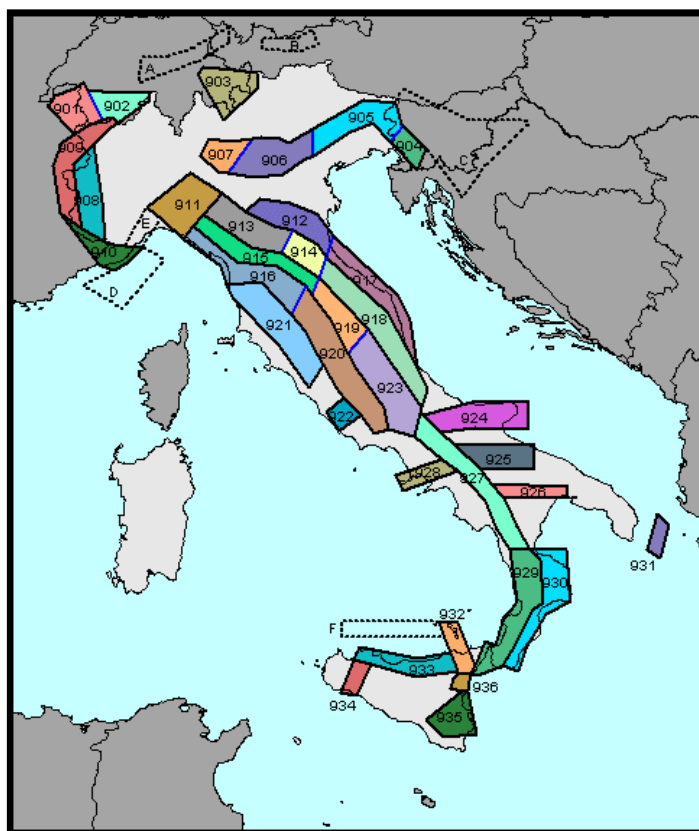
L'Ordinanza P.C.M. n° 3274 del 20 marzo 2003, di recente adozione, ha aggiornato la normativa sismica in vigore, con l'attribuzione, alle diverse località del territorio nazionale, di un valore di scuotimento sismico di riferimento, espresso in termini di incremento di accelerazione al suolo.

Il territorio del comune di Toano, secondo la nuova zonazione sismogenetica ZS9 (progetto a cura di C. Meletti e G. Valensise del marzo 2004) è incluso nella zona 913, al passaggio, verso sud, con

la zona 915 (cf. tavola nella pagina seguente). In base a questa nuova zonazione, il territorio di Toano è stato riconfermato in zona Z2 a media sismicità, classificazione che gli era stata già attribuita con il D.M. del 23/7/1983. Di conseguenza, gli interventi edilizi devono rispettare le disposizioni delle leggi n° 1684 del 25/11/1962 e n° 64 del 2/2/1974 oltre al D.M. 19/06/1984 e successive modifiche, che normano le tecniche costruttive in zone dichiarate sismiche.

Come espressamente specificato al punto 2.4 della circolare n° 1677/2005 (prot. GEO/05/87449) emanata in data 24/10/2005 dalla Giunta della Regione Emilia Romagna, ai fini della determinazione delle azioni sismiche, può essere assegnato, a zone come questa di media sismicità, un valore ( $a_g/g$ ), di ancoraggio dello spettro di risposta elastico, pari a 0.25.

Più precisamente, al comune di Toano, l'allegato 4 dell'Assemblea Legislativa n° 2131 – prot. n° 8511 del 2 maggio 2007, assegna il valore di accelerazione massima orizzontale di picco al suolo, cioè  $T = 0$ , espressa in frazione dell'accelerazione di gravità  $g$  ( $a_{refg}$ ), di 0.162.



*Zonazione sismogenetica ZS9*

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, le modifiche ed integrazioni dell'Ordinanza propongono una caratterizzazione geofisica e geotecnica del profilo stratigrafico del suolo. Secondo il D.M. 17/1/2018 "Aggiornamento delle Norme Tecniche delle Costruzioni", in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori delle velocità equivalenti di propagazione delle onde di taglio, mediate sui primi 30 metri di terreno ( $V_{S30}$ ), vengono individuate cinque categorie (A – B – C – D – E).

In tal senso, in ottemperanza con quanto prescritto dalla normativa, sono state eseguite in sito le seguenti indagini geofisiche:

- n.1 indagine sismica a rifrazione con metodo MASW;
- n. 1 indagine sismica passiva Horizontal to Vertical Spectral Ratio (HVSr) – Metodo di Nakamura.

## SISMICA A RIFRAZIONE CON METODO MASW

Come detto è stata eseguita un'indagine sismica a rifrazione tipo MASW nell'area cortiliva occidentale a pochi metri di distanza dal fabbricato, lungo Via Gonzaga.

La prospezione geofisica è stata eseguita utilizzando un sismografo a 24 canali prodotto dalla Ditta PASI di Torino attrezzato con 24 geofoni orizzontali di ricezione, dotati di preamplificatori di segnale, disposti ad interasse di 2 m l'uno dall'altro (cf. foto sottostante e ubicazione indagini).



*Indagine geofisica MASW*

La tecnica non è invasiva e richiede una fonte di energizzazione (mazza battente).



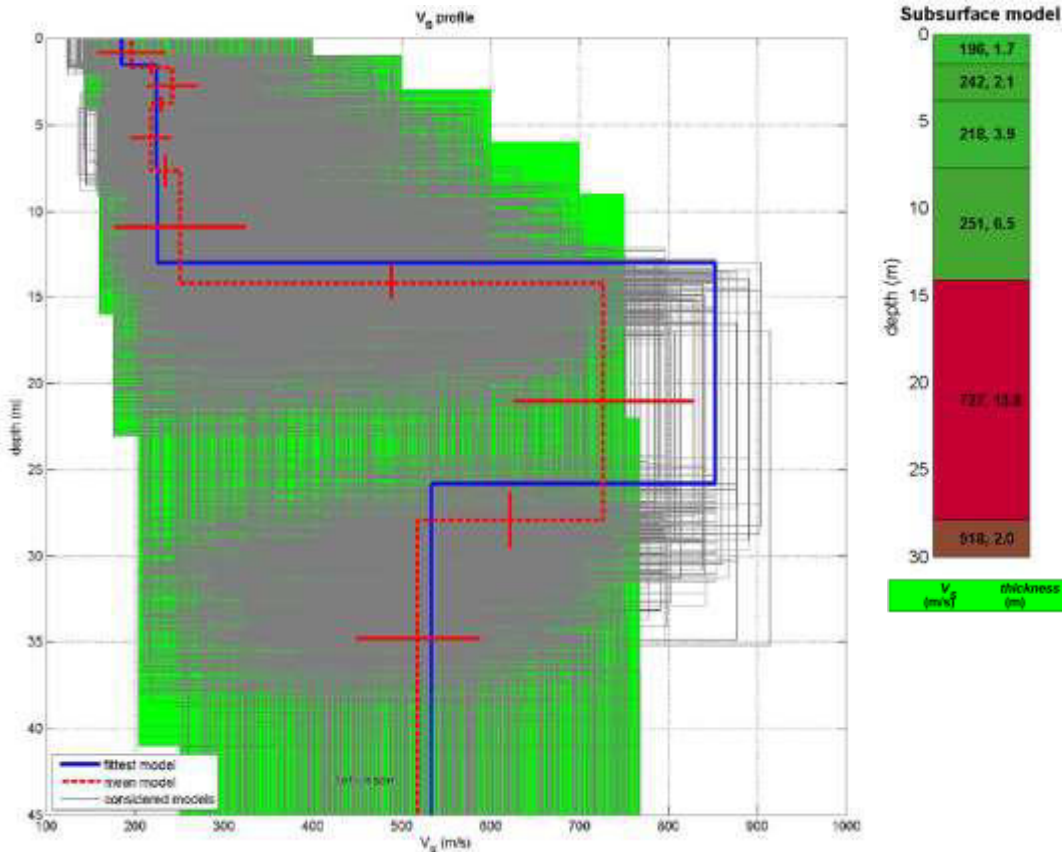
*Strumentazione geofisica PASI*



L'indagine, effettuata mediante sismica a rifrazione applicando il metodo MASW – Multichannel Analysis of Surface Waves, ha consentito di analizzare, nei primi 30 m, la velocità delle onde di taglio (S).

Le onde S, analogamente a quelle di compressione (P), non sono dispersive e si propagano anche in mezzi perfettamente omogenei inducendo deformazioni puramente distorsionali. Gli elementi di volume investiti dall'onda vibrano in direzione perpendicolare rispetto alla direzione di propagazione.

Nella fattispecie, il sondaggio ha accertato la presenza di vari strati e ad ognuno di essi, mediante l'ausilio dell'apposito programma di calcolo winMASW 4.1.1 Pro, è stata attribuita la velocità delle onde di taglio S ( $V_s$ ) ed il rispettivo spessore (d) (cf. tabelle e diagrammi proposti in allegato).



Per gli strati sono stati rispettivamente ottenuti i seguenti valori:

1° STRATO	2° STRATO	3° STRATO
$V_s = 196$ m/sec	$V_s = 242$ m/sec	$V_s = 218$ m/sec
$d = 1.7$ m	$d = 2.1$ m	$d = 3.9$ m

4° STRATO	5° STRATO	6° STRATO
$V_s = 251$ m/sec	$V_s = 727$ m/sec	$V_s = 518$ m/sec
$d = 6.5$ m	$d = 13.8$ m	$d = 2.0$ m

La valutazione del valore  $V_{S30}$  viene quindi ottenuta mediante l'utilizzo della seguente relazione:

$$V_{S30} = \frac{30}{\sum_{i=1,n} \frac{h_i}{v_i}}$$

dove:  $h_i$  = spessore dello strato  $i$ esimo, m  
 $v_i$  = velocità onde di taglio strato  $i$ esimo, m/sec

ottenendo:

$$V_{S30} = 358 \text{ m/sec}$$

In ottemperanza con quanto prescritto dalla normativa, viste le caratteristiche del primo sottosuolo, il suolo di fondazione potrebbe essere assimilato alla categoria C di azione sismica tuttavia, visto il contrasto di impedenza a circa 14 m di profondità unitamente all'inversione a 28 m, si ritiene opportuno declassare il primo sottosuolo alla categoria E di azione sismica caratterizzata da "Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m".

## INDAGINE SISMICA PASSIVA HVSR

Come detto in precedenza è stata effettuata un'indagine sismica passiva HVSR nel giardino a sud del fabbricato, nelle vicinanze della penetrometria DIN4.



*Indagine geofisica HVSR*

La prova, nota semplicemente con il nome H/V, fu sperimentata per la prima volta da Nogoshi e Igarashi nel 1970 ma è stata poi diffusa successivamente, nel 1989, da Nakamura (infatti la prova viene anche definita come metodo di Nakamura). L'indagine consiste in una valutazione sperimentale del rapporto di ampiezza esistente tra la media delle componenti orizzontali e di quella verticale delle vibrazioni ambientali (sismica passiva), misurate in un determinato punto della superficie terrestre tramite un velocimetro triassiale (due orizzontali perpendicolari tra loro ed una verticale).

Quanto detto, giustifica la definizione della metodologia e cioè prova HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio) oppure HVSNR (Horizontal to Vertical Spectral Noise Ratio). Le vibrazioni misurate sono i cosiddetti microtremori e sono l'effetto di una serie di sorgenti le quali sono attive per una molteplicità di frequenze, anche se quelle che interessano a fini ingegneristici sono generalmente quelle comprese nell'intervallo 0,5 – 20 Hz. Le principali sorgenti sono sia di origine antropica (traffico veicolare, attività industriale, rumore urbano in genere) che naturale (onde marine, perturbazioni atmosferiche, cicloni oceanici, tremori vulcanici).

Durante l'acquisizione dei dati vanno rispettate una precisa metodologia ed alcune accortezze per fare in modo che il dato sia statisticamente corretto. Questa metodologia a stazione singola del microtremore sismico consente la misura della frequenza fondamentale di risonanza del sottosuolo e degli edifici.

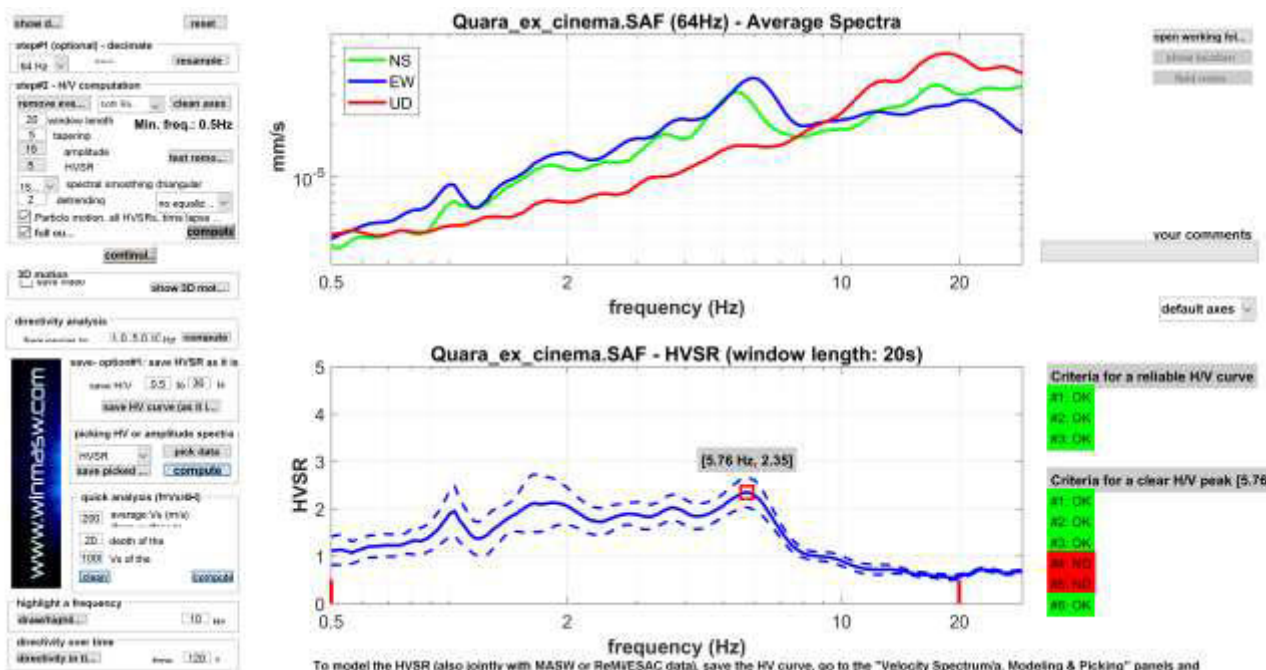
Le misure sono state effettuate con uno strumento denominato Gemini 2 prodotto dalla ditta Pasi di Torino. Il Gemini 2 è un acquirente dati HVSR costituito da una terna di geofoni con frequenza di risonanza di 2 Hz, accoppiati sia meccanicamente che elettricamente e da un acquirente di dati a 24 bit reali appositamente progettato. Per il suo funzionamento in campagna il Gemini 2 viene collegato ad un computer portatile tramite un'interfaccia USB. I tre geofoni interni sono orientati secondo una terna di assi cartesiani, assumendo la convenzione descritta nelle linee guida del Progetto S.E.S.A.M.E.: l'asse Z corrisponde al geofono verticale (direzione Up-Down), l'asse X e l'asse Y corrispondono rispettivamente al geofono orizzontale (direzione East-West) e al geofono orizzontale

(direzione North-South). Le misurazioni, della durata di venti minuti pari a 200 Hz, sono poi elaborate utilizzando il software WinHVSr, prodotto dalla ditta EliaSoft.



*Tromografo PASI GEMINI 2*

Qui di seguito vengono riproposti i risultati ottenuti:



**In the 0.5-20.0Hz frequency range**

Peak frequency (Hz): 5.8 (±1.9)

Peak HVSR value: 2.3 (±0.3)

In base alle risultanze dell'indagine geofisica passiva HVSR, per il terreno sono stati ottenuti valori di picco della frequenza di risonanza (Peak frequency - Hz) di 5.8 Hz e del rapporto spettrale tra le componenti del moto orizzontale e verticale (Peak HVSR value) di 2.3.



## 6. RISPOSTA SISMICA LOCALE SEMPLIFICATA

Il Decreto Ministeriale del 14 gennaio 2008 recante le “Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni”, che recepisce quanto già riportato nell’Ordinanza 3274 del 20/03/2003 e successive modifiche, definisce i criteri antisismici generali, precisando le azioni che devono essere impiegate in fase progettuale per la sicurezza strutturale delle opere.

L’azione sismica sulle costruzioni è valutata partendo da una “pericolosità sismica di base”, derivata da studi eseguiti a livello nazionale e definita sulla base di condizioni ideali in superficie di suolo rigido e topografia orizzontale.

Le Azioni di progetto, per un suolo rigido orizzontale, vengono ricavate in funzione di tre parametri:

$a_g$  = accelerazione orizzontale massima

$F_o$  = fattore di amplificazione massimo dello spettro in accelerazione orizzontale

$T_{c^*}$  = periodo inizio tratto costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

Tali parametri vengono inoltre definiti secondo termini probabilistici differenti, con periodi di ritorno  $T_R$  di 30, 50, 475, 975 anni; per tale motivo, ai fini progettuali, occorre fissare la vita di riferimento  $V_R$  della costruzione e la probabilità di superamento associata a ciascuno degli stati limite considerati.

I valori dei parametri  $a_g$ ,  $F_o$  e  $T_{c^*}$  per la definizione dell’Azione Sismica possono essere calcolati mediante l’utilizzo del programma di calcolo online GEOSTRU PS, in cui vengono generati accelerogrammi correttamente commisurati alla pericolosità sismica del sito.


I primi dati ad essere stati introdotti nel programma sono le coordinate geografiche (latitudine 44.355 e longitudine 10.506) del sito di riferimento (vedi figura in allegato).




Come si può visualizzare nella tabella sottostante, per ottenere gli spettri di risposta sismica locale, sono stati inoltre introdotti i valori della vita della struttura e le caratteristiche sismiche del terreno.




## Stati limite

 Classe Edificio

III. Affollamento significativo... ▾

 Vita Nominale 50 ▾

 Interpolazione Media ponderata ▾

**CU = 1.5**

Stato Limite	Tr [anni]	$a_g$ [g]	Fo	$Tc^*$ [s]
Operatività (SLO)	45	0.070	2.468	0.257
Danno (SLD)	75	0.086	2.470	0.267
Salvaguardia vita (SLV)	712	0.189	2.532	0.298
Prevenzione collasso (SLC)	1462	0.234	2.561	0.310

Periodo di riferimento per l'azione sismica: 75

I valori dei principali parametri sismici ( $a_g$ ,  $F_o$ ,  $Tc^*$ ) riferiti all'area in oggetto al TR = 712 anni dello Stato Limite Ultimo di Salvaguardia della Vita esplicitati sono:

$$a_g/g = 0.189$$

$$F_o = 2.53$$

$$Tc^* = 0.29$$

Elaborando i dati forniti, il programma di calcolo ha valutato l'accelerazione massima attesa al sito mediante la relazione:

$$a_{max} = S_s \cdot S_t \cdot a_g$$


in cui:

$S_s$  = coefficiente che tiene conto dell'effetto dell'amplificazione stratigrafica;

$S_t$  = coefficiente che tiene conto dell'effetto dell'amplificazione topografica;


$a_g$  = accelerazione orizzontale massima sul suolo di categoria A.


## Coefficienti sismici

 Tipo Stabilità dei pendii e fondazioni

Muri di sostegno che non sono in grado di subire spostamenti.

H (m)	us (m)
1	0.1

 Cat. Sottosuolo E

 Cat. Topografica T1

	SLO	SLD	SLV	SLC
SS Amplificazione stratigrafica	1,60	1,60	1,47	1,34
CC Coeff. funz categoria	1,98	1,95	1,87	1,84
ST Amplificazione topografica	1,00	1,00	1,00	1,00

Acc.ne massima attesa al sito [m/s<sup>2</sup>] 0.6

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0.022	0.027	0.067	0.088
kv	0.011	0.014	0.033	0.044
Amax [m/s <sup>2</sup> ]	1.091	1.347	2.726	3.075
Beta	0.200	0.200	0.240	0.280

Nel caso in esame potrà essere assunto:

VN 50 anni - Classe d'Uso III

Stato limite SLV e TR = 475 anni (*Paragrafo 7.1 D.M. 17.01.2018*):

Ss = 1.47 - Categoria sottosuolo C

St = 1.0 - Categoria topografica T1

ag = 0.189 · g

Sulla base dei dati sopra riportati risulta pertanto che:

$$a_{\max} = S_s \cdot S_t \cdot a_g = 1.47 \cdot 1.0 \cdot 0.189 = 0.270 \cdot g.$$

## 7. MICROZONAZIONE SISMICA

L'aggiornamento con il DGR 630/2019 del DGR 2193/2015, che integrava la Delibera Regionale 112/2007, emessa dalla Assemblea Legislativa della Regione Emilia Romagna in data 2 Maggio 2007, fornendo i criteri per l'individuazione delle aree che potrebbero essere soggette ad effetti sismici locali (microzonazione sismica) in modo da orientare le scelte di pianificazione verso le aree a minor rischio. La metodologia indicata per tali tipi di studio prevede due fasi di analisi, con diversi livelli di approfondimento.

La prima fase ha carattere qualitativo ed è diretta ad identificare le parti di territorio suscettibili di effetti locali (amplificazione del segnale sismico, cedimenti, instabilità dei versanti, fenomeni di liquefazione, rotture del terreno, ecc.).

Essa viene realizzata sulla base di rilievi, osservazioni e valutazioni di tipo geologico e geomorfologico, svolte a scala territoriale, associati a raccolte di informazioni sugli effetti indotti dai terremoti passati.

La seconda fase ha invece come obiettivo la microzonazione sismica del territorio. Sulla base degli scenari individuati dalle analisi svolte nel corso della prima fase, nella seconda fase si attuano due diversi livelli di approfondimento:

a) analisi semplificata (secondo livello di approfondimento); basata, oltre che sull'acquisizione di dati geologici e geomorfologico più dettagliati di quelli rilevati nel primo livello, su prove geofisiche in sito e su prove geotecniche di tipo standard; essa viene svolta nelle aree pianeggianti e sub-pianeggianti, incluse le zone di fondovalle appenniniche, con stratificazione orizzontale e sub-orizzontale, e sui versanti stabili con acclività minore o uguale a 15° in cui il deposito ha spessore costante

b) analisi approfondita (terzo livello di approfondimento), richiesta nei seguenti casi:

- Aree soggette a liquefazione e densificazione;
- Aree instabili e potenzialmente instabili;
- Aree in cui le coperture hanno spessore fortemente variabile, come ad esempio nelle aree pedemontane e di fondovalle a ridosso dei versanti;
- Aree in cui è prevista la realizzazione di opere di rilevante interesse pubblico.

Avendo attribuito la classe d'uso 3 all'edificio esaminato, si è deciso di proporre una microzonazione sismica con analisi approfondita di III° livello.

L'analisi approfondita di terzo livello prevede la valutazione dei fattori di amplificazione  $F_a$  sulla base delle velocità medie delle onde di taglio all'interno della copertura ( $V_{sH}$ ) o nei primi 30 metri dalla superficie ( $V_{s30}$ ), calcolate secondo le seguenti formule:

$$V_{sH} = \frac{H}{\sum \frac{h_i}{V_{s_i}}} \quad V_{s30} = \frac{30}{\sum \frac{h_i}{V_{s_i}}}$$

I fattori stimati esprimono l'amplificazione del moto sismico al passaggio dal bedrock alla superficie. Essi possono essere espressi sia come rapporto di PGA che come rapporto tra le intensità spettrali calcolate sugli spettri di pseudo-velocità.



## **8. RISPOSTA SISMICA DI III° LIVELLO**

Come in precedenza detto viene qui di seguito proposta un'analisi sismica di III° livello, in cui viene definito il Fattore di Amplificazione di P.G.A.

La modellazione numerica della risposta sismica locale (RSL) è stata effettuata utilizzando il software "RSL III" della ditta Geostru di Bianco (RC), avvalendosi dello specifico codice di calcolo monodimensionale "SHAKE".

L'elaborazione ha permesso di valutare l'amplificazione dell'impulso sismico al suolo e di quantificare gli spettri di risposta sulla base di terremoti di riferimento (TR 712 anni con smorzamento pari al 5%) forniti dalla Regione Emilia-Romagna, per lo Stato Limite Ultimo SLV.

Il Software RSL III permette di valutare puntualmente l'effettiva amplificazione stratigrafica sfruttando la soluzione dell'equazione differenziale che governa il problema della propagazione di onde di taglio in un solido alla Kelvin-Voigt ed un comportamento dei terreni secondo curve di decadimento per G e lo smorzamento tratte dalla letteratura scientifica e/o normative, o ancora, curve di decadimento personalizzate.

La procedura di calcolo utilizzata da RSL III per la risposta sismica locale è di tipo lineare equivalente su un modello di n strati piani e paralleli di estensione orizzontale infinita su un semispazio corrispondente al bedrock.

L'input sismico, rappresentato da più accelerogrammi, viene applicato al bedrock e viene valutato il moto di propagazione delle onde in direzione perpendicolare alla superficie utilizzando l'equazione di equilibrio dinamico in funzione dello spostamento. I valori finali forniti dall'analisi di risposta sismica locale sono gli accelerogrammi e i relativi spettri di risposta, lo spettro medio e quello medio normalizzato da confrontare con lo spettro di normativa.

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

La prima fase consiste nel costruire la colonna di sottosuolo di riferimento, rappresentata da strati (layer) a differente tessitura e da diversi valori delle onde di taglio S (Vs).

Il modello geologico si è basato sulla stratigrafia, redatta sugli esiti delle prove penetrometriche dinamiche, della prova geofisica HVSR ma soprattutto dell'indagine sismica a rifrazione tipo MASW.

La prova MASW consente di valutare la distribuzione delle velocità di propagazione delle onde sismiche di taglio (Vs) nei primi trenta metri; all'interno del modello geologico utilizzato per l'analisi di RSL si sono quindi inseriti i sismostrati riportati nel capitolo "Sismicità dell'Area" di suddetta relazione; il bedrock sismico è stato quindi impostato alla profondità di 14.2 m dal piano campagna attuale attribuendo una velocità di 727 m/s.

Occorre poi procedere all'inserimento degli input sismici, desunti dai segnali di riferimento selezionati dalla banca dati accelerometrica "European Strong Motiondatabase" e forniti dal Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli regionale. Si tratta di tre tipologie di segnali, già "scalati" per il territorio comunale a cui si riferiscono e sono rappresentati dai tre differenti accelerogrammi di progetto:

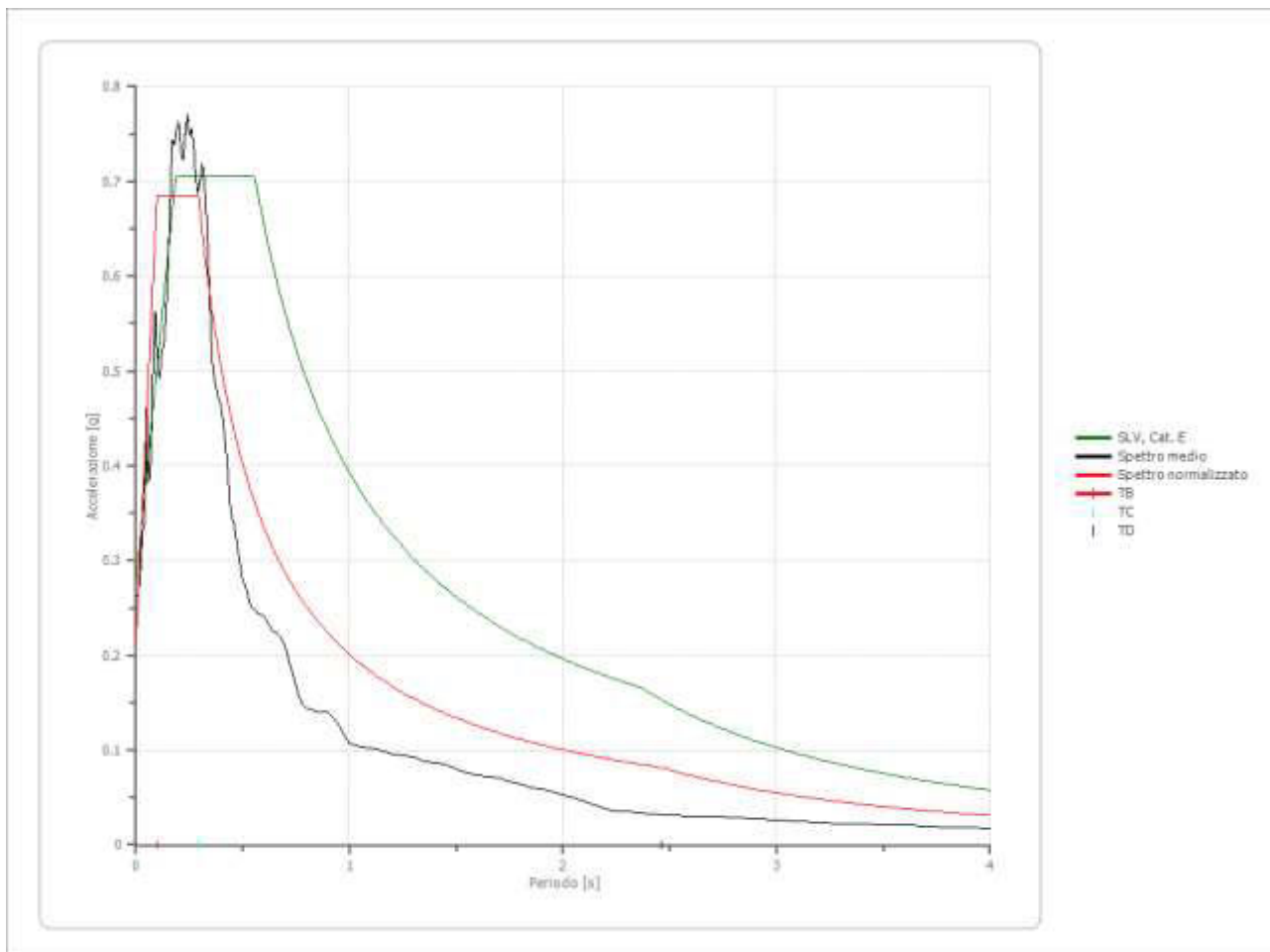
- 1) impulsivo;
- 2) con ampio contenuto in frequenze;
- 3) con componente predominante alle alte frequenze.

La modellazione consente la valutazione dell'amplificazione locale intesa come rapporto PGA/PGA0 ossia come rapporto dell' $a_{g_{max}}$  al suolo (calcolata con SHAKE) con quella del suolo rigido. Si rammenta ancora che per il Comune di Toano la DAL 112/2007 riporta un' $a_{g_{max}}$  al suolo rigido pari a 0,162 g con una classe d'uso II e 0.189 g con una classe d'uso III.

In allegato vengono riportate tutte le elaborazioni fornite dal software RSL III, da cui sono stati estrapolati i risultati qui di seguito forniti.

I risultati ottenuti evidenziano che il fattore di amplificazione FA è pari a 1.507 e un fattore di amplificazione spettrale massima Fo di 3.17, da cui deriva un  $a_{max}$  o PGA al sito pari a 0.216 g.

Visionando il grafico del rapporto degli spettri, suddetto valore di accelerazione risulta essere inferiore rispetto a quello calcolato nel capitolo precedente con una risposta sismica semplificata (0.270). In ogni caso, il tecnico strutturista potrà scegliere lo spettro, il confronto degli spettri tuttavia evidenzia che lo spettro da normativa NTC 2018 risulta essere molto cautelativo rispetto a quello da RSLIII.



*confronto spettro di progetto e spettro da normativa*

## **9. VALUTAZIONE DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE**

Con il termine di liquefazione si intende generalmente la perdita di resistenza dei terreni saturi, sotto sollecitazioni di taglio cicliche o monotoniche, in conseguenza delle quali il terreno raggiunge una condizione di fluidità pari a quella di un liquido viscoso.

Ciò avviene quando la pressione dell'acqua nei pori aumenta progressivamente fino ad eguagliare la pressione totale di confinamento e quindi allorché gli sforzi efficaci, da cui dipende la resistenza al taglio, si riducono a zero.

Questi fenomeni si verificano soprattutto nelle sabbie fini e nei limi saturi di densità da media a bassa e a granulometria piuttosto uniforme, anche se contenenti una frazione fine limoso-argillosa.

In assenza, nei primi metri, di livelli di spessore significativo di limi sabbiosi e sabbie limose saturi d'acqua, in conformità con quanto richiesto dai punti 7.11.3.4.2. delle NTC 2018, si ha ragione di ritenere che in caso di un evento sismico il primo sottosuolo presenti un rischio di liquefazione nullo.

## **10. RIEPILOGO E CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE**

L'area in oggetto di studio, sita a ridosso della linea di crinale in corrispondenza della quale si è sviluppato l'abitato di Quara, con modesta pendenza da Est verso Ovest e compresa tra le isoipse 720 m e 715 m s.l.m., degrada in direzione dell'ampio avvallamento frutto dell'incisione operata dal Rio di Vogno, tributario di sinistra del T. Secchiello.

Nell'ambito del territorio a cui appartiene l'area in esame la "Formazione di Monghidoro" si presenta nel "membro arenaceo-pelitico" (rapporto A/P > 1).

Si tratta di arenarie torbiditiche fini e medie, localmente grossolane e microconglomeratiche, grigie e giallastre per alterazione con grado di cementazione variabile, passanti ad argille siltose grigio scure o nerastre e, più raramente, a peliti debolmente marnose grigio verdi. Gli strati, localmente lenticolari, sono da molto sottili a molto spessi con frequenti controimpronte basali.

Le prove penetrometriche dinamiche, appositamente effettuate per accertare la reale natura del primo sottosuolo, hanno riscontrato la presenza di una coltre superficiale di alterazione, di vario spessore, costituita da materiali coesivi che ricoprono le arenarie torbiditiche appartenenti alla Formazione di Monghidoro (MOH). Da evidenziare che spostandosi dalla sommità della linea di crinale sia verso oriente sia verso occidente, aumenta la coltre di alterazione al di sopra della roccia di substrato; nella fattispecie lungo il lato ovest la roccia si rinviene tra 3.5 e 4 m mentre sul lato orientale a circa 2 m. La prova 3 infatti, realizzata ad una distanza di almeno 10 m dal lato est, la roccia è stata accertata a circa 5 m di profondità.

Come in precedenza descritto, il terreno in oggetto di studio è situato a ridosso del piccolo crinale su cui si è sviluppato l'abitato di Quara, in direzione del pendio verso occidente inciso dal Rio di Vogno e dai suoi tributari.

Nel loro insieme le aree poste a ridosso della sommità del crinale ed anche quella dei piccoli rilievi ad essa collegati sono contraddistinti da una stabilità sufficientemente buona.

In ottemperanza con quanto prescritto dalla normativa, sulla base delle risultanze del sondaggio sismico a rifrazione tipo MASW, che ha consentito di stimare il valore delle Vs30 in 358 m/sec, il suolo di fondazione potrebbe essere assimilato alla categoria C di azione sismica tuttavia, visto il contrasto di impedenza a circa 14 m di profondità unitamente all'inversione a 28 m, si ritiene opportuno declassare il primo sottosuolo alla *categoria E di azione sismica* caratterizzata da "Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m".

In base alle risultanze di un'apposita indagine geofisica passiva HVSR, per il terreno sono stati ottenuti valori di picco della frequenza di risonanza (Peak frequency - Hz) di 5.8 e del rapporto spettrale tra le componenti del moto orizzontale e verticale (Peak HVSR value) di 2.3.

Mediante l'utilizzo di un apposito programma GEOSTRU PS, in cui vengono generati accelerogrammi correttamente commisurati alla pericolosità sismica del sito, si è proceduto poi al calcolo del valore dei parametri  $a_g$ ,  $F_0$  e  $T_c^*$  per la definizione dell'Azione Sismica locale. Riferiti all'area in oggetto, al TR = 712 anni dello Stato Limite Ultimo di Salvaguardia della Vita, sono stati ottenuti i seguenti valori:  $a_g/g = 0.189$ ;  $F_0 = 2.53$ ;  $T_c^* = 0.29$ .

Elaborando i dati, il programma ha prodotto gli spettri elastici SLU; è stata inoltre calcolata l'accelerazione massima attesa al sito di  $a_{max} = S_s \cdot S_t \cdot a_g = 1.47 \cdot 1.0 \cdot 0.189 = 0.270 \cdot g$ .

Avendo attribuito la classe d'uso 3 all'edificio esaminato, si è deciso di proporre una microzonazione sismica con analisi approfondita di III° livello.

I risultati ottenuti evidenziano che il fattore di amplificazione FA è pari a 1.507 e un fattore di amplificazione spettrale massima  $F_0$  di 3.17, da cui deriva un  $a_{max}$  o PGA al sito pari a 0.216 g.

Visionando il grafico del rapporto degli spettri, suddetto valore di accelerazione risulta essere inferiore rispetto a quello calcolato nel capitolo precedente con una risposta sismica semplificata (0.270). In ogni caso, il tecnico strutturista potrà scegliere lo spettro, il confronto degli spettri tuttavia evidenzia che lo spettro da normativa NTC 2018 risulta essere molto cautelativo rispetto a quello da RSLIII.

Sulla base dei parametri geomeccanici del terreno acquisiti con le indagini si è infine proceduto, per i vari strati, alla valutazione dei principali parametri geotecnici: peso di volume ( $\gamma$ ), peso di volume saturo ( $\gamma_{\text{sat}}$ ), angolo di attrito interno ( $\phi$ ), coesione non drenata ( $C_u$ ) ed efficace ( $c'$ ) e modulo edometrico ( $M_o$ ). Suddetti valori potranno essere utilizzati per il dimensionamento strutturale in conformità con quanto prescritto dal D.M. 17/01/2018. Si rammenta come già detto che le basi d'appoggio delle fondazioni, dovranno essere approfondite alla base del riporto e delle preesistenti fondazioni a non meno di 1÷1.2 m dal piano cortilivo; solo in fase esecutiva si potrà poi definire con precisione la reale quota del piano di imposta delle stesse.

Nel corso delle indagini non è stata accertata presenza d'acqua; non se ne esclude però l'esistenza, anche occasionale durante stagioni particolarmente piovose od in concomitanza con il disgelo, al passaggio e nei banchi di torbiditi che caratterizzano la Formazione di substrato.

Pur in assenza d'acqua nel primo sottosuolo, per limitare il ristagno e quindi l'ammollimento del terreno in corrispondenza della base d'appoggio delle strutture fondali, si ritiene necessario che tutte le acque di scarico vengano raccolte ed allontanate, in direzione della rete drenante principale, utilizzando tubazioni e raccordi a perfetta tenuta.

Occorrerà porre particolare attenzione nell'esecuzione delle opere di movimento terra e nella sistemazione dei riporti.

Prima di procedere alla regolazione del pendio, si dovrà aver cura di asportare le coltri vegetative; nei tratti che si raccordano al natural declivio, la stabilità delle scarpate potrà essere altresì salvaguardata mediante l'ulteriore piantumazione di essenze arboree ed arbustive.

Le aree cortilive in adiacenza all'abitazione dovranno essere attentamente sistemate; si tenga presente che l'assestamento di riporti in preponderante matrice pelitica, materiali nel tempo sensibili a processi di consolidazione e ritiro, in particolare se di rilevante spessore a valle del fabbricato, si può nel tempo inevitabilmente ripercuotere sulla staticità delle strutture in elevazione.

Nel rispetto di quanto in precedenza esposto e delle disposizioni delle leggi vigenti, siano esse nazionali che regionali D.M. 17/01/2018 "Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni" che prescrivono un'attenta verifica delle strutture in funzione delle caratteristiche del primo sottosuolo, si attesta l'idoneità del terreno all'attuazione dell'intervento edilizio in progetto e si concede quindi parere geologico favorevole.

Scandiano, dicembre 2022

Dott. Geol. Caroli Nicola

Iscr. Ordine dei Geologi Emilia Romagna sez. A n° 1370



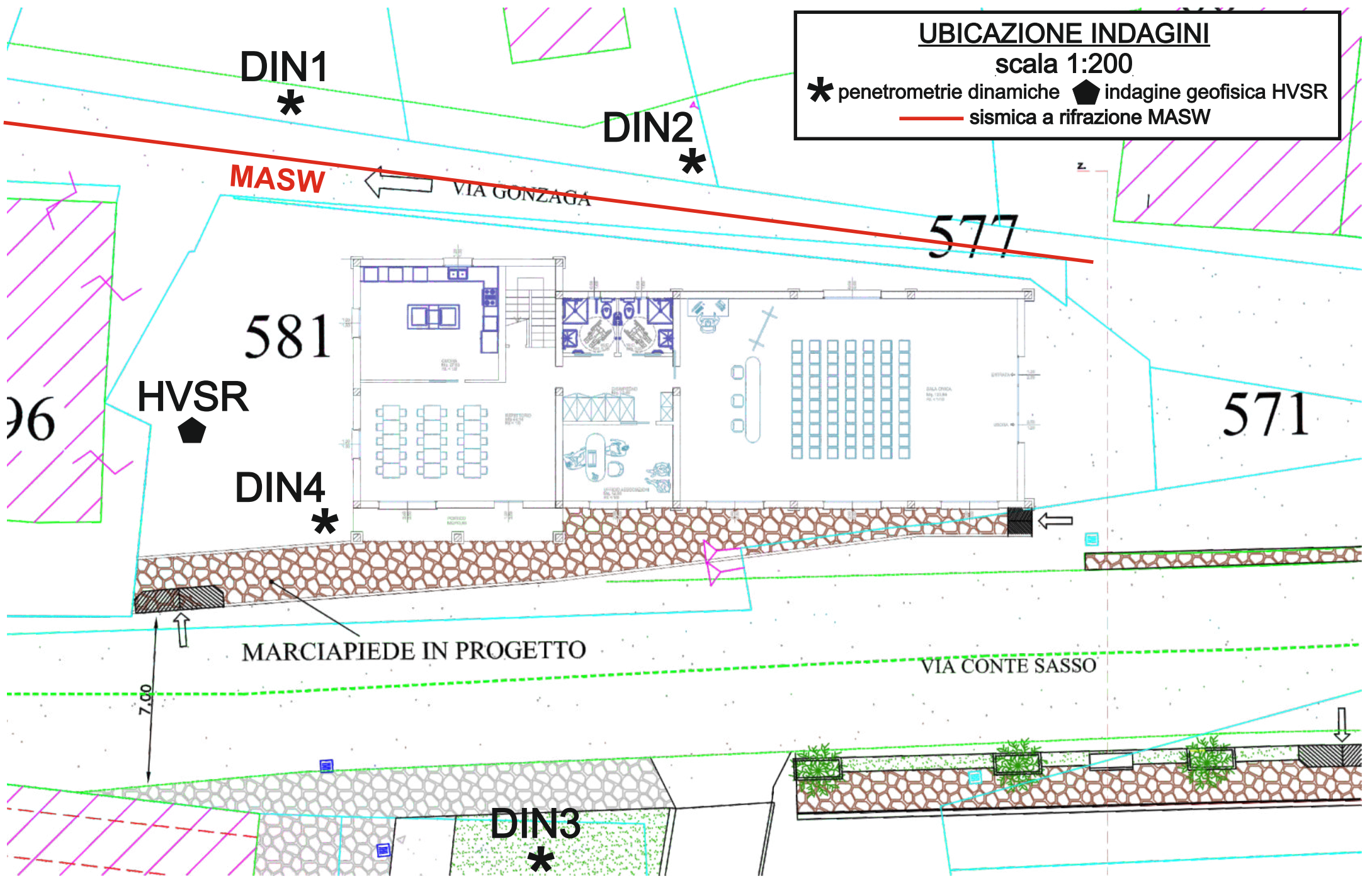


# **ALLEGATI**

# UBICAZIONE INDAGINI

scala 1:200

- \* penetrometrie dinamiche
- ◆ indagine geofisica HVSR
- sismica a rifrazione MASW



DIN1

\*

DIN2

\*

MASW

VIA GONZAGA

577

581

HVSR

◆

DIN4

\*

571

MARCIAPIEDE IN PROGETTO

7.00

VIA CONTE SASSO

DIN3

\*

# PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE

Committente: Comune di Toano  
Descrizione: Recupero ex-cinema parrocchiale  
Località: Via Conte Sasso, 32 - Quara di Toano (RE)

Caratteristiche Tecniche-Strumentali Sonda: DPSH TG 63-200 PAGANI

Rif. Norme	DIN 4094
Peso Massa battente	63.5 Kg
Altezza di caduta libera	0.75 m
Peso sistema di battuta	0.63 Kg
Diametro punta conica	51.00 mm
Area di base punta	20.43 cm <sup>2</sup>
Lunghezza delle aste	1 m
Peso aste a metro	6.31 Kg/m
Profondità giunzione prima asta	0.40 m
Avanzamento punta	0.20 m
Numero colpi per punta	N(20)
Coeff. Correlazione	1.47
Rivestimento/fanghi	No
Angolo di apertura punta	90 °

## Note illustrative - Diverse tipologie di penetrometri dinamici

La prova penetrometrica dinamica consiste nell'ingfiere nel terreno una punta conica (per tratti consecutivi  $\delta$ ) misurando il numero di colpi N necessari.

Le Prove Penetrometriche Dinamiche sono molto diffuse ed utilizzate nel territorio da geologi e geotecnici, data la loro semplicità esecutiva, economicità e rapidità di esecuzione.

La loro elaborazione, interpretazione e visualizzazione grafica consente di "catalogare e parametrizzare" il suolo attraversato con un'immagine in continuo, che permette anche di avere un raffronto sulle consistenze dei vari livelli attraversati e una correlazione diretta con sondaggi geognostici per la caratterizzazione stratigrafica.

La sonda penetrometrica permette inoltre di riconoscere abbastanza precisamente lo spessore delle coltri sul substrato, la quota di eventuali falde e superfici di rottura sui pendii, e la consistenza in generale del terreno.

L'utilizzo dei dati, ricavati da correlazioni indirette e facendo riferimento a vari autori, dovrà comunque essere trattato con le opportune cautele e, possibilmente, dopo esperienze geologiche acquisite in zona.

Elementi caratteristici del penetrometro dinamico sono i seguenti:

- peso massa battente M;
- altezza libera caduta H;
- punta conica: diametro base cono D, area base A (angolo di apertura  $\alpha$ );
- avanzamento (penetrazione)  $\delta$  ;
- presenza o meno del rivestimento esterno (fanghi bentonitici).

Con riferimento alla classificazione ISSMFE (1988) dei diversi tipi di penetrometri dinamici (vedi tabella sotto riportata) si rileva una prima suddivisione in quattro classi (in base al peso M della massa battente) :

- tipo LEGGERO (DPL);
- tipo MEDIO (DPM);
- tipo PESANTE (DPH);
- tipo SUPERPESANTE (DPSH).

Classificazione ISSMFE dei penetrometri dinamici:

<b>Tipo</b>	<b>Sigla di riferimento</b>	<b>peso della massa M (kg)</b>	<b>prof. max indagine battente (m)</b>
Leggero	DPL (Light)	$M \leq 10$	8
Medio	DPM (Medium)	$10 < M < 40$	20-25
Pesante	DPH (Heavy)	$40 \leq M < 60$	25
Super pesante (Super Heavy)	DPSH	$M \geq 60$	25



## penetrometri in uso in Italia

In Italia risultano attualmente in uso i seguenti tipi di penetrometri dinamici (non rientranti però nello Standard ISSMFE):

- DINAMICO LEGGERO ITALIANO (DL-30) (MEDIO secondo la classifica ISSMFE)  
massa battente  $M = 30$  kg, altezza di caduta  $H = 0.20$  m, avanzamento  $\delta = 10$  cm, punta conica ( $\alpha=60-90^\circ$ ), diametro  $D = 35.7$  mm, area base cono  $A=10$  cm<sup>2</sup> rivestimento / fango bentonitico : talora previsto;
- DINAMICO LEGGERO ITALIANO (DL-20) (MEDIO secondo la classifica ISSMFE)  
massa battente  $M = 20$  kg, altezza di caduta  $H=0.20$  m, avanzamento  $\delta = 10$  cm, punta conica ( $\alpha= 60-90^\circ$ ), diametro  $D = 35.7$  mm, area base cono  $A=10$  cm<sup>2</sup> rivestimento / fango bentonitico : talora previsto;
- DINAMICO PESANTE ITALIANO (SUPERPESANTE secondo la classifica ISSMFE)  
massa battente  $M = 73$  kg, altezza di caduta  $H=0.75$  m, avanzamento  $\delta=30$  cm, punta conica ( $\alpha = 60^\circ$ ), diametro  $D = 50.8$  mm, area base cono  $A=20.27$  cm<sup>2</sup> rivestimento: previsto secondo precise indicazioni;
- DINAMICO SUPERPESANTE (Tipo EMILIA)  
massa battente  $M=63.5$  kg, altezza caduta  $H=0.75$  m, avanzamento  $\delta=20-30$  cm, punta conica conica ( $\alpha = 60^\circ-90^\circ$ ) diametro  $D = 50.5$  mm, area base cono  $A = 20$  cm<sup>2</sup>, rivestimento / fango bentonitico : talora previsto.

## Correlazione con $N_{spt}$

Poiché la prova penetrometrica standard (SPT) rappresenta, ad oggi, uno dei mezzi più diffusi ed economici per ricavare informazioni dal sottosuolo, la maggior parte delle correlazioni esistenti riguardano i valori del numero di colpi  $N_{spt}$  ottenuto con la suddetta prova, pertanto si presenta la necessità di rapportare il numero di colpi di una prova dinamica con  $N_{spt}$ . Il passaggio viene dato da:

$$N_{SPT} = \beta_i \cdot N$$

Dove:

$$\beta_i = \frac{Q}{Q_{SPT}}$$

in cui  $Q$  è l'energia specifica per colpo e  $Q_{spt}$  è quella riferita alla prova SPT.

L'energia specifica per colpo viene calcolata come segue:

$$Q = \frac{M^2 \cdot H}{A \cdot \delta \cdot (M + M')}$$

in cui

M	peso massa battente.
M'	peso aste.
H	altezza di caduta.
A	area base punta conica.
$\delta$	passo di avanzamento.

## Valutazione resistenza dinamica alla punta Rpd

Formula Olandesi

$$R_{pd} = \frac{M^2 \cdot H}{[A \cdot e \cdot (M + P)]} = \frac{M^2 \cdot H \cdot N}{[A \cdot \delta \cdot (M + P)]}$$

Rpd	resistenza dinamica punta (area A).
e	infissione media per colpo ( $\delta/N$ ).
M	peso massa battente (altezza caduta H).
P	peso totale aste e sistema battuta.

## Calcolo di $(N_1)_{60}$

$(N_1)_{60}$  è il numero di colpi normalizzato definito come segue:

$$(N_1)_{60} = CN \cdot N_{60} \text{ con } CN = \sqrt{(Pa/\sigma_{vo})} \quad CN < 1.7 \quad Pa = 101.32 \text{ kPa (Liao e Whitman 1986)}$$

$$N_{60} = N_{SPT} \cdot (ER/60) \cdot C_s \cdot C_r \cdot C_d$$

ER/60	rendimento del sistema di infissione normalizzato al 60%.
$C_s$	parametro funzione della controcamicia (1.2 se assente).
$C_d$	funzione del diametro del foro (1 se compreso tra 65-115mm).
$C_r$	parametro di correzione funzione della lunghezza delle aste.

## Metodologia di Elaborazione.

Le elaborazioni sono state effettuate mediante un programma di calcolo automatico Dynamic Probing della *GeoStru Software*.

Il programma calcola il rapporto delle energie trasmesse (coefficiente di correlazione con SPT) tramite le elaborazioni proposte da Pasqualini (1983) - Meyerhof (1956) - Desai (1968) - Borowczyk-Frankowsky (1981).

Permette inoltre di utilizzare i dati ottenuti dall'effettuazione di prove penetrometriche per estrapolare utili informazioni geotecniche e geologiche.

Una vasta esperienza acquisita, unitamente ad una buona interpretazione e correlazione, permettono spesso di ottenere dati utili alla progettazione e frequentemente dati maggiormente attendibili di tanti dati bibliografici sulle litologie e di dati geotecnici determinati sulle verticali litologiche da poche prove di laboratorio eseguite come rappresentazione generale di una verticale eterogenea disuniforme e/o complessa.

In particolare consente di ottenere informazioni su:

- l'andamento verticale e orizzontale degli intervalli stratigrafici,
- la caratterizzazione litologica delle unità stratigrafiche,
- i parametri geotecnici suggeriti da vari autori in funzione dei valori del numero dei colpi e delle resistenza alla punta.

## Valutazioni statistiche e correlazioni

### Elaborazione Statistica

Permette l'elaborazione statistica dei dati numerici di Dynamic Probing, utilizzando nel calcolo dei valori rappresentativi dello strato considerato un valore inferiore o maggiore della media aritmetica dello strato (dato comunque maggiormente utilizzato); i valori possibili in immissione sono :

#### **Media**

Media aritmetica dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

#### **Media minima**

Valore statistico inferiore alla media aritmetica dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

#### **Massimo**

Valore massimo dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

#### **Minimo**

Valore minimo dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

#### **Scarto quadratico medio**

Valore statistico di scarto dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

#### **Media deviata**

Valore statistico di media deviata dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

#### **Media (+ s)**

Media + scarto (valore statistico) dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

#### **Media (- s)**

Media - scarto (valore statistico) dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

#### **Distribuzione normale R.C.**

Il valore di  $N_{spt,k}$  viene calcolato sulla base di una distribuzione normale o gaussiana, fissata una probabilità di non superamento del 5%, secondo la seguente relazione:

$$N_{spt,k} = N_{spt,medio} - 1.645 \cdot (\sigma_{N_{spt}})$$

dove  $\sigma_{N_{spt}}$  è la deviazione standard di  $N_{spt}$

#### **Distribuzione normale R.N.C.**

Il valore di  $N_{spt,k}$  viene calcolato sulla base di una distribuzione normale o gaussiana, fissata una probabilità di non superamento del 5%, trattando i valori medi di  $N_{spt}$  distribuiti normalmente:

$$N_{spt,k} = N_{spt,medio} - 1.645 \cdot (\sigma_{N_{spt}}) / \sqrt{n}$$

dove  $n$  è il numero di letture.

### Pressione ammissibile

Pressione ammissibile specifica sull'interstrato (con effetto di riduzione energia per svergolamento aste o no) calcolata secondo le note elaborazioni proposte da Herminier, applicando un coefficiente di sicurezza (generalmente = 20-22) che corrisponde ad un coefficiente di sicurezza standard delle fondazioni pari a 4, con una geometria fondale standard di larghezza pari a 1 m ed immersione  $d = 1$  m.

### Correlazioni geotecniche terreni incoerenti

#### **Liquefazione**

Permette di calcolare utilizzando dati  $N_{spt}$  il potenziale di liquefazione dei suoli (prevalentemente sabbiosi). Attraverso la relazione di *SHI-MING (1982)*, applicabile a terreni sabbiosi, la liquefazione risulta possibile solamente se  $N_{spt}$  dello strato considerato risulta inferiore a  $N_{spt}$  critico calcolato con l'elaborazione di *SHI-MING*.

#### **Correzione $N_{spt}$ in presenza di falda**

$$N_{spt\ corretto} = 15 + 0.5 \cdot (N_{spt} - 15)$$

$N_{spt}$  è il valore medio nello strato

La correzione viene applicata in presenza di falda solo se il numero di colpi è maggiore di 15 (la correzione viene eseguita se tutto lo strato è in falda).

#### **Angolo di Attrito**

- Peck-Hanson-Thornburn-Meyerhof (1956) - Correlazione valida per terreni non molli a prof. < 5 m; correlazione valida per sabbie e ghiaie rappresenta valori medi. - Correlazione storica molto usata, valevole per prof. < 5 m per terreni sopra falda e < 8 m per terreni in falda (tensioni < 8-10 t/mq)
- Meyerhof (1956) - Correlazioni valide per terreni argillosi ed argillosi-marnosi fessurati, terreni di riporto sciolti e coltri detritiche (da modifica sperimentale di dati).
- Sowers (1961)- Angolo di attrito in gradi valido per sabbie in genere (cond. ottimali per prof. < 4 m. sopra falda e < 7 m per terreni in falda)  $\sigma > 5$  t/mq.
- De Mello - Correlazione valida per terreni prevalentemente sabbiosi e sabbioso-ghiaiosi (da modifica sperimentale di dati) con angolo di attrito < 38° .
- Malcev (1964) - Angolo di attrito in gradi valido per sabbie in genere (cond. ottimali per prof. > 2 m e per valori di angolo di attrito < 38° ).
- Schmertmann (1977)- Angolo di attrito (gradi) per vari tipi litologici (valori massimi). N.B. valori spesso troppo ottimistici poiché desunti da correlazioni indirette da  $D_r$  %.
- Shioi-Fukuni (1982) - ROAD BRIDGE SPECIFICATION, Angolo di attrito in gradi valido per sabbie - sabbie fini o limose e limi siltosi (cond. ottimali per prof. di prova > 8 m sopra falda e > 15 m per terreni in falda)  $\sigma > 15$  t/mq.
- Shioi-Fukuni (1982) - JAPANESE NATIONALE RAILWAY, Angolo di attrito valido per sabbie medie e grossolane fino a ghiaiose.
- Angolo di attrito in gradi (Owasaki & Iwasaki) valido per sabbie - sabbie medie e grossolane-ghiaiose (cond. ottimali per prof. > 8 m sopra falda e > 15 m per terreni in falda)  $s > 15$  t/mq.
- Meyerhof (1965) - Correlazione valida per terreni per sabbie con % di limo < 5% a profondità < 5 m e con (%) di limo > 5% a profondità < 3 m.
- Mitchell e Katti (1965) - Correlazione valida per sabbie e ghiaie.

#### **Densità relativa (%)**

- Gibbs & Holtz (1957) correlazione valida per qualunque pressione efficace, per ghiaie  $D_r$  viene sovrastimato, per limi sottostimato.
- Skempton (1986) elaborazione valida per limi e sabbie e sabbie da fini a grossolane NC a qualunque pressione efficace, per ghiaie il valore di  $D_r$  % viene sovrastimato, per limi sottostimato.
- Meyerhof (1957).
- Schultze & Menzenbach (1961) per sabbie fini e ghiaiose NC , metodo valido per qualunque valore di pressione efficace in depositi NC, per ghiaie il valore di  $D_r$  % viene sovrastimato, per limi sottostimato.

#### **Modulo Di Young ( $E_y$ )**

- Terzaghi - elaborazione valida per sabbia pulita e sabbia con ghiaia senza considerare la pressione efficace.
- Schmertmann (1978), correlazione valida per vari tipi litologici .
- Schultze-Menzenbach , correlazione valida per vari tipi litologici.
- D'Appollonia ed altri (1970) , correlazione valida per sabbia, sabbia SC, sabbia NC e ghiaia.
- Bowles (1982), correlazione valida per sabbia argillosa, sabbia limosa, limo sabbioso, sabbia media, sabbia e ghiaia.

#### **Modulo Edometrico**

Begemann (1974) elaborazione desunta da esperienze in Grecia, correlazione valida per limo con sabbia, sabbia e ghiaia

- Buisman-Sanglerat , correlazione valida per sabbia e sabbia argillosa.



- Farrent (1963) valida per sabbie, talora anche per sabbie con ghiaia (da modifica sperimentale di dati).
- Menzenbach e Malcev valida per sabbia fine, sabbia ghiaiosa e sabbia e ghiaia.

#### **Stato di consistenza**

- Classificazione A.G.I. 1977

#### **Peso di Volume**

- Meyerhof ed altri, valida per sabbie, ghiaie, limo, limo sabbioso.

#### **Peso di volume saturo**

- Terzaghi-Peck (1948-1967)

#### **Modulo di poisson**

- Classificazione A.G.I.

#### **Potenziale di liquefazione (Stress Ratio)**

- Seed-Idriss (1978-1981) . Tale correlazione è valida solamente per sabbie, ghiaie e limi sabbiosi, rappresenta il rapporto tra lo sforzo dinamico medio  $\tau$  e la tensione verticale di consolidazione per la valutazione del potenziale di liquefazione delle sabbie e terreni sabbio-ghiaiosi attraverso grafici degli autori.

#### **Velocità onde di taglio $V_s$ (m/s)**

- Tale correlazione è valida solamente per terreni incoerenti sabbiosi e ghiaiosi.

#### **Modulo di deformazione di taglio (G)**

- Ohsaki & Iwasaki – elaborazione valida per sabbie con fine plastico e sabbie pulite.
- Robertson e Campanella (1983) e Imai & Tonouchi (1982) elaborazione valida soprattutto per sabbie e per tensioni litostatiche comprese tra 0,5 - 4,0 kg/cmq.

#### **Modulo di reazione (K<sub>0</sub>)**

- Navfac (1971-1982) - elaborazione valida per sabbie, ghiaie, limo, limo sabbioso.

#### **Resistenza alla punta del Penetrometro Statico (Q<sub>c</sub>)**

- Robertson (1983) - Q<sub>c</sub>

#### **Correlazioni geotecniche terreni coesivi**

##### **Coesione non drenata**

- Benassi & Vannelli- correlazioni scaturite da esperienze ditta costruttrice Penetrometri SUNDA (1983).
- Terzaghi-Peck (1948-1967), correlazione valida per argille sabbiose-siltose NC con N<sub>spt</sub> < 8 , argille limose-siltose mediamente plastiche, argille marnose alterate-fessurate.
- Terzaghi-Peck (1948). C<sub>u</sub> (min-max).
- Sanglerat , da dati Penetr. Statico per terreni coesivi saturi , tale correlazione non è valida per argille sensitive con sensitività > 5, per argille sovraconsolidate fessurate e per i limi a bassa plasticità.
- Sanglerat , (per argille limose-sabbiose poco coerenti), valori validi per resistenze penetrometriche < 10 colpi, per resistenze penetrometriche > 10 l'elaborazione valida è comunque quella delle "argille plastiche " di Sanglerat.
- (U.S.D.M.S.M.) U.S. Design Manual Soil Mechanics Coesione non drenata per argille limose e argille di bassa media ed alta plasticità , (C<sub>u</sub>-N<sub>spt</sub>-grado di plasticità).
- Schmertmann (1975), C<sub>u</sub> (Kg/cmq) (valori medi), valida per **argille e limi argillosi** con N<sub>c</sub> = 20 e Q<sub>c</sub>/N<sub>spt</sub> = 2.

- Schmertmann (1975), Cu (Kg/cmq) (valori minimi), valida per argille NC .
- Fletcher (1965), (Argilla di Chicago) . Coesione non drenata Cu (Kg/cmq), colonna valori validi per argille a medio-bassa plasticità.
- Houston (1960) - argilla di media-alta plasticità.
- Shioi-Fukuni (1982), valida per suoli poco coerenti e plastici, argilla di media-alta plasticità.
- Begemann.
- De Beer.

**Resistenza alla punta del Penetrometro Statico ( $Q_c$ )**

- Robertson (1983) -  $Q_c$

**Modulo Edometrico-Confinato ( $M_o$ )**

- Stroud e Butler (1975), - per litotipi a media plasticità, valida per litotipi argillosi a media-medio-alta plasticità - da esperienze su argille glaciali.
- Stroud e Butler (1975), per litotipi a medio-bassa plasticità ( $IP < 20$ ), valida per litotipi argillosi a medio-bassa plasticità ( $IP < 20$ ) - da esperienze su argille glaciali .
- Vesic (1970), correlazione valida per argille molli (valori minimi e massimi).
- Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner Modulo Confinato - $M_o$  (Eed) (Kg/cmq)-, valida per litotipi argillosi e limosi-argillosi (rapporto  $Q_c/N_{spt}=1.5-2.0$ ).
- Buisman- Sanglerat, valida per argille compatte ( $N_{spt} < 30$ ) medie e molli (  $N_{spt} < 4$ ) e argille sabbiose ( $N_{spt} = 6-12$ ).

**Modulo Di Young ( $E_y$ )**

- Schultze-Menzenbach - (Min. e Max.), correlazione valida per limi coerenti e limi argillosi con  $I.P. > 15$ .
- D'Appollonia ed altri (1983), correlazione valida per argille sature-argille fessurate.

**Stato di consistenza**

- Classificazione A.G.I. 1977.

**Peso di Volume**

- Meyerhof ed altri, valida per argille, argille sabbiose e limose prevalentemente coerenti.

**Peso di volume saturo**

- Meyerhof ed altri.

## PROVA ...DIN1

Strumento utilizzato...DPSH TG 63-200 PAGANI

Prova eseguita in data 03-08-2022

Profondità prova 5.80 mt

Falda non rilevata

Tipo elaborazione Nr. Colpi: Medio



Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Kg/cm <sup>2</sup> )	Res. dinamica (Kg/cm <sup>2</sup> )	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (Kg/cm <sup>2</sup> )	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (Kg/cm <sup>2</sup> )
0.20	0	0.855	0.00	0.00	0.00	0.00
0.40	0	0.851	0.00	0.00	0.00	0.00
0.60	2	0.847	16.34	19.29	16.34	19.29
0.80	2	0.843	16.27	19.29	16.27	19.29
1.00	4	0.840	32.39	38.57	32.39	38.57
1.20	4	0.836	32.26	38.57	32.26	38.57
1.40	3	0.833	24.10	28.93	24.10	28.93
1.60	8	0.830	59.14	71.29	59.14	71.29
1.80	5	0.826	36.82	44.55	36.82	44.55
2.00	5	0.823	36.68	44.55	36.68	44.55
2.20	5	0.820	36.54	44.55	36.54	44.55
2.40	5	0.817	36.41	44.55	36.41	44.55

2.60	2	0.814	13.49	16.56	13.49	16.56
2.80	2	0.811	13.44	16.56	13.44	16.56
3.00	1	0.809	6.70	8.28	6.70	8.28
3.20	4	0.806	26.70	33.13	26.70	33.13
3.40	5	0.803	33.27	41.41	33.27	41.41
3.60	4	0.801	24.78	30.94	24.78	30.94
3.80	7	0.798	43.23	54.15	43.23	54.15
4.00	7	0.796	43.10	54.15	43.10	54.15
4.20	20	0.744	115.06	154.71	115.06	154.71
4.40	10	0.791	61.22	77.36	61.22	77.36
4.60	9	0.789	51.55	65.31	51.55	65.31
4.80	9	0.787	51.41	65.31	51.41	65.31
5.00	9	0.785	51.27	65.31	51.27	65.31
5.20	9	0.783	51.14	65.31	51.14	65.31
5.40	10	0.781	56.68	72.57	56.68	72.57
5.60	25	0.679	116.03	170.85	116.03	170.85
5.80	40	0.577	157.81	273.36	157.81	273.36

Prof. Strato (m)	NPDM	Rd (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tipo	Peso unità di volume (t/m <sup>3</sup> )	Peso unità di volume saturo (t/m <sup>3</sup> )	Tensione efficace (Kg/cm <sup>2</sup> )	Coeff. di correlaz. con Nspt	NSPT	Descrizione
1.6	2.88	26.99	Incoerente - coesivo	1.71	1.87	0.14	1.47	4.23	terreno vegetale
4	4.33	36.11	Coesivo	1.83	1.89	0.49	1.47	6.37	argilla sabbiosa
5.8	15.67	112.23	Incoerente - coesivo	2.11	2.17	0.9	1.47	23.03	Alternanza calcareo-marnosa





# STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA DINI

## TERRENI COESIVI

### Coesione non drenata (Kg/cm<sup>2</sup>)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Terzaghi-Peck	Sanglerat	Terzaghi-Peck (1948)	U.S.D.M. S.M	Schmertmann 1975	SUNDA (1983) Benassi e Vannelli	Fletcher (1965) Argilla di Chicago	Houston (1960)	Shioi - Fukui 1982	Begeman n	De Beer
[1] - terreno vegetale	4.23	1.60	0.26	0.53	0.00	0.17	0.41	0.81	0.38	0.75	0.21	0.56	0.53
[2] - argilla sabbiosa	6.37	4.00	0.40	0.80	0.00	0.26	0.62	1.08	0.57	0.91	0.32	0.62	0.80
[3] - Alternanza calcareo-marnosa	23.03	5.80	1.56	2.88	0.00	0.88	2.28	3.37	1.93	2.37	1.15	3.24	2.88

### Qc ( Resistenza punta Penetrometro Statico)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Qc (Kg/cm <sup>2</sup> )
[1] - terreno vegetale	4.23	1.60	Robertson (1983)	8.46
[2] - argilla sabbiosa	6.37	4.00	Robertson (1983)	12.74
[3] - Alternanza calcareo-marnosa	23.03	5.80	Robertson (1983)	46.06

### Modulo Edometrico (Kg/cm<sup>2</sup>)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Stroud e Butler (1975)	Vesic (1970)	Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner	Buisman-Sanglerat
[1] - terreno vegetale	4.23	1.60	19.41	63.45	44.94	52.88
[2] - argilla sabbiosa	6.37	4.00	29.23	--	66.76	79.63
[3] - Alternanza calcareo-marnosa	23.03	5.80	105.66	--	236.68	230.30

### Modulo di Young (Kg/cm<sup>2</sup>)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Schultze	Apollonia
[1] - terreno vegetale	4.23	1.60	28.25	42.30
[2] - argilla sabbiosa	6.37	4.00	52.86	63.70
[3] - Alternanza calcareo-marnosa	23.03	5.80	244.45	230.30

### Classificazione AGI

	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Classificazione
[1] - terreno vegetale	4.23	1.60	A.G.I. (1977)	MODERAT. CONSISTENTE
[2] - argilla sabbiosa	6.37	4.00	A.G.I. (1977)	MODERAT. CONSISTENTE
[3] - Alternanza calcareo-marnosa	23.03	5.80	A.G.I. (1977)	MOLTO CONSISTENTE

### Peso unità di volume

	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume (t/m <sup>3</sup> )
[1] - terreno vegetale	4.23	1.60	Meyerhof	1.71
[2] - argilla sabbiosa	6.37	4.00	Meyerhof	1.83
[3] - Alternanza calcareo-marnosa	23.03	5.80	Meyerhof	2.11

### Peso unità di volume saturo

	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume saturo (t/m <sup>3</sup> )
[1] - terreno vegetale	4.23	1.60	Meyerhof	1.87
[2] - argilla sabbiosa	6.37	4.00	Meyerhof	1.89
[3] - Alternanza calcareo-marnosa	23.03	5.80	Meyerhof	2.17

TERRENI INCOERENTI

Densità relativa

	NSPT	Prof. Strato (m)	Gibbs & Holtz 1957	Meyerhof 1957	Schultze & Menzenbach (1961)	Skempton 1986
[1] - terreno vegetale	4.23	1.60	21.09	47.21	57.43	18.75
[3] - Alternanza calcareo-marnosa	23.03	5.80	43.42	79.6	78.74	55.46

Angolo di resistenza al taglio

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Peck-Hanson-Thornburn-Meyerhof 1956	Meyerhof (1956)	Sowers (1961)	Malcev (1964)	Meyerhof (1965)	Schmertmann (1977) Sabbie	Mitchell & Katti (1981)	Shioi-Fukuni 1982 (ROAD BRIDGE SPECIFICATION)	Japanese National Railway	De Mello	Owasaki & Iwasaki
[1] - terreno vegetale	4.23	1.60	4.23	28.21	21.21	29.18	31.66	31.34	0	<30	22.97	28.27	31.07	24.2
[3] - Alternanza calcareo-marnosa	23.03	5.80	23.03	33.58	26.58	34.45	30.3	37.94	39.14	30-32	33.59	33.91	42.95	36.46

Modulo di Young (Kg/cm<sup>2</sup>)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Terzaghi	Schmertmann (1978) (Sabbie)	Schultze-Menzenbach (Sabbia ghiaiosa)	D'Appollonia ed altri 1970 (Sabbia)	Bowles (1982) Sabbia Media
[1] - terreno vegetale	4.23	1.60	4.23	---	33.84	---	---	---
[3] - Alternanza calcareo-marnosa	23.03	5.80	23.03	342.54	184.24	272.45	352.73	190.15

Modulo Edometrico (Kg/cm<sup>2</sup>)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Buisman-Sanglerat (sabbie)	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	Farrent 1963	Menzenbach e Malcev (Sabbia media)
[1] - terreno vegetale	4.23	1.60	4.23	---	36.15	30.03	56.87
[3] - Alternanza calcareo-marnosa	23.03	5.80	23.03	138.18	74.77	163.51	140.71

Classificazione AGI

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Classificazione AGI
[1] - terreno vegetale	4.23	1.60	4.23	Classificazione A.G.I	POCO ADDENSATO
[3] - Alternanza calcareo-marnosa	23.03	5.80	23.03	Classificazione A.G.I	MODERATAMENTE ADDENSATO

Peso unità di volume

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Peso Unità di Volume (t/m <sup>3</sup> )
[1] - terreno vegetale	4.23	1.60	4.23	Terzaghi-Peck 1948	1.40
[3] - Alternanza calcareo-marnosa	23.03	5.80	23.03	Terzaghi-Peck 1948	1.63

Peso unità di volume saturo

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Peso Unità Volume Saturo (t/m <sup>3</sup> )
[1] - terreno vegetale	4.23	1.60	4.23	Terzaghi-Peck 1948	1.87
[3] - Alternanza calcareo-marnosa	23.03	5.80	23.03	Terzaghi-Peck 1948	2.01

Modulo di Poisson

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Poisson
[1] - terreno vegetale	4.23	1.60	4.23	(A.G.I.)	0.35
[3] - Alternanza calcareo-marnosa	23.03	5.80	23.03	(A.G.I.)	0.31

Modulo di deformazione a taglio dinamico (Kg/cm<sup>2</sup>)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Ohsaki (Sabbie pulite)	Robertson e Campanella (1983) e Imai & Tonouchi (1982)
[1] - terreno vegetale	4.23	1.60	4.23	252.16	301.72
[3] - Alternanza calcareo-marnosa	23.03	5.80	23.03	1240.14	849.71

## PROVA ...DIN2

Strumento utilizzato...DPSH TG 63-200 PAGANI

Prova eseguita in data 03-08-2022

Profondità prova 4.20 mt

Falda non rilevata

Tipo elaborazione Nr. Colpi: Medio



Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Kg/cm <sup>2</sup> )	Res. dinamica (Kg/cm <sup>2</sup> )	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (Kg/cm <sup>2</sup> )	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (Kg/cm <sup>2</sup> )
0.20	0	0.855	0.00	0.00	0.00	0.00
0.40	3	0.851	26.82	31.52	26.82	31.52
0.60	3	0.847	24.50	28.93	24.50	28.93
0.80	6	0.843	48.80	57.86	48.80	57.86
1.00	6	0.840	48.59	57.86	48.59	57.86
1.20	6	0.836	48.39	57.86	48.39	57.86
1.40	7	0.833	56.22	67.50	56.22	67.50
1.60	6	0.830	44.35	53.47	44.35	53.47
1.80	5	0.826	36.82	44.55	36.82	44.55
2.00	5	0.823	36.68	44.55	36.68	44.55

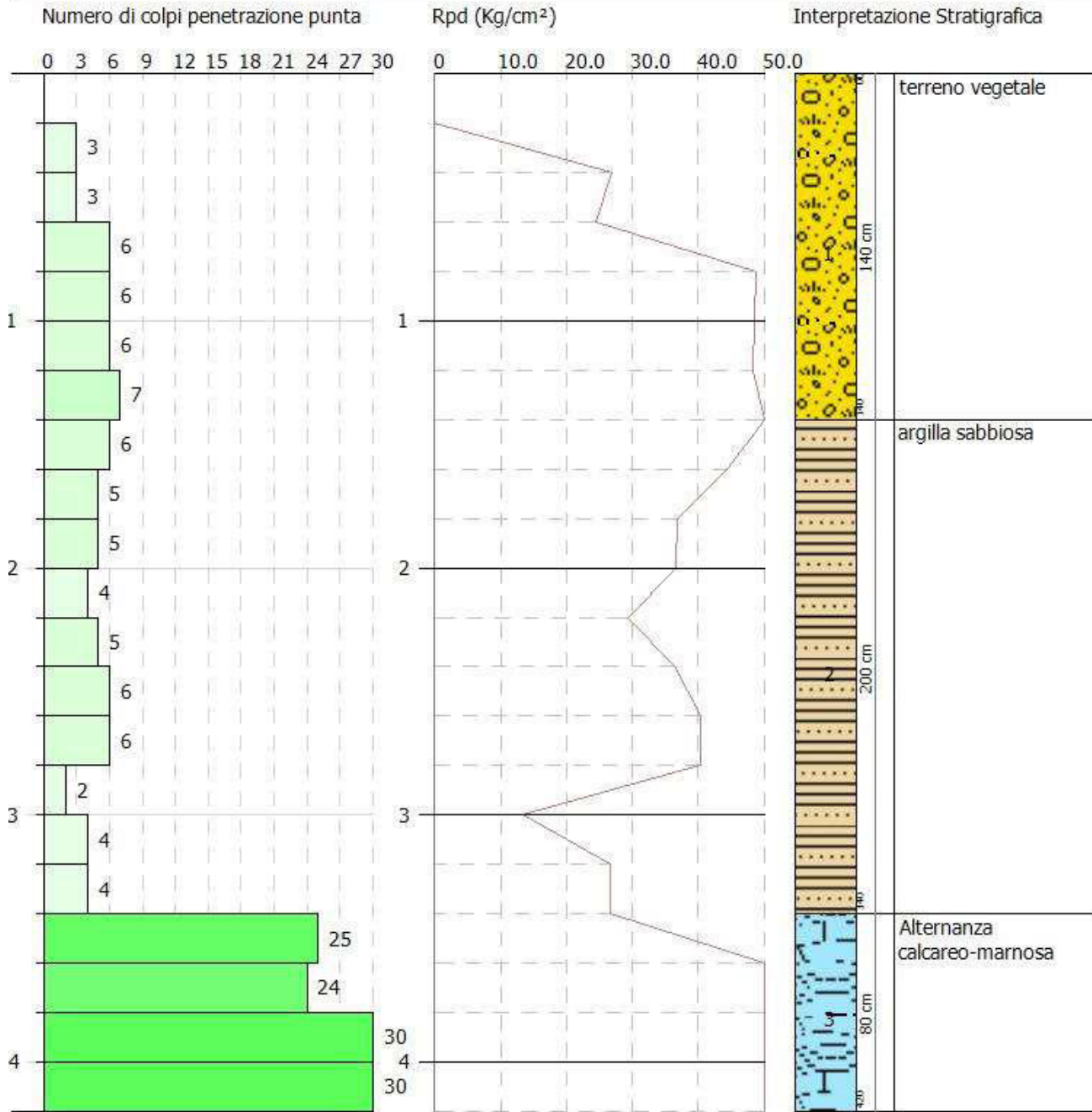
2.20	4	0.820	29.23	35.64	29.23	35.64
2.40	5	0.817	36.41	44.55	36.41	44.55
2.60	6	0.814	40.46	49.69	40.46	49.69
2.80	6	0.811	40.32	49.69	40.32	49.69
3.00	2	0.809	13.39	16.56	13.39	16.56
3.20	4	0.806	26.70	33.13	26.70	33.13
3.40	4	0.803	26.61	33.13	26.61	33.13
3.60	25	0.701	135.54	193.39	135.54	193.39
3.80	24	0.698	129.66	185.65	129.66	185.65
4.00	35	0.646	174.91	270.74	174.91	270.74
4.20	40	0.594	183.70	309.42	183.70	309.42

Prof. Strato (m)	NPDM	Rd (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tipo	Peso unità di volume (t/m <sup>3</sup> )	Peso unità di volume saturo (t/m <sup>3</sup> )	Tensione efficace (Kg/cm <sup>2</sup> )	Coeff. di correlaz. con N <sub>spt</sub>	NSPT	Descrizione
1.4	4.43	43.08	Incoerente - coesivo	1.84	1.89	0.13	1.47	6.51	terreno vegetale
3.4	4.7	40.5	Coesivo	1.85	1.9	0.44	1.47	6.91	argilla sabbiosa
4.2	31	239.8	Incoerente - coesivo	2.5	2.5	0.73	1.47	45.57	Alternanza calcareo-marnosa



Committente: Comune di Toano  
 Descrizione: Recupero ex-cinema parrocchiale  
 Località: Via Conte Sasso, 32 - Quara di Toano (RE)

Scala 1:25



## STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA DIN2

### TERRENI COESIVI

#### Coesione non drenata (Kg/cm<sup>2</sup>)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Terzaghi-Peck	Sanglerat	Terzaghi-Peck (1948)	U.S.D.M. S.M	Schmertmann 1975	SUNDA (1983) Benassi e Vannelli	Fletcher (1965) Argilla di Chicago	Houston (1960)	Shioi - Fukui 1982	Begeman n	De Beer
[1] - terreno vegetale	6.51	1.40	0.41	0.81	0.00	0.26	0.64	1.29	0.59	0.92	0.33	0.98	0.81
[2] - argilla sabbiosa	6.91	3.40	0.43	0.86	0.00	0.28	0.68	1.22	0.62	0.95	0.35	0.79	0.86
[3] - Alternanza calcareo-marnosa	45.57	4.20	3.08	5.70	0.00	1.62	4.55	7.19	3.43	4.91	2.28	7.39	5.70

#### Qc ( Resistenza punta Penetrometro Statico)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Qc (Kg/cm <sup>2</sup> )
[1] - terreno vegetale	6.51	1.40	Robertson (1983)	13.02
[2] - argilla sabbiosa	6.91	3.40	Robertson (1983)	13.82
[3] - Alternanza calcareo-marnosa	45.57	4.20	Robertson (1983)	91.14

#### Modulo Edometrico (Kg/cm<sup>2</sup>)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Stroud e Butler (1975)	Vesic (1970)	Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner	Buisman-Sanglerat
[1] - terreno vegetale	6.51	1.40	29.87	--	68.19	81.38
[2] - argilla sabbiosa	6.91	3.40	31.70	--	72.27	86.38
[3] - Alternanza calcareo-marnosa	45.57	4.20	209.08	--	466.58	455.70

#### Modulo di Young (Kg/cm<sup>2</sup>)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Schultze	Apollonia
[1] - terreno vegetale	6.51	1.40	54.47	65.10
[2] - argilla sabbiosa	6.91	3.40	59.07	69.10
[3] - Alternanza calcareo-marnosa	45.57	4.20	503.66	455.70

#### Classificazione AGI

	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Classificazione
[1] - terreno vegetale	6.51	1.40	A.G.I. (1977)	MODERAT. CONSISTENTE
[2] - argilla sabbiosa	6.91	3.40	A.G.I. (1977)	MODERAT. CONSISTENTE
[3] - Alternanza calcareo-marnosa	45.57	4.20	A.G.I. (1977)	ESTREM. CONSISTENTE

#### Peso unità di volume

	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume (t/m <sup>3</sup> )
[1] - terreno vegetale	6.51	1.40	Meyerhof	1.84
[2] - argilla sabbiosa	6.91	3.40	Meyerhof	1.85
[3] - Alternanza calcareo-marnosa	45.57	4.20	Meyerhof	2.50

#### Peso unità di volume saturo

	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume saturo (t/m <sup>3</sup> )
[1] - terreno vegetale	6.51	1.40	Meyerhof	1.89
[2] - argilla sabbiosa	6.91	3.40	Meyerhof	1.90
[3] - Alternanza calcareo-marnosa	45.57	4.20	Meyerhof	2.50

TERRENI INCOERENTI

Densità relativa

	NSPT	Prof. Strato (m)	Gibbs & Holtz 1957	Meyerhof 1957	Schultze & Menzenbach (1961)	Skempton 1986
[1] - terreno vegetale	6.51	1.40	29.4	58.86	71.7	24.75
[3] - Alternanza calcareo-marnosa	45.57	4.20	63.34	100	100	76.76

Angolo di resistenza al taglio

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Peck-Hanson-Thornburn-Meyerhof 1956	Meyerhof (1956)	Sowers (1961)	Malcev (1964)	Meyerhof (1965)	Schmertmann (1977) Sabbie	Mitchell & Katti (1981)	Shioi-Fukuni 1982 (ROAD BRIDGE SPECIFICATION)	Japanese National Railway	De Mello	Owasaki & Iwasaki
[1] - terreno vegetale	6.51	1.40	6.51	28.86	21.86	29.82	32.49	32.3	0	<30	24.88	28.95	34.86	26.41
[3] - Alternanza calcareo-marnosa	45.57	4.20	45.57	40.02	33.02	40.76	31.88	42.13	42	35-38	41.14	40.67	49.58	45.19

Modulo di Young (Kg/cm²)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Terzaghi	Schmertmann (1978) (Sabbie)	Schultze-Menzenbach (Sabbia ghiaiosa)	D'Appollonia ed altri 1970 (Sabbia)	Bowles (1982) Sabbia Media
[1] - terreno vegetale	6.51	1.40	6.51	---	52.08	---	---	---
[3] - Alternanza calcareo-marnosa	45.57	4.20	45.57	481.85	364.56	538.43	521.78	302.85

Modulo Edometrico (Kg/cm²)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Buisman-Sanglerat (sabbie)	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	Farrent 1963	Menzenbach e Malcev (Sabbia media)
[1] - terreno vegetale	6.51	1.40	6.51	---	40.84	46.22	67.03
[3] - Alternanza calcareo-marnosa	45.57	4.20	45.57	273.42	121.07	323.55	241.24

Classificazione AGI

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Classificazione AGI
[1] - terreno vegetale	6.51	1.40	6.51	Classificazione A.G.I	POCO ADDENSATO
[3] - Alternanza calcareo-marnosa	45.57	4.20	45.57	Classificazione A.G.I	ADDENSATO

Peso unità di volume

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Peso Unità di Volume (t/m³)
[1] - terreno vegetale	6.51	1.40	6.51	Terzaghi-Peck 1948	1.43
[3] - Alternanza calcareo-marnosa	45.57	4.20	45.57	Terzaghi-Peck 1948	1.82

Peso unità di volume saturo

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Peso Unità Volume Saturo (t/m³)
[1] - terreno vegetale	6.51	1.40	6.51	Terzaghi-Peck 1948	1.89
[3] - Alternanza calcareo-marnosa	45.57	4.20	45.57	Terzaghi-Peck 1948	2.13

Modulo di Poisson

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Poisson
[1] - terreno vegetale	6.51	1.40	6.51	(A.G.I.)	0.34
[3] - Alternanza calcareo-marnosa	45.57	4.20	45.57	(A.G.I.)	0.26

## PROVA ...DIN3

Strumento utilizzato...DPSH TG 63-200 PAGANI

Prova eseguita in data 03-08-2022

Profondità prova 5.80 mt

Falda non rilevata

Tipo elaborazione Nr. Colpi: Medio



Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Kg/cm <sup>2</sup> )	Res. dinamica (Kg/cm <sup>2</sup> )	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (Kg/cm <sup>2</sup> )	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (Kg/cm <sup>2</sup> )
0.20	4	0.855	35.92	42.03	35.92	42.03
0.40	5	0.851	44.70	52.54	44.70	52.54
0.60	6	0.847	49.01	57.86	49.01	57.86
0.80	7	0.843	56.93	67.50	56.93	67.50
1.00	7	0.840	56.69	67.50	56.69	67.50
1.20	6	0.836	48.39	57.86	48.39	57.86
1.40	5	0.833	40.16	48.22	40.16	48.22
1.60	5	0.830	36.96	44.55	36.96	44.55

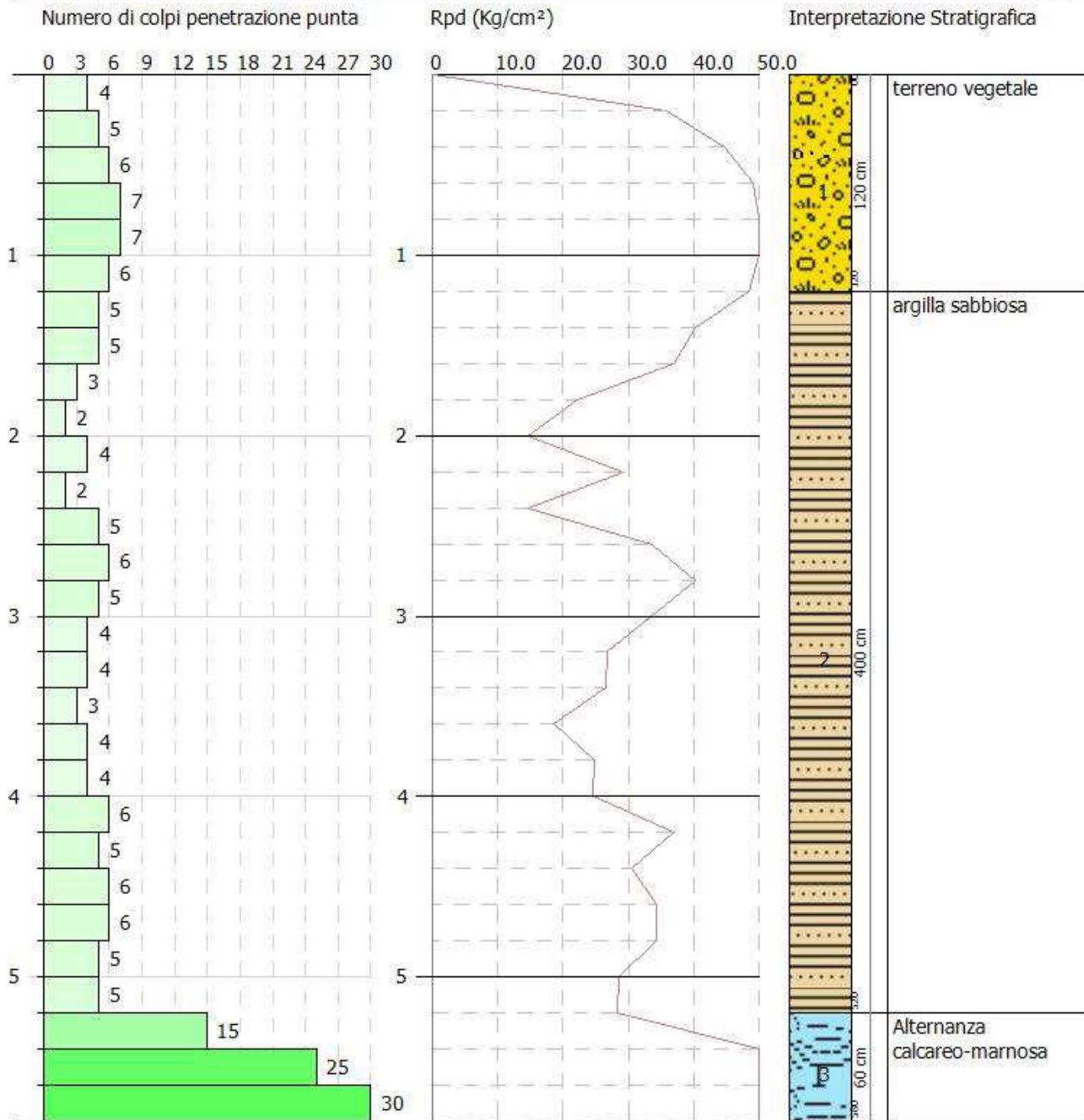
1.80	3	0.826	22.09	26.73	22.09	26.73
2.00	2	0.823	14.67	17.82	14.67	17.82
2.20	4	0.820	29.23	35.64	29.23	35.64
2.40	2	0.817	14.56	17.82	14.56	17.82
2.60	5	0.814	33.72	41.41	33.72	41.41
2.80	6	0.811	40.32	49.69	40.32	49.69
3.00	5	0.809	33.49	41.41	33.49	41.41
3.20	4	0.806	26.70	33.13	26.70	33.13
3.40	4	0.803	26.61	33.13	26.61	33.13
3.60	3	0.801	18.59	23.21	18.59	23.21
3.80	4	0.798	24.70	30.94	24.70	30.94
4.00	4	0.796	24.63	30.94	24.63	30.94
4.20	6	0.794	36.84	46.41	36.84	46.41
4.40	5	0.791	30.61	38.68	30.61	38.68
4.60	6	0.789	34.36	43.54	34.36	43.54
4.80	6	0.787	34.27	43.54	34.27	43.54
5.00	5	0.785	28.48	36.28	28.48	36.28
5.20	5	0.783	28.41	36.28	28.41	36.28
5.40	15	0.731	79.58	108.85	79.58	108.85
5.60	25	0.679	116.03	170.85	116.03	170.85
5.80	40	0.577	157.81	273.36	157.81	273.36

Prof. Strato (m)	NPDM	Rd (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tipo	Peso unità di volume (t/m <sup>3</sup> )	Peso unità di volume saturo (t/m <sup>3</sup> )	Tensione efficace (Kg/cm <sup>2</sup> )	Coeff. di correlaz. con Nspt	NSPT	Descrizione
1.2	5.83	57.55	Coesivo	1.92	2.11	0.12	1.47	8.57	terreno vegetale
5.2	4.45	35.97	Coesivo	1.84	1.89	0.6	1.47	6.54	argilla sabbiosa
5.8	26.67	184.35	Incoerente - coesivo	2.48	2.5	1.04	1.47	39.2	Alternanza calcareo-marnosa



Committente: Comune di Toano  
 Descrizione: Recupero ex-cinema parrocchiale  
 Località: Via Conte Sasso, 32 - Quara di Toano (RE)

Scala 1:34



# STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA DIN3

## TERRENI COESIVI

### Coesione non drenata (Kg/cm<sup>2</sup>)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Terzaghi-Peck	Sanglerat	Terzaghi-Peck (1948)	U.S.D.M. S.M	Schmertmann 1975	SUNDA (1983) Benassi e Vannelli	Fletcher (1965) Argilla di Chicago	Houston (1960)	Shioi - Fukui 1982	Begeman n	De Beer
[1] - terreno vegetale	8.57	1.20	0.58	1.07	0.00	0.34	0.84	1.73	0.76	1.08	0.43	1.37	1.07
[2] - argilla sabbiosa	6.54	5.20	0.41	0.82	0.00	0.26	0.64	1.08	0.59	0.92	0.33	0.48	0.82
[3] - Alternanza a calcareo-marnosa	39.2	5.80	2.65	4.90	0.00	1.43	3.91	5.53	3.05	4.13	1.96	5.97	4.90

### Qc ( Resistenza punta Penetrometro Statico)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Qc (Kg/cm <sup>2</sup> )
[1] - terreno vegetale	8.57	1.20	Robertson (1983)	17.14
[2] - argilla sabbiosa	6.54	5.20	Robertson (1983)	13.08
[3] - Alternanza calcareo-marnosa	39.2	5.80	Robertson (1983)	78.40

### Modulo Edometrico (Kg/cm<sup>2</sup>)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Stroud e Butler (1975)	Vesic (1970)	Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner	Buisman-Sanglerat
[1] - terreno vegetale	8.57	1.20	39.32	--	89.20	107.13
[2] - argilla sabbiosa	6.54	5.20	30.01	--	68.50	81.75
[3] - Alternanza calcareo-marnosa	39.2	5.80	179.85	--	401.61	392.00

### Modulo di Young (Kg/cm<sup>2</sup>)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Schultze	Apollonia
[1] - terreno vegetale	8.57	1.20	78.16	85.70
[2] - argilla sabbiosa	6.54	5.20	54.81	65.40
[3] - Alternanza calcareo-marnosa	39.2	5.80	430.40	392.00

### Classificazione AGI

	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Classificazione
[1] - terreno vegetale	8.57	1.20	A.G.I. (1977)	CONSISTENTE
[2] - argilla sabbiosa	6.54	5.20	A.G.I. (1977)	MODERAT. CONSISTENTE
[3] - Alternanza calcareo-marnosa	39.2	5.80	A.G.I. (1977)	ESTREM. CONSISTENTE

### Peso unità di volume

	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume (t/m <sup>3</sup> )
[1] - terreno vegetale	8.57	1.20	Meyerhof	1.92
[2] - argilla sabbiosa	6.54	5.20	Meyerhof	1.84
[3] - Alternanza calcareo-marnosa	39.2	5.80	Meyerhof	2.48

### Peso unità di volume saturo

	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume saturo (t/m <sup>3</sup> )
[1] - terreno vegetale	8.57	1.20	Meyerhof	2.11
[2] - argilla sabbiosa	6.54	5.20	Meyerhof	1.89
[3] - Alternanza calcareo-marnosa	39.2	5.80	Meyerhof	2.50

TERRENI INCOERENTI

Densità relativa

	NSPT	Prof. Strato (m)	Gibbs & Holtz 1957	Meyerhof 1957	Schultze & Menzenbach (1961)	Skempton 1986
[3] - Alternanza calcareo-marnosa	39.2	5.80	54.31	99.65	97.82	71.72

Angolo di resistenza al taglio

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Peck-Hanson-Thornburn-Meyerhof 1956	Meyerhof (1956)	Sowers (1961)	Malcev (1964)	Meyerhof (1965)	Schmertmann (1977) Sabbie	Mitchell & Katti (1981)	Shioi-Fukuni 1982 (ROAD BRIDGE SPECIFICATION)	Japanese National Railway	De Mello	Owasaki & Iwasaki
[3] - Alternanza calcareo-marnosa	39.2	5.80	39.2	38.2	31.2	38.98	30.86	41.36	41.95	35-38	39.25	38.76	47.07	43

Modulo di Young (Kg/cm<sup>2</sup>)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Terzaghi	Schmertmann (1978) (Sabbie)	Schultze-Menzenbach (Sabbia ghiaiosa)	D'Appollonia ed altri 1970 (Sabbia)	Bowles (1982) Sabbia Media
[3] - Alternanza calcareo-marnosa	39.2	5.80	39.2	446.90	313.60	463.26	474.00	271.00

Modulo Edometrico (Kg/cm<sup>2</sup>)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Buisman-Sanglerat (sabbie)	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	Farrent 1963	Menzenbach e Malcev (Sabbia media)
[3] - Alternanza calcareo-marnosa	39.2	5.80	39.2	235.20	107.98	278.32	212.83

Classificazione AGI

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Classificazione AGI
[3] - Alternanza calcareo-marnosa	39.2	5.80	39.2	Classificazione A.G.I	ADDENSATO

Peso unità di volume

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Peso Unità di Volume (t/m <sup>3</sup> )
[3] - Alternanza calcareo-marnosa	39.2	5.80	39.2	Terzaghi-Peck 1948	1.78

Peso unità di volume saturo

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Peso Unità Volume Saturo (t/m <sup>3</sup> )
[3] - Alternanza calcareo-marnosa	39.2	5.80	39.2	Terzaghi-Peck 1948	2.11

Modulo di Poisson

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Poisson
[3] - Alternanza calcareo-marnosa	39.2	5.80	39.2	(A.G.I)	0.28

Modulo di deformazione a taglio dinamico (Kg/cm<sup>2</sup>)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Ohsaki (Sabbie pulite)	Robertson e Campanella (1983) e Imai & Tonouchi (1982)
[3] - Alternanza calcareo-marnosa	39.2	5.80	39.2	2044.57	1176.00

## PROVA ...DIN4

Strumento utilizzato...DPSH TG 63-200 PAGANI

Prova eseguita in data 03-08-2022

Profondità prova 2.20 mt

Falda non rilevata

Tipo elaborazione Nr. Colpi: Medio



Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Kg/cm <sup>2</sup> )	Res. dinamica (Kg/cm <sup>2</sup> )	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (Kg/cm <sup>2</sup> )	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (Kg/cm <sup>2</sup> )
0.20	5	0.855	44.90	52.54	44.90	52.54
0.40	9	0.851	80.45	94.57	80.45	94.57
0.60	6	0.847	49.01	57.86	49.01	57.86
0.80	7	0.843	56.93	67.50	56.93	67.50
1.00	3	0.840	24.29	28.93	24.29	28.93
1.20	3	0.836	24.19	28.93	24.19	28.93
1.40	4	0.833	32.13	38.57	32.13	38.57
1.60	8	0.830	59.14	71.29	59.14	71.29
1.80	20	0.776	138.35	178.22	138.35	178.22

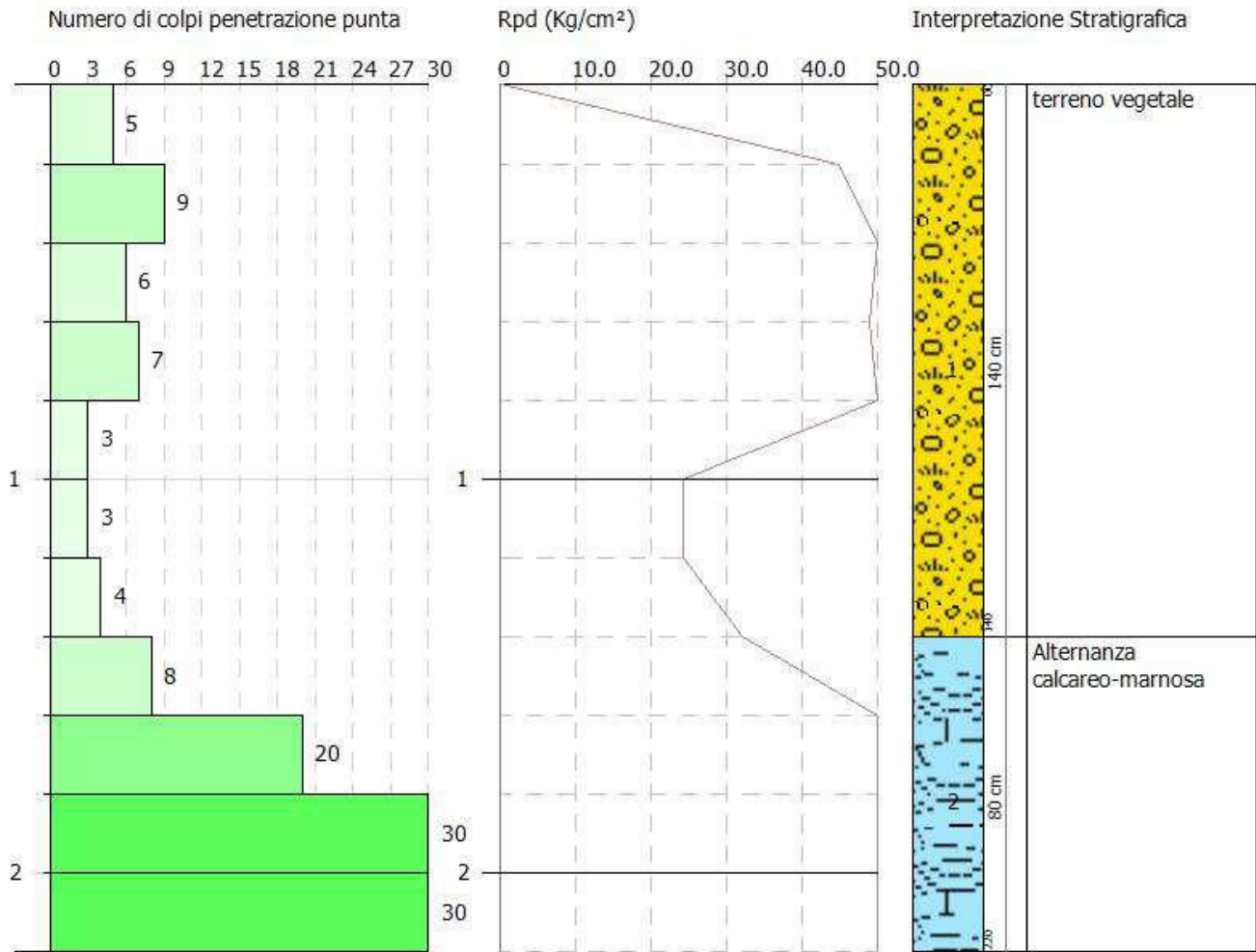
2.00	30	0.723	193.33	267.33	193.33	267.33
2.20	40	0.620	221.03	356.43	221.03	356.43

Prof. Strato (m)	NPDM	Rd (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tipo	Peso unità di volume (t/m <sup>3</sup> )	Peso unità di volume saturo (t/m <sup>3</sup> )	Tensione efficace (Kg/cm <sup>2</sup> )	Coeff. di correlaz. con Nsp	NSPT	Descrizione
1.4	5.29	52.7	Incoerente - coesivo	1.89	1.9	0.13	1.47	7.78	terreno vegetale
2.2	24.5	218.32	Incoerente - coesivo	2.32	2.5	0.36	1.47	36.01	Alternanza calcareo-marnosa



Committente: Comune di Toano  
 Descrizione: Recupero ex-cinema parrocchiale  
 Località: Via Conte Sasso, 32 - Quara di Toano (RE)

Scala 1:18



## STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA DIN4

### TERRENI COESIVI

#### Coesione non drenata (Kg/cm<sup>2</sup>)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Terzaghi-Peck	Sanglerat	Terzaghi-Peck (1948)	U.S.D.M. S.M	Schmertmann 1975	SUNDA (1983) Benassi e Vannelli	Fletcher (1965) Argilla di Chicago	Houston (1960)	Shioi - Fukui 1982	Begeman n	De Beer
[1] - terreno vegetale	7.78	1.40	0.49	0.97	0.00	0.31	0.76	1.58	0.70	1.02	0.39	1.20	0.97
[2] - Alternanza calcareo-marnosa	36.01	2.20	2.43	4.50	0.00	1.32	3.59	6.55	2.84	3.76	1.80	6.07	4.50

#### Qc ( Resistenza punta Penetrometro Statico)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Qc (Kg/cm <sup>2</sup> )
[1] - terreno vegetale	7.78	1.40	Robertson (1983)	15.56
[2] - Alternanza calcareo-marnosa	36.01	2.20	Robertson (1983)	72.02

#### Modulo Edometrico (Kg/cm<sup>2</sup>)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Stroud e Butler (1975)	Vesic (1970)	Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner	Buisman-Sanglerat
[1] - terreno vegetale	7.78	1.40	35.70	--	81.14	97.25
[2] - Alternanza calcareo-marnosa	36.01	2.20	165.21	--	369.07	360.10

#### Modulo di Young (Kg/cm<sup>2</sup>)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Schultze	Apollonia
[1] - terreno vegetale	7.78	1.40	69.07	77.80
[2] - Alternanza calcareo-marnosa	36.01	2.20	393.72	360.10

#### Classificazione AGI

	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Classificazione
[1] - terreno vegetale	7.78	1.40	A.G.I. (1977)	MODERAT. CONSISTENTE
[2] - Alternanza calcareo-marnosa	36.01	2.20	A.G.I. (1977)	ESTREM. CONSISTENTE

#### Peso unità di volume

	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume (t/m <sup>3</sup> )
[1] - terreno vegetale	7.78	1.40	Meyerhof	1.89
[2] - Alternanza calcareo-marnosa	36.01	2.20	Meyerhof	2.32

#### Peso unità di volume saturo

	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume saturo (t/m <sup>3</sup> )
[1] - terreno vegetale	7.78	1.40	Meyerhof	1.90
[2] - Alternanza calcareo-marnosa	36.01	2.20	Meyerhof	2.50

TERRENI INCOERENTI

Densità relativa

	NSPT	Prof. Strato (m)	Gibbs & Holtz 1957	Meyerhof 1957	Schultze & Menzenbach (1961)	Skempton 1986
[1] - terreno vegetale	7.78	1.40	32.93	64.21	77.52	27.87
[2] - Alternanza calcareo-marnosa	36.01	2.20	64.56	100	100	69.08

Angolo di resistenza al taglio

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Peck-Hanson-Thornburn-Meyerhof 1956	Meyerhof (1956)	Sowers (1961)	Malcev (1964)	Meyerhof (1965)	Schmertmann (1977) Sabbie	Mitchell & Katti (1981)	Shioi-Fukuni 1982 (ROAD BRIDGE SPECIFICATION)	Japanese National Railway	De Mello	Owasaki & Iwasaki
[1] - terreno vegetale	7.78	1.40	7.78	29.22	22.22	30.18	32.72	32.81	0	<30	25.8	29.33	36.41	27.47
[2] - Alternanza calcareo-marnosa	36.01	2.20	36.01	37.29	30.29	38.08	33.04	40.85	42	32-35	38.24	37.8	48.93	41.84

Modulo di Young (Kg/cm<sup>2</sup>)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Terzaghi	Schmertmann (1978) (Sabbie)	Schultze-Menzenbach (Sabbia ghiaiosa)	D'Appollonia ed altri 1970 (Sabbia)	Bowles (1982) Sabbia Media
[1] - terreno vegetale	7.78	1.40	7.78	---	62.24	---	---	---
[2] - Alternanza calcareo-marnosa	36.01	2.20	36.01	428.33	288.08	425.62	450.07	255.05

Modulo Edometrico (Kg/cm<sup>2</sup>)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Buisman-Sanglerat (sabbie)	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	Farrent 1963	Menzenbach e Malcev (Sabbia media)
[1] - terreno vegetale	7.78	1.40	7.78	---	43.44	55.24	72.70
[2] - Alternanza calcareo-marnosa	36.01	2.20	36.01	216.06	101.43	255.67	198.60

Classificazione AGI

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Classificazione AGI
[1] - terreno vegetale	7.78	1.40	7.78	Classificazione A.G.I	POCO ADDENSATO
[2] - Alternanza calcareo-marnosa	36.01	2.20	36.01	Classificazione A.G.I	ADDENSATO

Peso unità di volume

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Peso Unità di Volume (t/m <sup>3</sup> )
[1] - terreno vegetale	7.78	1.40	7.78	Terzaghi-Peck 1948	1.45
[2] - Alternanza calcareo-marnosa	36.01	2.20	36.01	Terzaghi-Peck 1948	1.75

Peso unità di volume saturo

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Peso Unità Volume Saturo (t/m <sup>3</sup> )
[1] - terreno vegetale	7.78	1.40	7.78	Terzaghi-Peck 1948	1.90
[2] - Alternanza calcareo-marnosa	36.01	2.20	36.01	Terzaghi-Peck 1948	2.09

Modulo di Poisson

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Poisson
[1] - terreno vegetale	7.78	1.40	7.78	(A.G.I.)	0.34
[2] - Alternanza calcareo-marnosa	36.01	2.20	36.01	(A.G.I.)	0.28

Modulo di deformazione a taglio dinamico (Kg/cm<sup>2</sup>)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Ohsaki (Sabbie pulite)	Robertson e Campanella (1983) e Imai & Tonouchi (1982)
[1] - terreno vegetale	7.78	1.40	7.78	447.13	437.82
[2] - Alternanza calcareo-marnosa	36.01	2.20	36.01	1887.78	1116.57

# **SISMICA A RIFRAZIONE**

## **MASW**

### ***Determinazione del Vs30***



**SISMOGRAFO: PASI 16SG24**

Analyzing phase velocities

==o== SECTION#1

dataset: Quara di Toano (RE) - 2022-08-03 09-39.dat
minimum offset (m): 5
geophone spacing (m): 2
sampling (ms): 0.5
Dispersion curve: Quara di Toano (RE).cdp
Number of individuals: 50
Number of generations: 51

Rayleigh-wave dispersion analysis

Analyzing phase velocities

Adopted search space (minimum vs & thickness): 143 1 162 2 160 3 176 3 204 13
250
Adopted search space (maximum vs & thickness): 400 4 500 5 600 7 700 7 750 18
768
Adopted Poisson values: 0.4 0.35 0.35 0.35 0.35 0.35

Output folder: C:\Users\Stefano27\Desktop\SISMICHE\SISMICHE 2022\Caroli\08\Quara di Toano\output\_disp

==o== SECTION#2

Rayleigh wave analysis

Optimizing Vs & Thickness - generation: 1; average & best misfits: -26.851 -11.461
Optimizing Vs & Thickness - generation: 2; average & best misfits: -23.2677 -10.1501
Optimizing Vs & Thickness - generation: 3; average & best misfits: -20.2136 -9.93001
Optimizing Vs & Thickness - generation: 4; average & best misfits: -21.2 -9.09085
Optimizing Vs & Thickness - generation: 5; average & best misfits: -18.7505 -8.06797
Optimizing Vs & Thickness - generation: 6; average & best misfits: -20.2802 -8.06797
Optimizing Vs & Thickness - generation: 7; average & best misfits: -23.8001 -8.06797
Optimizing Vs & Thickness - generation: 8; average & best misfits: -22.9384 -7.83508
Optimizing Vs & Thickness - generation: 9; average & best misfits: -25.5688 -7.83508
Optimizing Vs & Thickness - generation: 10; average & best misfits: -24.9598 -7.83508
Optimizing Vs & Thickness - generation: 11; average & best misfits: -27.2155 -7.83508
Optimizing Vs & Thickness - generation: 12; average & best misfits: -29.6114 -7.83508
Optimizing Vs & Thickness - generation: 13; average & best misfits: -28.506 -7.83508
Optimizing Vs & Thickness - generation: 14; average & best misfits: -26.8286 -7.298
Optimizing Vs & Thickness - generation: 15; average & best misfits: -29.213 -7.298
Optimizing Vs & Thickness - generation: 16; average & best misfits: -34.567 -7.298
Optimizing Vs & Thickness - generation: 17; average & best misfits: -30.2434 -7.298
Optimizing Vs & Thickness - generation: 18; average & best misfits: -37.2985 -7.298
Optimizing Vs & Thickness - generation: 19; average & best misfits: -39.8713 -7.298
Optimizing Vs & Thickness - generation: 20; average & best misfits: -35.4799 -7.298
Optimizing Vs & Thickness - generation: 21; average & best misfits: -28.2383 -7.298
Optimizing Vs & Thickness - generation: 22; average & best misfits: -22.9201 -7.298
Optimizing Vs & Thickness - generation: 23; average & best misfits: -23.3615 -7.298
Optimizing Vs & Thickness - generation: 24; average & best misfits: -25.2911 -7.298
Optimizing Vs & Thickness - generation: 25; average & best misfits: -25.2194 -7.298
Optimizing Vs & Thickness - generation: 26; average & best misfits: -20.905 -7.298
Optimizing Vs & Thickness - generation: 27; average & best misfits: -21.1669 -7.298
Optimizing Vs & Thickness - generation: 28; average & best misfits: -23.6601 -7.298
Optimizing Vs & Thickness - generation: 29; average & best misfits: -21.2597 -7.298
Optimizing Vs & Thickness - generation: 30; average & best misfits: -22.3389 -7.298
Optimizing Vs & Thickness - generation: 31; average & best misfits: -23.3643 -7.298
Optimizing Vs & Thickness - generation: 32; average & best misfits: -22.3904 -7.298
Optimizing Vs & Thickness - generation: 33; average & best misfits: -27.7235 -7.298
Optimizing Vs & Thickness - generation: 34; average & best misfits: -23.2375 -7.298
Optimizing Vs & Thickness - generation: 35; average & best misfits: -27.0021 -7.298
Optimizing Vs & Thickness - generation: 36; average & best misfits: -27.0395 -7.298
Optimizing Vs & Thickness - generation: 37; average & best misfits: -28.8258 -7.298
Optimizing Vs & Thickness - generation: 38; average & best misfits: -24.8626 -7.298
Optimizing Vs & Thickness - generation: 39; average & best misfits: -22.1273 -7.298
Optimizing Vs & Thickness - generation: 40; average & best misfits: -19.7993 -7.24787
Optimizing Vs & Thickness - generation: 41; average & best misfits: -19.7779 -7.24787
Optimizing Vs & Thickness - generation: 42; average & best misfits: -27.3641 -7.24787
Optimizing Vs & Thickness - generation: 43; average & best misfits: -25.8316 -7.24787
Optimizing Vs & Thickness - generation: 44; average & best misfits: -20.595 -7.24787
Optimizing Vs & Thickness - generation: 45; average & best misfits: -20.1468 -7.24787
Optimizing Vs & Thickness - generation: 46; average & best misfits: -24.401 -7.24787
Optimizing Vs & Thickness - generation: 47; average & best misfits: -23.4566 -7.24787
Optimizing Vs & Thickness - generation: 48; average & best misfits: -21.3588 -7.24787
Optimizing Vs & Thickness - generation: 49; average & best misfits: -25.2043 -7.24787
Optimizing Vs & Thickness - generation: 50; average & best misfits: -22.91 -7.24787
Optimizing Vs & Thickness - generation: 51; average & best misfits: -19.3112 -7.24787
Forcing search space

Now a finer search around the most promising search space area

Rayleigh wave analysis

Optimizing Vs & Thickness - generation: 1; average & best misfits: -14.7995 -7.24787
Optimizing Vs & Thickness - generation: 2; average & best misfits: -13.7768 -7.24787



Optimizing Vs & Thickness - generation: 3; average & best misfits: -13.6116 -7.01592  
 Optimizing Vs & Thickness - generation: 4; average & best misfits: -14.3362 -6.90826  
 Optimizing Vs & Thickness - generation: 5; average & best misfits: -14.5241 -6.90826  
 Optimizing Vs & Thickness - generation: 6; average & best misfits: -13.9997 -6.90826  
 Optimizing Vs & Thickness - generation: 7; average & best misfits: -14.1493 -6.90826  
 Optimizing Vs & Thickness - generation: 8; average & best misfits: -14.7078 -6.90826  
 Optimizing Vs & Thickness - generation: 9; average & best misfits: -13.2788 -6.90826  
 Optimizing Vs & Thickness - generation: 10; average & best misfits: -11.9525 -6.47843  
 Optimizing Vs & Thickness - generation: 11; average & best misfits: -11.6866 -6.47843  
 Optimizing Vs & Thickness - generation: 12; average & best misfits: -12.4701 -6.09386  
 Optimizing Vs & Thickness - generation: 13; average & best misfits: -12.6187 -6.09386  
 Optimizing Vs & Thickness - generation: 14; average & best misfits: -11.8112 -6.09386

Model after the Vs & Thickness optimization (fixed Poisson values):

Vs (m/s): 185 224 224 226 853 534  
 Thickness (m): 1.6 2 3.9 5.5 13

Poisson: 0.4 0.35 0.35 0.35 0.35 0.35  
 Vp & Density Optimization

Columns 1 through 7

0.0397	0.0998	0.1328	0.1657	0.2384	0.3023	0.3624
0.1559	0.2095	0.2632	0.3486	0.4558	0.5680	0.7279
0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0

Columns 8 through 14

0.4157	0.5048	0.5678	0.6269	0.8217	0.9128	1.0000
0.8143	0.9096	1.0000	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0

Rayleigh wave analysis

Optimizing Vp & Density - generation: 1; average & best misfits: -6.4455 -5.7493  
 Optimizing Vp & Density - generation: 2; average & best misfits: -6.2088 -5.7272  
 Optimizing Vp & Density - generation: 3; average & best misfits: -6.0772 -5.6446  
 Optimizing Vp & Density - generation: 4; average & best misfits: -6.1273 -5.6446  
 Optimizing Vp & Density - generation: 5; average & best misfits: -6.0687 -5.6446  
 Optimizing Vp & Density - generation: 6; average & best misfits: -6.0466 -5.6068  
 Optimizing Vp & Density - generation: 7; average & best misfits: -5.9924 -5.5978  
 Optimizing Vp & Density - generation: 8; average & best misfits: -5.9822 -5.5935  
 Optimizing Vp & Density - generation: 9; average & best misfits: -6.0855 -5.5935  
 Optimizing Vp & Density - generation: 10; average & best misfits: -6.0424 -5.5901  
 Optimizing Vp & Density - generation: 11; average & best misfits: -6.0005 -5.5901  
 Optimizing Vp & Density - generation: 12; average & best misfits: -5.9833 -5.5901  
 Optimizing Vp & Density - generation: 13; average & best misfits: -5.998 -5.5822  
 Optimizing Vp & Density - generation: 14; average & best misfits: -6.0155 -5.5691  
 Number of models considered to calculate the average model: 107

#####  
 RESULTS  
 #####

Dataset: Quara di Toano (RE) - 2022-08-03 09-39.dat  
 Analyzed curve/spectrum: Quara di Toano (RE).cdp

===== SECTION#3

Analyzing Phase Velocities

Analyzing Rayleigh-wave Dispersion

MEAN MODEL

Vs (m/s): 196 242 218 251 727 518  
 Standard deviations (m/s): 39 29 23 74 102 70

Thickness (m): 1.7 2.1 3.9 6.5 13.8  
 Standard deviations (m): 0.3 0.4 1.0 1.0 1.6

Approximate values for Vp, density, Poisson & Shear modulus

Vp (m/s): 1088 687 988 609 2656 2052  
 Density (gr/cm3): 2.07 1.96 2.05 1.93 2.29 2.23  
 Vp/Vs ratio: 5.55 2.84 4.53 2.43 3.65 3.96  
 Poisson: 0.48 0.43 0.47 0.40 0.46 0.47  
 Shear modulus (MPa): 80 115 97 122 1211 598  
 Estimated static shear modulus (MPa): 0 0 0 0 0 0 0 0

Fundamental mode

Mean model  
 f(Hz) VR(m/s)  
 2.34221 480.0985

5.88335	473.0723
7.82527	371.0639
9.76718	255.1484
14.0508	221.5239
17.8204	215.9672
21.3616	214.057
24.5029	213.1363
29.7575	211.8726
33.47	210.7803
36.954	209.4676
48.4342	203.3649
53.803	200.2913
58.9434	197.6737

First higher mode

Mean model	
8.96757	475.981
12.0518	452.1982
15.136	407.3851
20.0479	322.7933
26.2164	271.7793
32.6704	253.8219
41.8659	241.5497
46.8349	237.2793
52.318	233.8723
57.5155	231.5857

===== SECTION#4

BEST MODEL

Vs (m/s): 185 224 224 226 853 534  
thickness (m): 1.55703 2.01316 3.91561 5.5012 12.8017

Approximate values for Vp, density, Poisson & Shear modulus

Vp (m/s):	1101	464	1510	470	2374	1788			
Density (gr/cm3):	2.08	1.87	2.15	1.87	2.26	2.20			
Vp/Vs ratio:	5.95	2.07	6.74	2.08	2.78	3.35			
Poisson:	0.49	0.35	0.49	0.35	0.43	0.45			
Shear modulus (MPa):	71	94	108	96	1648	626	0	0	0
Estimated static shear modulus (MPa):	0	0	0	0	0	0	0	0	0

dispersion curve (frequency - velocity)

Fundamental mode)

best model	
F(Hz)	VR(m/s)
2.34221	496.707
5.88335	480.7875
7.82527	353.4884
9.76718	241.0533
14.0508	214.1262
17.8204	209.7865
21.3616	207.7726
24.5029	206.1885
29.7575	203.1939
33.47	200.7886
36.954	198.4291
48.4342	191.129
53.803	188.3285
58.9434	186.0804

First higher mode)

best model	
8.96757	466.2858
12.0518	432.0715
15.136	393.5791
20.0479	318.7273
26.2164	259.9843
32.6704	240.7043
41.8659	231.5472
46.8349	229.4076
52.318	227.9405
57.5155	227.0213

Vs5 (mean model): 218 m/s  
Vs5 (best model): 210 m/s

Vs20 (mean model): 290 m/s  
Vs20 (best model): 297 m/s

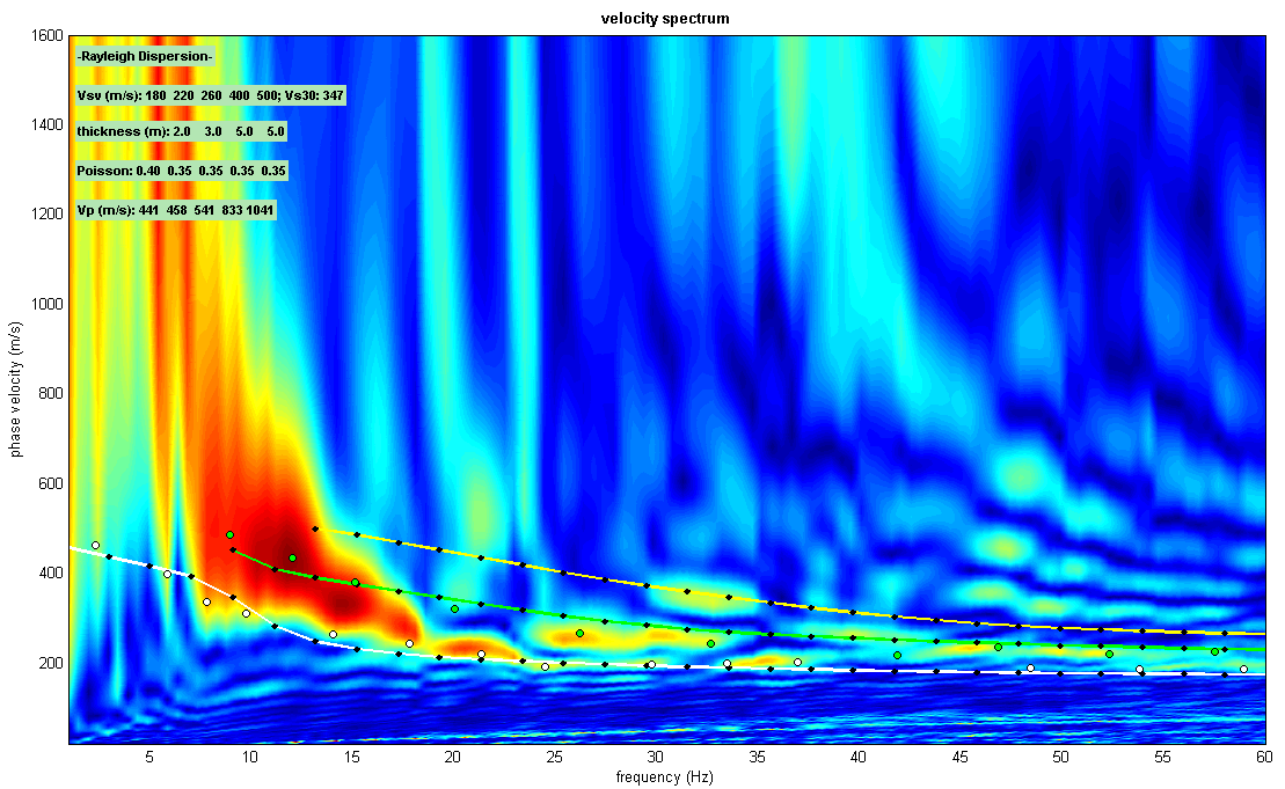
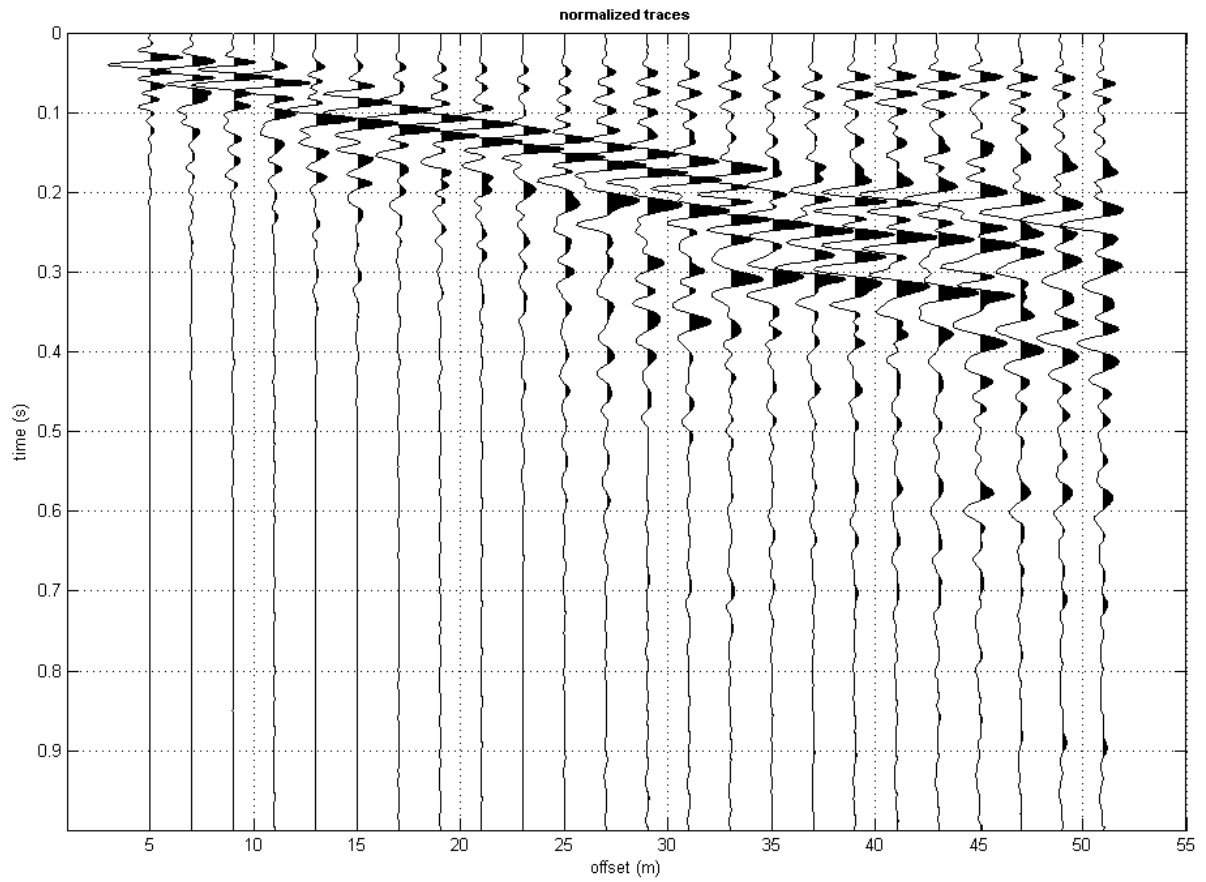
Vs30 (mean model): 358 m/s  
Vs30 (best model): 365 m/s

dataset: Quara di Toano (RE) - 2022-08-03 09-39.dat

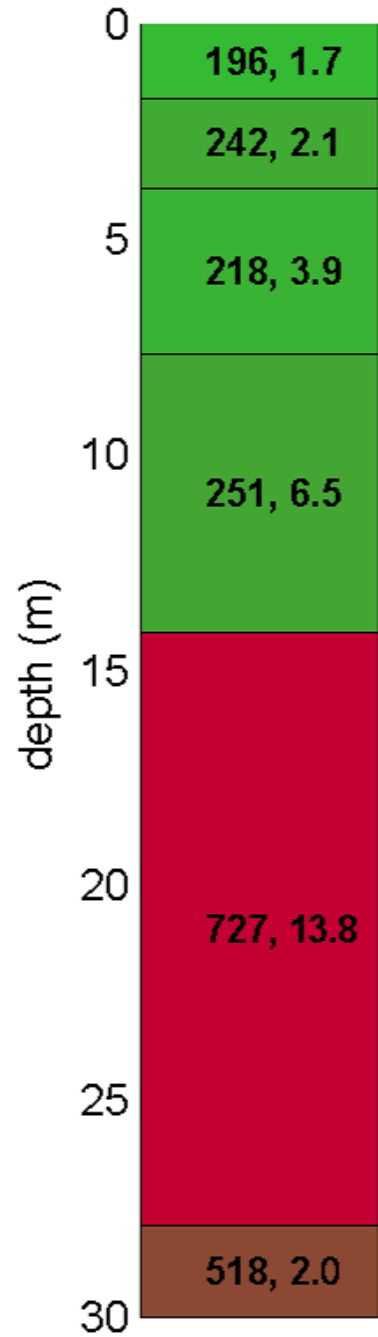
sampling: 0.5 ms

minimum offset: 5 m

geophone spacing: 2 m



# Subsurface model



$V_s$ (m/s)	thickness (m)
----------------	------------------

# winMASW - Inversion of Surface-Wave Dispersion Curves

## Main results

Dataset: Quara di Toano (RE) - 2022-08-03 09-39.dat

Mean model

Vs (m/s): 196, 242, 218, 251, 727, 518

Standard deviations (m/s): 39, 29, 23, 74, 102, 70

Thickness (m): 1.7, 2.1, 3.9, 6.5, 13.8

Standard deviations (m): 0.3, 0.4, 1.0, 1.0, 1.6

Density (g/cm<sup>3</sup>): 2.07, 1.96, 2.05, 1.93, 2.29, 2.23

Seismic/Dynamic Shear modulus (MPa): 80 115 97 122 1211 598

Analyzing Phase velocities

Considered dispersion curve: Quara di Toano (RE).cdp

Analysis: Rayleigh Waves

Approximate values for Vp and Poisson (please, see manual)

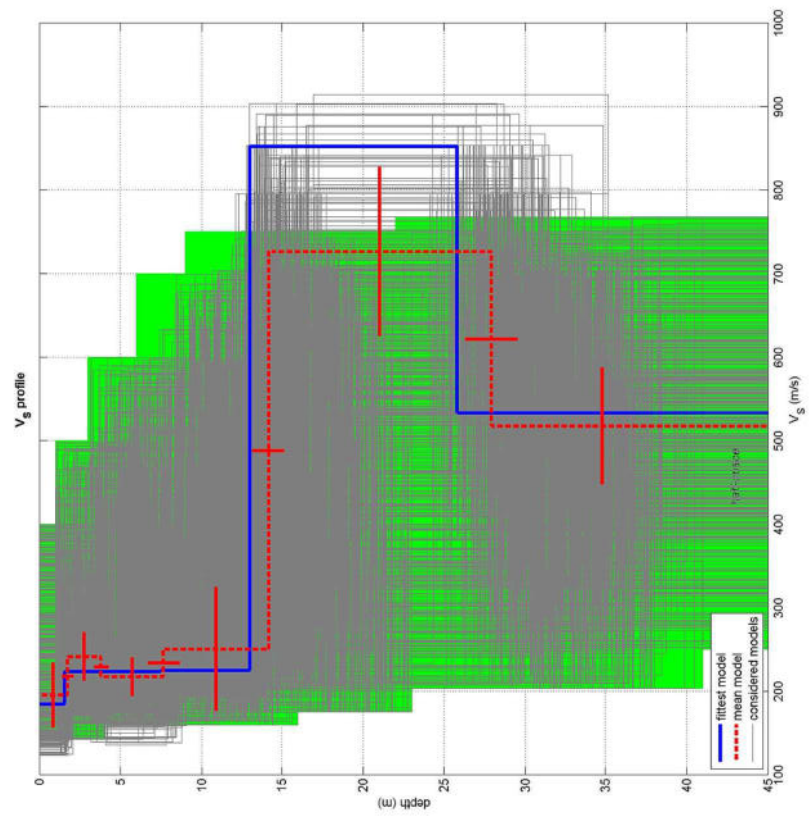
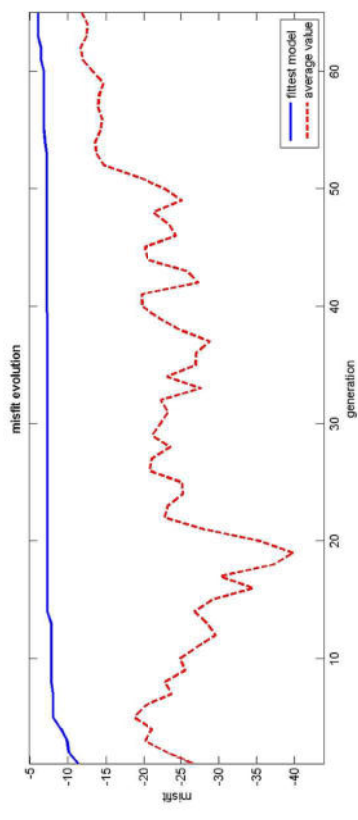
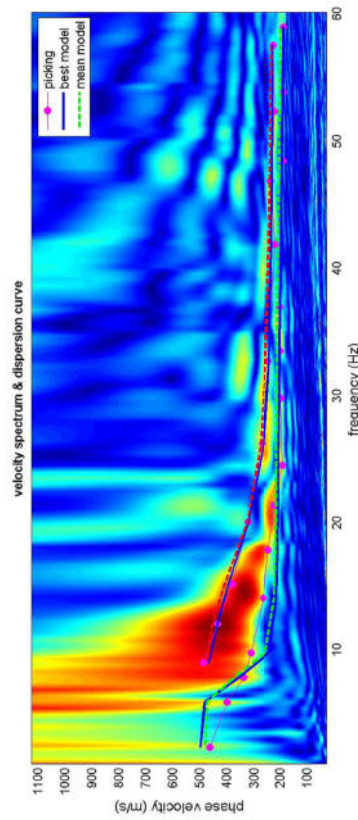
Vp (m/s): 1088, 687, 988, 609, 2656, 2052

Poisson: 0.48 0.43 0.47 0.40 0.46 0.47

Vs30 (m/s): 358

Soil classification: **Categoria di sottosuolo di tipo C**

*Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.*



dataset: Quara di Toano (RE) - 2022-08-03 09-38.dat

dispersion curve: Quara di Toano (RE).cdp

$V_{S30}$  (best model): 365 m/s

$V_{S30}$  (mean model): 358 m/s



# **INDAGINE HVS**



**STRUMENTO: PASI GEMINI 2**

**winMASW & HoliSurface: Horizontal-to-Vertical Spectral Ratio**

Dataset: Quara\_ex\_cinema.SAF

**DATA ACQUISITION**

Date and time: 2022 08 03 12 28 50

GPS data: Unavailable

**DATA PROCESSING**

Date: 17 1 2023

Time: 9 56

Sampling frequency (Hz): 64

Window length (sec): 20

Minimum frequency soundly determined [10 cycles]: 0.5Hz

Length of analysed dataset (min): 10.0

Tapering (%): 5

Smoothing (%): 15

##### **SESAME criteria** #####

**In the following the results considering the data in the 0.5-20.0Hz frequency range**

Peak frequency (Hz): 5.8 (±1.9)

Peak HVSR value: 2.3 (±0.3)

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

#1.  $[f_0 > 10/Lw]$ :  $5.756 > 0.5$  (OK)

#2.  $[nc > 200]$ :  $4950 > 200$  (OK)

#3.  $[f_0 > 0.5\text{Hz}; \sigma_A(f) < 2 \text{ for } 0.5f_0 < f < 2f_0]$  (OK)

==== **Criteria for a clear H/V peak (at least 5 should be fulfilled)** =====

#1.  $[\text{exists } f^- \text{ in the range } [f_0/4, f_0] \mid AH/V(f^-) < A_0/2]$ : yes (considering standard deviations), at frequency 1.5Hz (OK)

#2.  $[\text{exists } f^+ \text{ in the range } [f_0, 4f_0] \mid AH/V(f^+) < A_0/2]$ : yes, at frequency 7.7Hz (OK)

#3.  $[A_0 > 2]$ :  $2.3 > 2$  (OK)

#4.  $[f_{\text{peak}}[Ah/v(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%]$ : (NO)

#5.  $[\sigma_A(f) < \epsilon(f)]$ :  $1.922 > 0.288$  (NO)

#6.  $[\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)]$ :  $0.556 < 1.58$  (OK)

Please, be aware of possible industrial/man-induced peaks or spurious peaks due to meaningless numerical instabilities.

Remember that SESAME criteria should be considered in a flexible perspective and that if you modify the processing parameters the results may change.

show d... reset

step#1 (optional) - decimate  
64 Hz [v] resample

step#2 - HV computation  
remove eve... both fl... clean axes  
20 window length Min. freq.: 0.5 Hz  
5 tapering  
15 amplitude test remo...  
9 HVSR  
15 spectral smoothing (triangular)  
2 detrending no equaliz...  
 Particle motion, all HVSRs, time lapse  
 full ou... compute

contin...  
3D motion  
 save video show 3D mot...

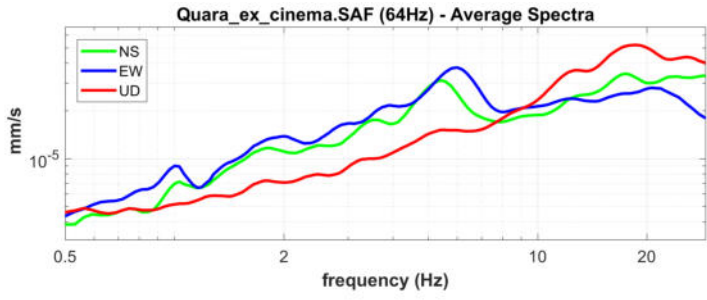
directivity analysis  
frequency in 1.0 5.0 10 Hz compute

save - options#1: save HVSR as it is  
save HV [0.5] to [30] H  
save HV curve (as it is...  
picking HV or amplitude spectra  
HVSR [v] pick data  
save picked... compute

quick analysis (FVs/4H)  
[200] average Vs (m/s)  
[20] depth of the  
[100] Vs of the  
clean compute

highlight a frequency  
draw/highlight [10] Hz

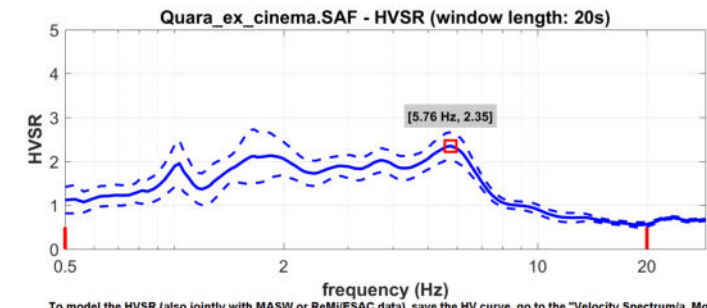
directivity over time  
directivity in [10] time [320]



open working fol...  
show location  
field notes

your comments

default axes



Criteria for a reliable H/V curve

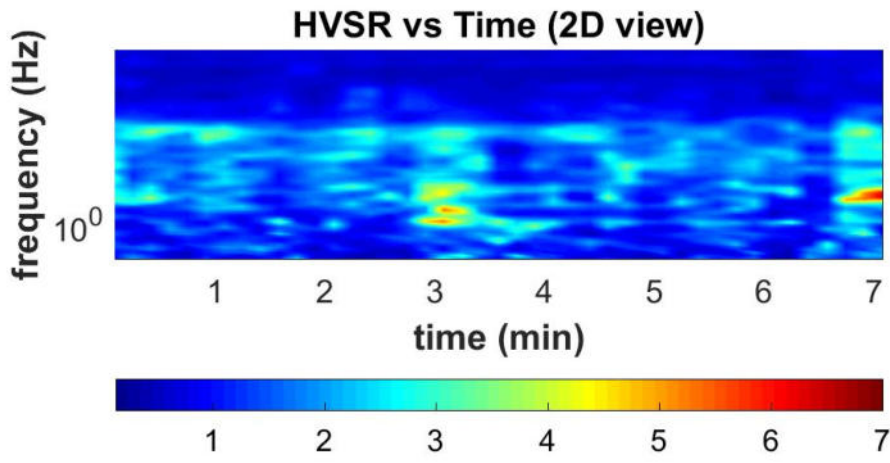
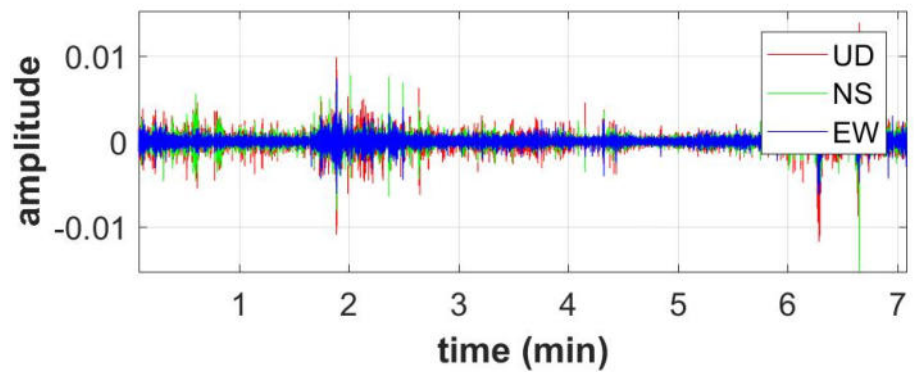
- #1: OK
- #2: OK
- #3: OK

Criteria for a clear H/V peak [5.76]

- #4: OK
- #5: NO
- #6: OK

To model the HVSR (also jointly with MASW or ReMi/ESAC data), save the HV curve, go to the "Velocity Spectrum/a, Modeling & Picking" panels and

##### Continuity (Persistence) of the H/V Spectral Ratio



**RISPOSTA SISMICA LOCALE DI 3° LIVELLO**

**RIGENERAZIONE URBANA DEL FABBRICATO  
DENOMINATO "EX CINEMA DI QUARA"**

**VIA CONTE SASSO, 32 - QUARA**

**Committente: AMMINISTRAZIONE COMUNALE DI TOANO**

**Data: DICEMBRE 2022**

## INTRODUZIONE

### PROCEDURA DI CALCOLO

La procedura di calcolo adoperata da RSL per la valutazione della funzione di trasferimento presuppone come base di partenza uno o più accelerogrammi, od uno spettro di risposta in accelerazione, e la conoscenza della stratigrafia del sito attraverso i seguenti parametri geotecnici per ogni strato:

- peso per unità di volume;
- velocità di propagazione delle onde di taglio;
- coefficiente di spinta laterale;
- modulo di taglio iniziale (opzionale);
- spessore;
- indice di plasticità.

La non linearità del calcolo è introdotta dalla dipendenza del modulo di deformazione al taglio e del coefficiente di smorzamento viscoso dalla deformazione.

Schematicamente la procedura è riassumibile nel seguente modo:

1. Valutazione dello spettro di Fourier dell'accelerogramma (omessa nel caso si debba analizzare uno spettro);
2. Ricerca di un errore relativo piccolo seguendo la procedura di:
  - 2.1. Stima della funzione di trasferimento;
  - 2.2. Valutazione della deformazione indotta in ciascuno strato;
  - 2.3. Correzione del modulo di deformazione al taglio e del coefficiente di smorzamento viscoso per ogni strato;Le operazioni 2.1, 2.2 e 2.3 sono ripetute fino a quando la differenza di deformazione tra un'iterazione e la precedente non rimane al di sotto di una soglia ritenuta accettabile;
3. Trasformazione inversa di Fourier dello spettro precedentemente calcolato ed opportunamente pesato per mezzo della funzione di trasferimento calcolata.

Attraverso questa procedura è possibile “trasferire” l'accelerogramma dal bedrock in superficie. La deformazione per ciascuno strato viene corretta sulla base del rapporto fra deformazione effettiva e massima come suggerito dalla letteratura scientifica, ovvero

$$\frac{\gamma_{eff}}{\gamma_{max}} = \frac{M - 1}{10}$$

dove  $M$  rappresenta la magnitudo del sisma.

Per la valutazione della funzione di trasferimento, RSL considera un suolo variamente stratificato composto da  $N$  strati orizzontali di cui l' $N$ -esimo è il letto di roccia (bedrock). Ponendo come ipotesi che ciascuno strato si comporti come un solido di Kelvin-Voigt  $\left[ \tau = G\gamma + \eta \frac{\partial \gamma(z, t)}{\partial z \partial t} \right]$ , la propagazione delle onde di taglio che attraversano gli strati verticalmente può essere definita dall'equazione dell'onda:

$$\rho \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = G \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} + \eta \frac{\partial^3 u}{\partial z^2 \partial t} \quad (1)$$

dove:  $u$  rappresenta lo spostamento;  $t$  il tempo;  $\rho$  la densità;  $G$  il modulo di deformazione al taglio;  $\eta$  la viscosità. Per onde armoniche lo spostamento può essere scritto come:

$$u(z, t) = U(z)^{i\omega t} \quad (2)$$

che sostituita nella (1) pone

$$(G + i\omega\eta) \frac{d^2 U}{dz^2} = \rho\omega^2 U \quad (3)$$

dove  $\omega$  rappresenta la frequenza angolare. La (3) può essere riscritta come

$$G^* \frac{d^2 U}{dz^2} = \rho\omega^2 U \quad (4)$$

avendo posto  $G^* = G + i\omega\eta$ , ovvero il modulo di deformazione al taglio *complesso*. Questo può essere ulteriormente riscritto come

$$G^* = G(1 + 2i\xi) \quad (5)$$

avendo posto

$$\eta = \frac{2G}{\omega} \xi \quad (6)$$

dove  $\xi$  rappresenta il coefficiente di smorzamento viscoso. Ciò posto, e fatta convenzione che l'apice \* indica la natura complessa della variabili in gioco, la soluzione dell'equazione generica dell'onda è la seguente:

$$u(z, t) = Ee^{i(\omega t + k^* z)} + Fe^{i(\omega t - k^* z)} \quad (7)$$

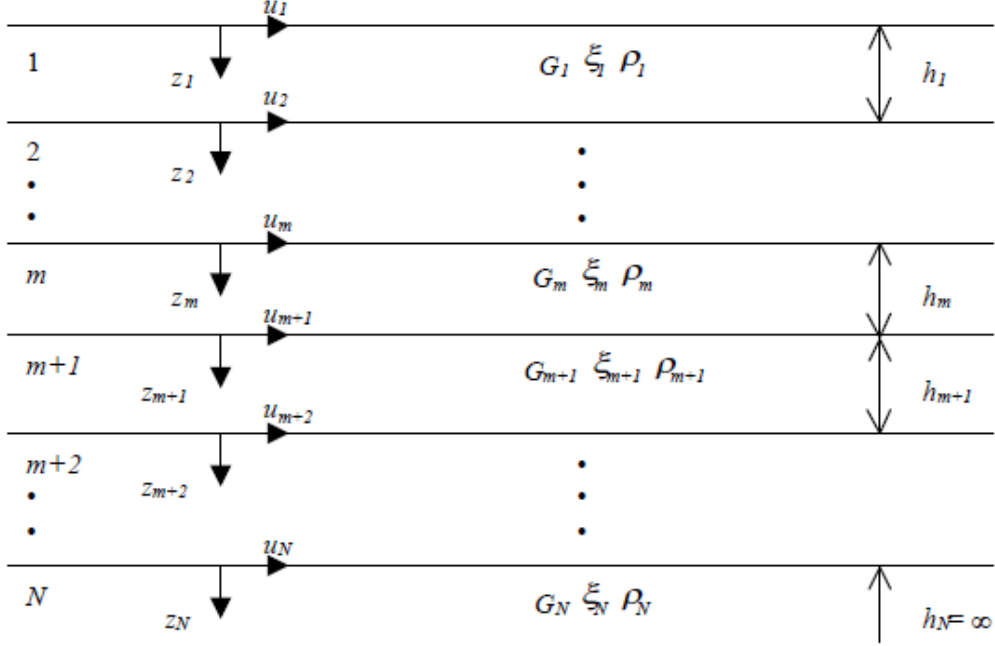


Figura 1: Esempio di stratigrafia per riferimento.

dove E e F dipendono dalle condizioni al contorno e rappresentano l'ampiezza d'onda che viaggia rispettivamente verso l'alto (-z) e verso il basso (+z), mentre  $k^*$  rappresenta il numero d'onda complesso dato dalla seguente espressione:

$$k^* = \omega \sqrt{\frac{\rho}{G^*}} \quad (8)$$

Il taglio invece è dato da:

$$\tau(z, t) = G^* \frac{dU}{dz} e^{i\omega t} = ik^* G^* [Ee^{i(\omega t + k^* z)} + Fe^{i(\omega t - k^* z)}] e^{i\omega t} \quad (9)$$

Per il generico strato m di spessore  $h_m$  gli spostamenti, rispettivamente in sommità ( $z = 0$ ) ed al fondo ( $z = h_m$ ), sono:

$$u_m(0, t) = (E_m + F_m) e^{i\omega t} \quad (10)$$

$$u_m(h_m, t) = (E_m e^{ik_m^* h_m} + F_m e^{-ik_m^* h_m}) e^{i\omega t} \quad (11)$$

Poiché deve essere rispettata la congruenza sullo spostamento all'interfaccia tra gli strati, ovvero lo spostamento in sommità ad uno strato deve essere uguale allo spostamento sul fondo di quello immediatamente sopra, se ne deduce che:

$$u_m(z = h_m, t) = u_{m+1}(z = 0, t) \quad (12)$$

Usando la (10), (11) e la (12), ne consegue che

$$E_{m+1} + F_{m+1} = E_m e^{ik_m^* h_m} + F_m e^{-ik_m^* h_m} \quad (13)$$

Il taglio in sommità ed al fondo dell'm-esimo strato è dato da:

$$\tau_m(0, t) = ik_m^* G_m^* [E_m - F_m] e^{i\omega t} \quad (14)$$

$$\tau_m(h_m, t) = ik_m^* G_m^* [E_m e^{ik_m^* h_m} - F_m e^{-ik_m^* h_m}] e^{i\omega t} \quad (15)$$



Poiché fra uno strato e l'altro il taglio deve essere continuo si ha

$$\tau_m(z = h_m, t) = \tau_{m+1}(z = 0, t) \quad (16)$$

ovvero

$$E_{m+1} - F_{m+1} = \frac{k_m^* G_m^*}{k_{m+1}^* G_{m+1}^*} (E_m e^{ik_m^* h_m} - F_m e^{-ik_m^* h_m}) \quad (17)$$

Sommando la (13) alla (17) e sottraendo la (17) alla (13) si ottiene

$$E_{m+1} = \frac{1}{2} E_m (1 + \alpha_m^*) e^{ik_m^* h_m} + \frac{1}{2} F_m (1 - \alpha_m^*) e^{-ik_m^* h_m} \quad (18)$$

$$F_{m+1} = \frac{1}{2} E_m (1 - \alpha_m^*) e^{ik_m^* h_m} + \frac{1}{2} F_m (1 + \alpha_m^*) e^{-ik_m^* h_m} \quad (19)$$

dove  $\alpha_m^*$  rappresenta il coefficiente di impedenza complesso al contorno tra gli strati  $m$  ed  $m+1$ , ed è dato dalla seguente espressione:

$$\alpha_m^* = \frac{k_{m+1}^* G_{m+1}^*}{k_m^* G_m^*} \quad (20)$$

Poiché in superficie il taglio è nullo,

$$\tau_1(0, t) = ik_1^* G_1^* [E_1 - F_1] e^{i\omega t} = 0$$

si deduce che  $E_1 = F_1$ .

Le equazioni (18) e (19) possono essere successivamente applicate agli strati successivi da 2 ad  $m$ . La funzione di trasferimento  $A_{mn}$  che lega gli spostamenti in sommità degli strati  $m$  ed  $n$  è definita dalla seguente espressione:

$$A_{mn} = \frac{u_m}{u_n} = \frac{E_m + F_m}{E_n + F_n} \quad (21)$$

$A_{mn}$  rappresenta la funzione di trasferimento, ovvero la funzione che mette in relazione il modulo della deformazione tra i punti  $m$  e  $n$ .

In pratica lo stato deformativo di una stratigrafia rimane definito una volta nota la deformazione di un suo qualsiasi punto. Inoltre, poiché la velocità e l'accelerazione sono legati allo spostamento,

$$\dot{u}(z, t) = \frac{\partial u}{\partial t} = i\omega u(z, t) \quad \ddot{u}(z, t) = \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = -\omega^2 u(z, t) \quad (22)$$

La funzione di trasferimento  $A_{mn}$  può essere espressa anche in funzione delle velocità e dell'accelerazione al tetto degli strati  $n$  ed  $m$ :

$$A_{mn}(\omega) = \frac{u_m}{u_n} = \frac{\dot{u}_m}{\dot{u}_n} = \frac{\ddot{u}_m}{\ddot{u}_n} = \frac{E_m + F_m}{E_n + F_n} \quad (23)$$

La deformazione tangenziale rimane definita alla profondità  $z$  e al tempo  $t$  dalla relazione:

$$\gamma(z, t) = \frac{\partial u}{\partial z} = ik^* (E e^{ik^* z} - F e^{-ik^* z}) e^{i\omega t} \quad (24)$$

E la corrispondente tensione tangenziale, dalla seguente espressione:

$$\tau(z, t) = G^* \gamma(z, t) \quad (25)$$

Ai fini di una corretta interpretazione del problema della risposta sismica locale, risulta utile riprodurre la rappresentazione schematica di Figura 2 in cui è riportata la terminologia utilizzata per lo studio del moto sismico di un deposito che poggia su un basamento roccioso.

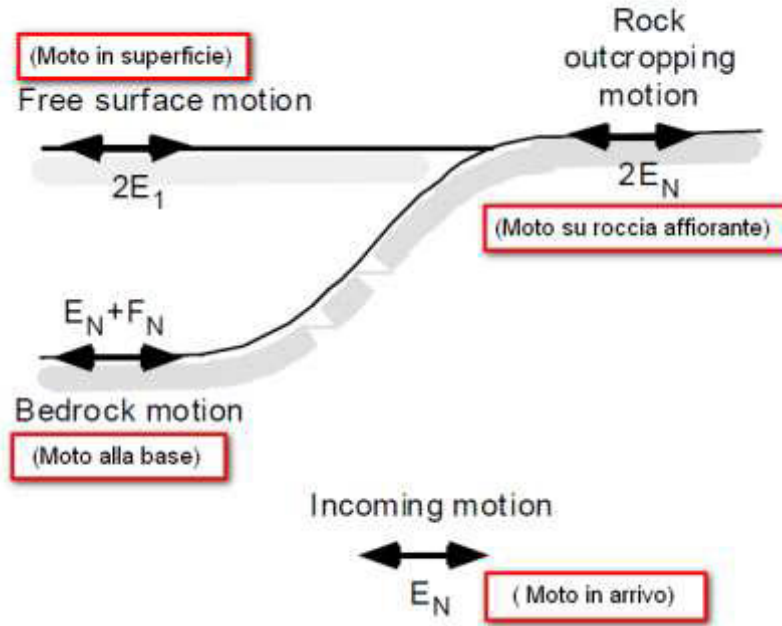


Figura 2: Schema di riferimento e terminologia utilizzata.

Le onde di taglio si propagano verticalmente attraverso il bedrock con ampiezza pari ad  $E_N$ ; al tetto del bedrock, sotto il deposito degli strati di terreno, il moto ha un'ampiezza pari a  $E_N + F_N$ . Sulla roccia affiorante, poiché le tensioni tangenziali sono nulle ( $E_N = F_N$ ), il moto avrà ampiezza pari a  $2E_N$ . La funzione di trasferimento dal bedrock al bedrock-affiorante è la seguente:

$$A_{NN}(\omega) = \frac{2E_N}{E_N + F_N} \quad (26)$$

$A$  è non lineare poiché  $G$  è funzione di  $\gamma$ . Nella procedura di calcolo infatti, da una stima iniziale del modulo di deformazione al taglio, si ottiene la tensione ipotizzando un legame lineare, per poi ottenere un nuovo valore di  $\gamma$ . Grazie a questo valore aggiornato si valuta un nuovo modulo  $G$  così da ripetere la procedura fino a quando la differenza tra la deformazione aggiornata e quella ottenuta dalla precedente iterazione viene ritenuta accettabile. Il modello per  $G(\gamma)$  adoperato è quello suggerito da Ishibashi e Zhang (1993) che tiene conto degli effetti della pressione di confinamento e dell'indice di plasticità:

$$G = G_{max} \cdot K(\gamma, PI) (\sigma'_m)^{m(\gamma, PI) - m_0} \quad (24)$$

$$K(\gamma, PI) = 0.5 \left\{ 1 + \tanh \left[ \ln \left( \frac{0.000102 + n(PI)^{0.492}}{\gamma} \right) \right] \right\} \quad (25)$$

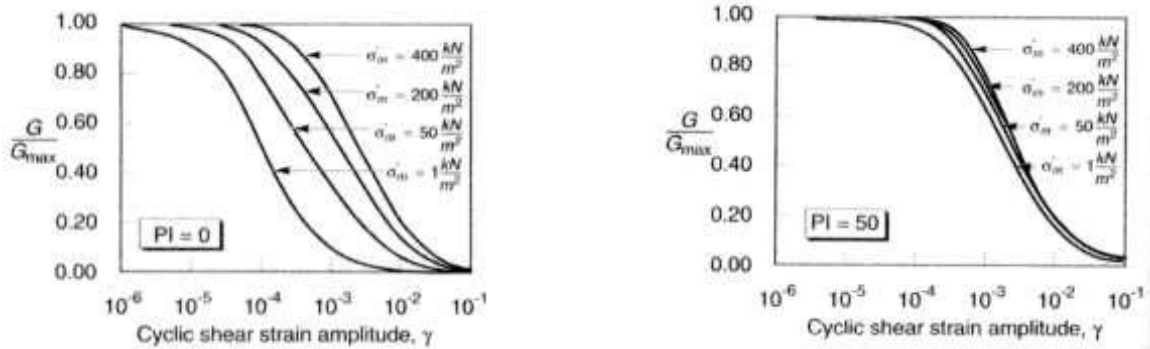
$$m(\gamma, PI) - m_0 = 0.272 \left\{ 1 - \tanh \left[ \ln \left( \frac{0.000556}{\gamma} \right)^{0.4} \right] \right\} \exp(-0.0145 PI^{1.3}) \quad (26)$$

$$n(PI) = \begin{cases} 0.0 & \text{per } PI = 0 \\ 3.37 \times 10^{-6} PI^{1.404} & \text{per } 0 < PI \leq 15 \\ 7.0 \times 10^{-7} PI^{1.976} & \text{per } 15 < PI \leq 70 \\ 2.7 \times 10^{-5} PI^{1.115} & \text{per } PI > 70 \end{cases} \quad (27)$$

dove  $G_{max}$  è dato dalla relazione

$$G_{max} = \rho V_s^2 \quad (28)$$

dove  $\rho$  è la densità del terreno e  $V_s$  la velocità di propagazione delle onde di taglio nello stesso. La (28) fornisce il valore iniziale di  $G$  per la prima iterazione.

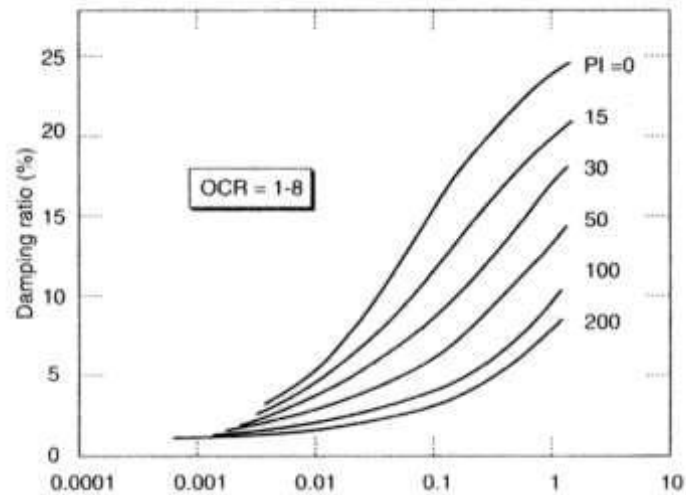


**Figura 2:** Influenza della pressione di confinamento e della plasticità sul modulo di deformazione al taglio.

Per quanto riguarda invece il coefficiente di smorzamento viscoso  $\xi$ , in conseguenza del modello introdotto dalla (24) si ha:

$$\xi = 0.333 \frac{1 + \exp(-0.0145 PI^{1.3})}{2} \left[ 0.586 \left( \frac{G}{G_{max}} \right)^2 - 1.547 \frac{G}{G_{max}} + 1 \right] \quad (29)$$

da cui si deduce che anche  $\xi$  deve essere ricalcolato ad ogni iterazione.



**Figura 3:** Influenza della plasticità sul coefficiente di smorzamento viscoso.

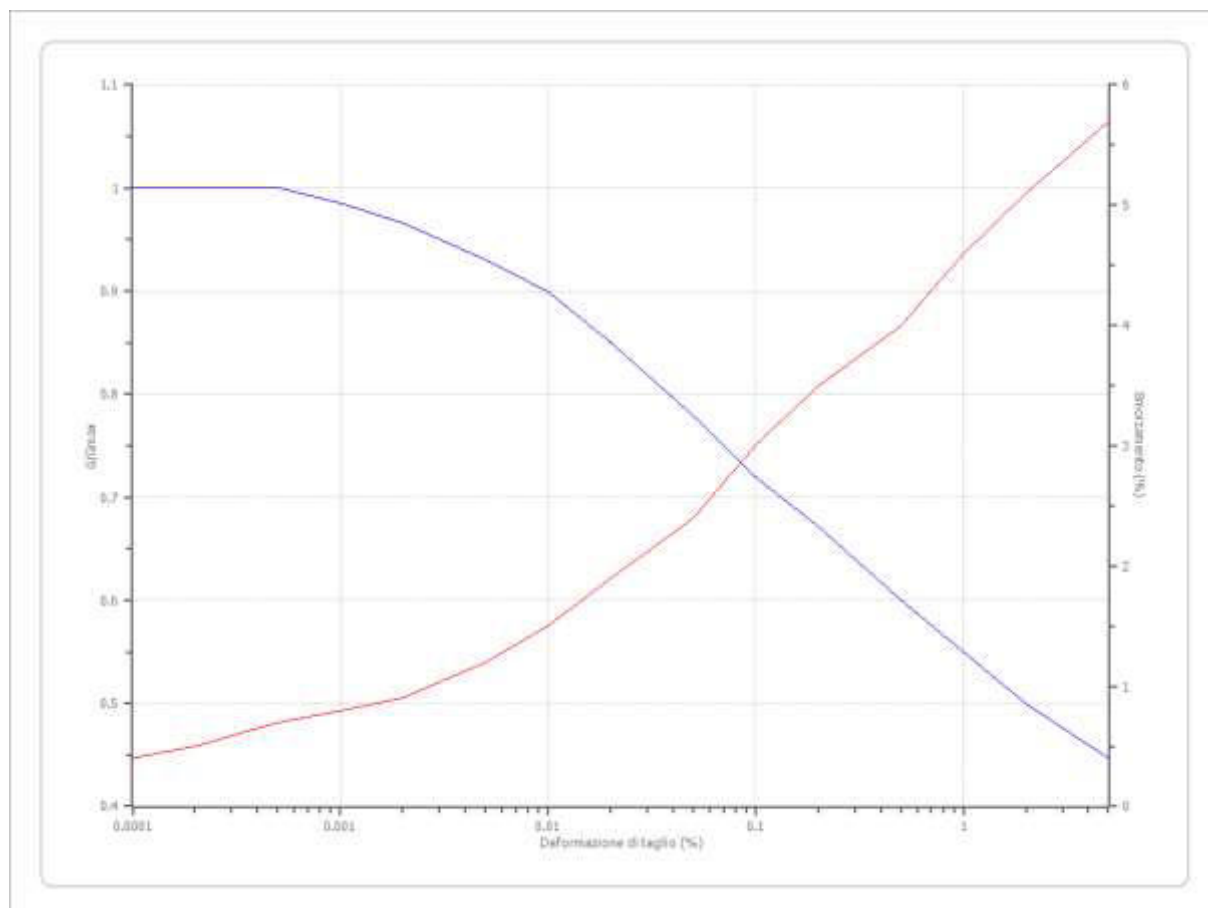
## Dati generali

Latitudine 44,3553963[°]  
 Longitudine 10,5069361[°]

## Terreni

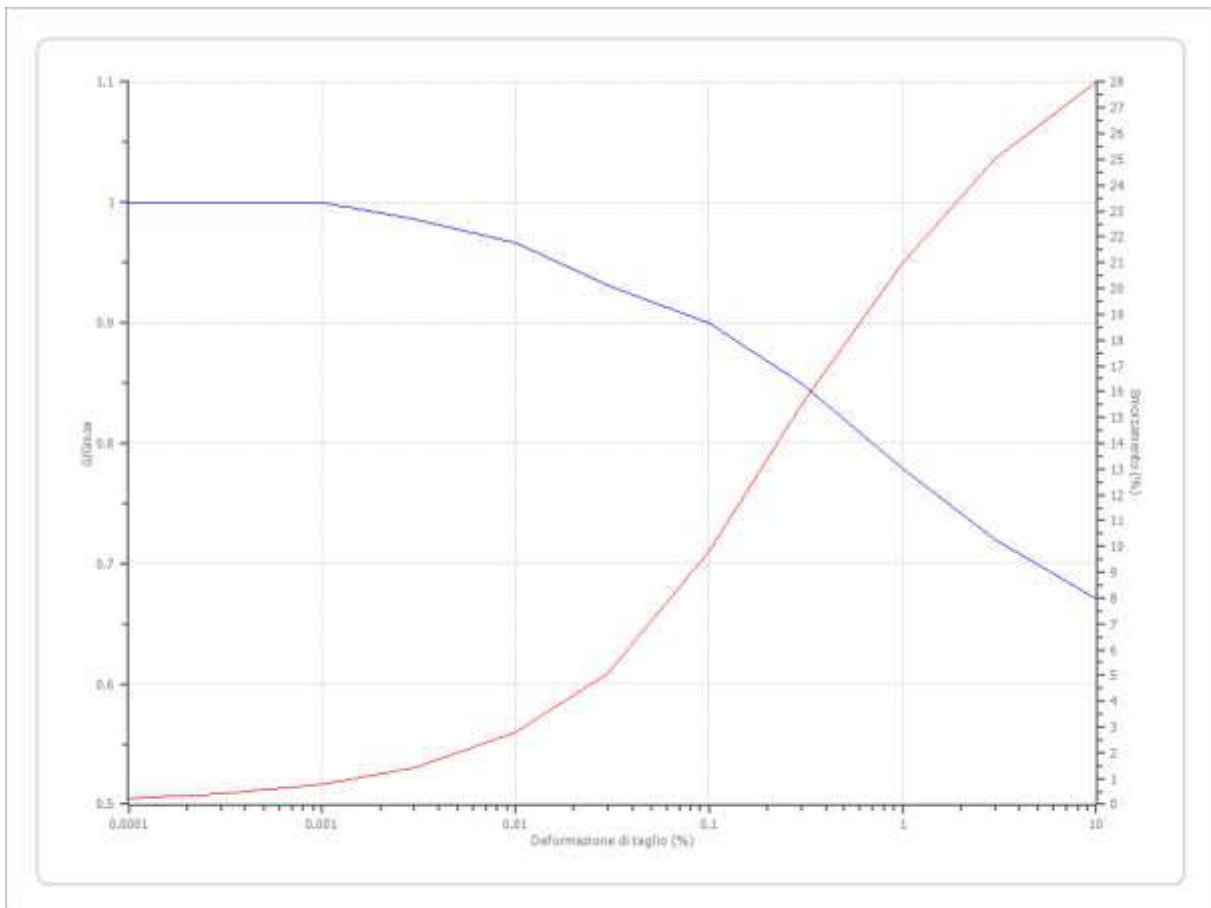
Idriss (1990) Rock

Deformazione %	G/Gmax	Deformazione %	Smorzamento %
0.0001	1.000	0.0001	0.400
0.0002	1.000	0.0002	0.500
0.0005	1.000	0.0005	0.700
0.001	0.986	0.001	0.800
0.002	0.966	0.002	0.900
0.005	0.931	0.005	1.200
0.010	0.900	0.010	1.500
0.020	0.850	0.020	1.900
0.050	0.779	0.050	2.400
0.100	0.720	0.100	3.000
0.200	0.671	0.200	3.500
0.500	0.600	0.500	4.000
1.000	0.550	1.000	4.600
2.000	0.500	2.000	5.100
5.000	0.447	5.000	5.700



Idriss (1990) Clay (Seed and Sun 1989)

Deformazione %	G/Gmax	Deformazione %	Smorzamento %
0.0001	1.000	0.0001	0.240
0.0003	1.000	0.0003	0.420
0.001	1.000	0.001	0.800
0.003	0.986	0.003	1.400
0.010	0.966	0.010	2.800
0.030	0.931	0.030	5.100
0.100	0.900	0.100	9.800
0.300	0.850	0.300	15.500
1.000	0.779	1.000	21.000
3.000	0.720	3.000	25.000
10.000	0.671	10.000	28.000



## Stratigrafia

n.	Profondità [m]	Spessore [m]	Terreno	Gmax [MPa]	Peso unità vol. [kN/m <sup>3</sup> ]	Vs [m/s]	Tensione verticale [kPa]
1	--	1.7	Idriss (1990) Clay (Seed and Sun 1989)	86.15	18.0	196.0	18.7
2	1.7	2.1	Idriss (1990) Clay (Seed and Sun 1989)	131.34	19.0	242.0	60.5
3	3.8	3.9	Idriss (1990) Clay (Seed and Sun 1989)	106.58	19.0	218.0	126.5
4	7.7	6.5	Idriss (1990) Rock	141.29	19.0	251.0	240.9
5	14.2	--	Smorzamento costante	454.13	22.0	727.0	312.4

Strato con falda: 4  
 Strato rilevamento accelerogramma: 5 Affiorante

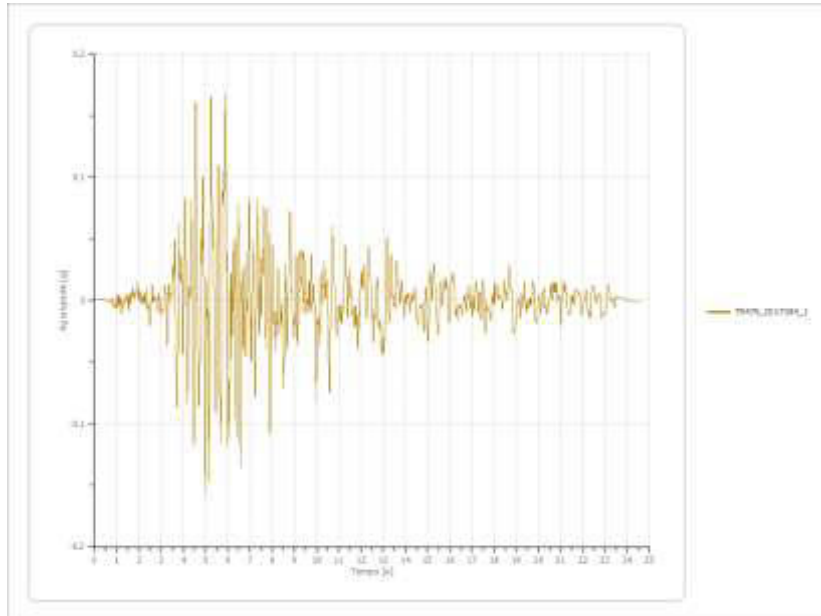
## Elaborazione

Numero di iterazioni 16  
 Rapporto tra deformazione a taglio effettiva e deformazione massima 0.5  
 Tipo di modulo elastico Shake



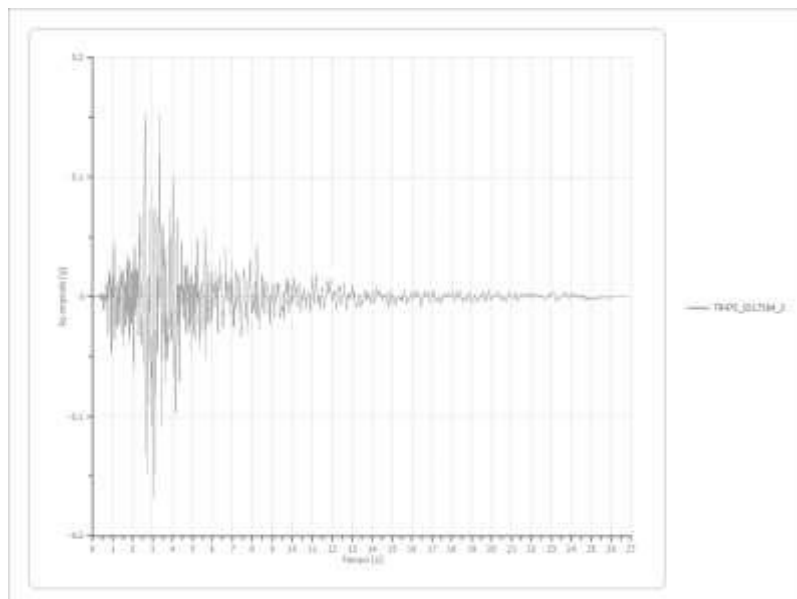
**File TR475\_ID17384\_1:  
Accelerogramma importato**

Nome del file	TR475_ID17384_1
Durata della traccia	24.595 [s]
Accelerazione massima	0.168 [g]
Periodo con accelerazione massima	5.880 [s]



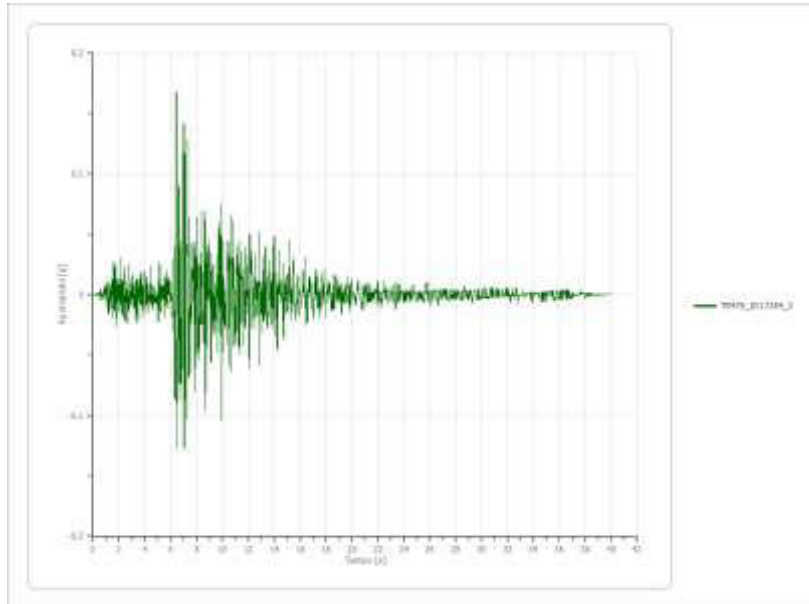
**File TR475\_ID17384\_2:  
Accelerogramma importato**

Nome del file	TR475_ID17384_2
Durata della traccia	26.845 [s]
Accelerazione massima	0.168 [g]
Periodo con accelerazione massima	3.070 [s]



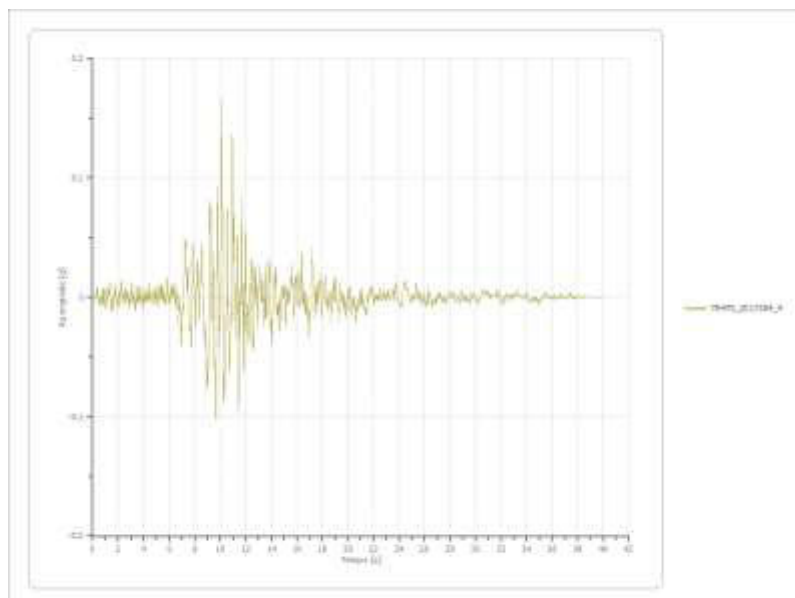
**File TR475\_ID17384\_3:  
Accelerogramma importato**

Nome del file	TR475_ID17384_3
Durata della traccia	40.010 [s]
Accelerazione massima	0.168 [g]
Periodo con accelerazione massima	6.440 [s]



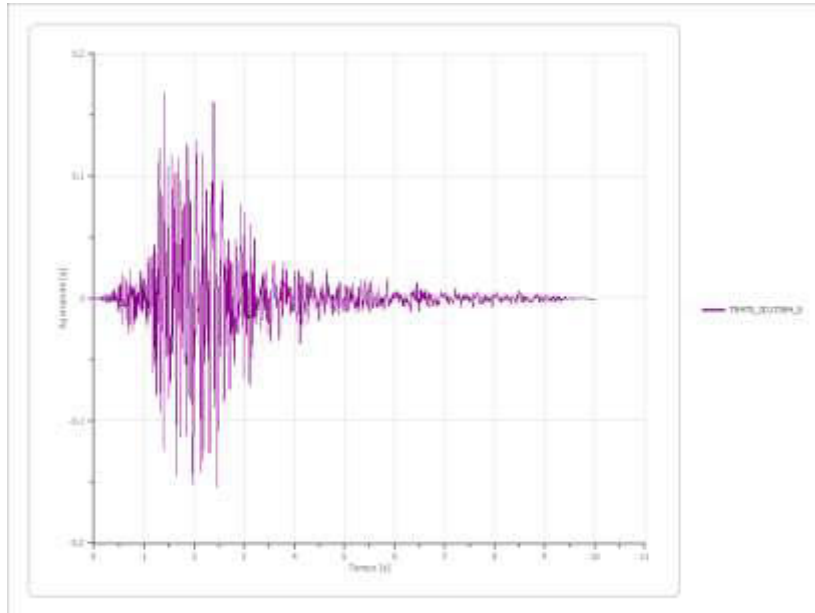
**File TR475\_ID17384\_4:  
Accelerogramma importato**

Nome del file	TR475_ID17384_4
Durata della traccia	40.010 [s]
Accelerazione massima	0.168 [g]
Periodo con accelerazione massima	10.125 [s]



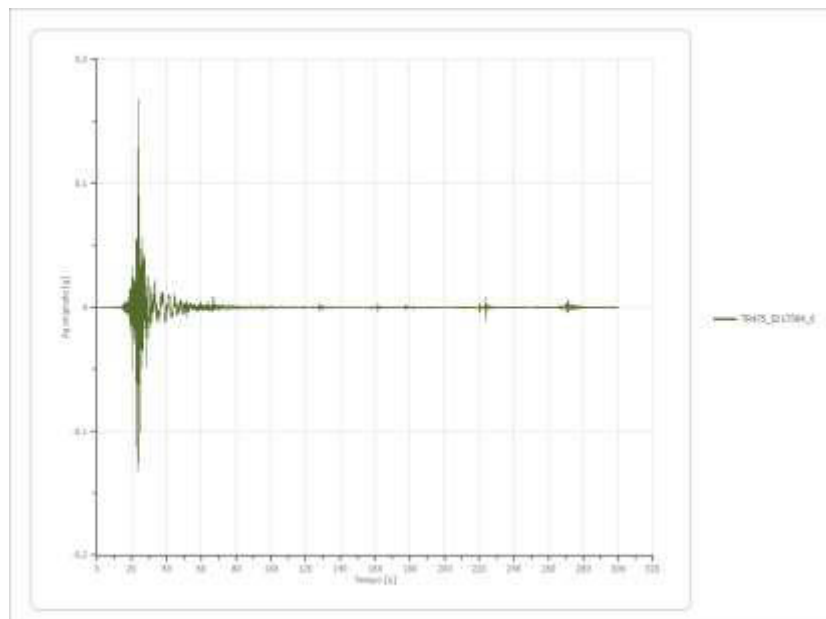
**File TR475\_ID17384\_5:  
Accelerogramma importato**

Nome del file	TR475_ID17384_5
Durata della traccia	10.015 [s]
Accelerazione massima	0.168 [g]
Periodo con accelerazione massima	1.405 [s]



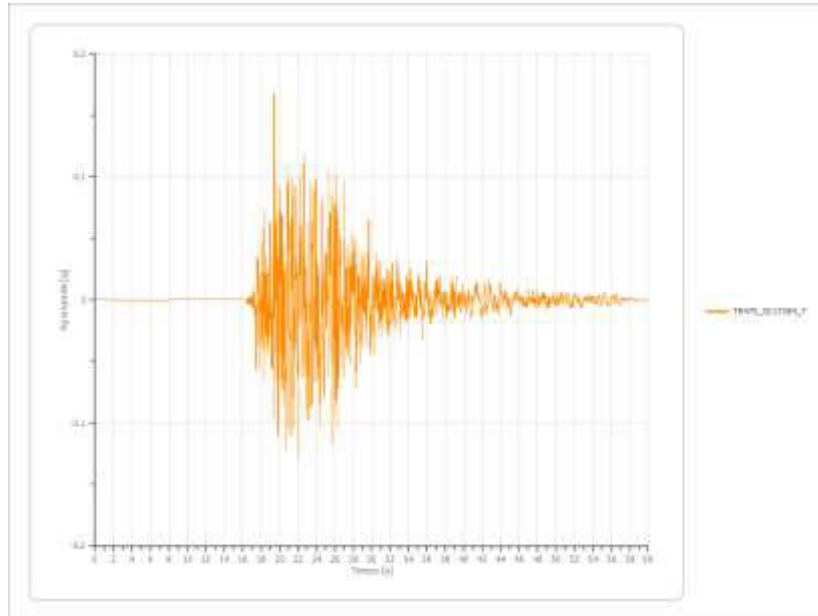
**File TR475\_ID17384\_6:  
Accelerogramma importato**

Nome del file	TR475_ID17384_6
Durata della traccia	300.015 [s]
Accelerazione massima	0.168 [g]
Periodo con accelerazione massima	23.835 [s]



**File TR475\_ID17384\_7:  
Accelerogramma importato**

Nome del file	TR475_ID17384_7
Durata della traccia	59.995 [s]
Accelerazione massima	0.168 [g]
Periodo con accelerazione massima	19.400 [s]

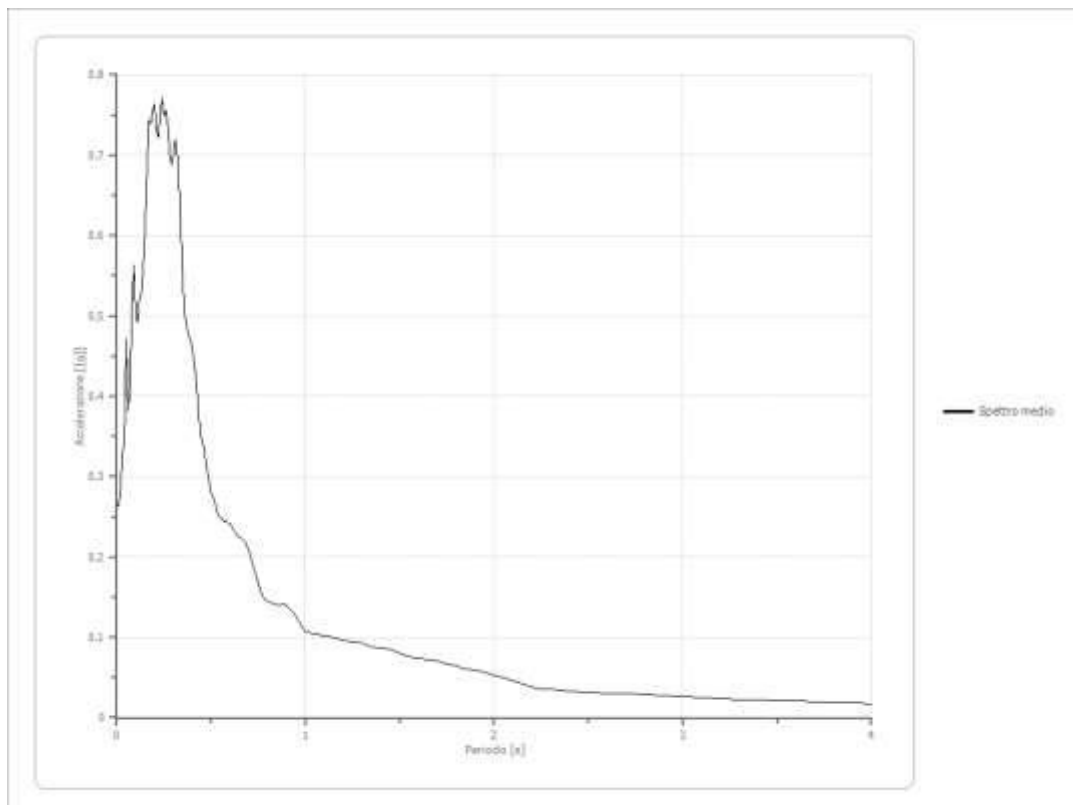


**Fattori di amplificazione ICMS 2018**

Tai	0.170 [s]
Tvi	0.700 [s]
Tao	0.240 [s]
Tvo	0.320 [s]
Sami	4.455 [m/s <sup>2</sup> ]
Svmi	0.202 [m/s]
Samo	6.715 [m/s <sup>2</sup> ]
Svmo	0.313 [m/s]
<b>Fa</b>	<b>1.507 [-]</b>
<b>Fv</b>	<b>1.553 [-]</b>
TB	0.098 [s]
TC	0.293 [s]
TD	2.463 [s]
SA(0)	0.216 [g]
SA(TB)	0.684 [g]

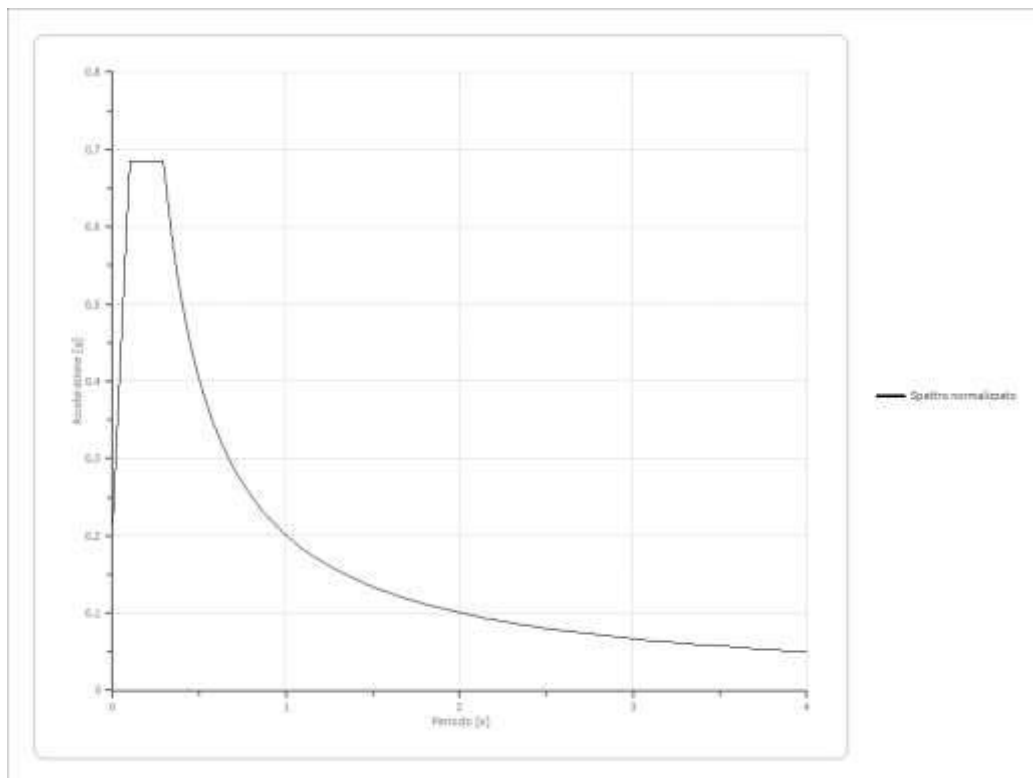
### Spettro medio di risposta elastico

Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]
0.00	0.2637	0.26	0.7550	0.52	0.2673	0.98	0.1142	2.25	0.0359
0.01	0.2637	0.27	0.7366	0.53	0.2585	1.00	0.1069	2.30	0.0348
0.02	0.2865	0.28	0.7015	0.54	0.2504	1.05	0.1036	2.35	0.0335
0.03	0.3303	0.29	0.6871	0.55	0.2489	1.10	0.1025	2.40	0.0329
0.04	0.3411	0.30	0.7024	0.56	0.2472	1.15	0.0998	2.50	0.0320
0.05	0.4708	0.31	0.7186	0.57	0.2434	1.20	0.0950	2.60	0.0306
0.06	0.3823	0.32	0.7003	0.58	0.2429	1.25	0.0943	2.70	0.0297
0.07	0.4096	0.33	0.6620	0.60	0.2403	1.30	0.0923	2.80	0.0287
0.08	0.5114	0.34	0.6072	0.62	0.2333	1.35	0.0884	2.90	0.0272
0.09	0.5631	0.35	0.5418	0.64	0.2248	1.40	0.0867	3.00	0.0261
0.10	0.5013	0.36	0.5017	0.66	0.2233	1.45	0.0846	3.10	0.0247
0.11	0.4924	0.37	0.4879	0.68	0.2188	1.50	0.0797	3.20	0.0232
0.12	0.5195	0.38	0.4754	0.70	0.2079	1.55	0.0753	3.30	0.0228
0.13	0.5278	0.39	0.4704	0.72	0.1917	1.60	0.0729	3.40	0.0223
0.14	0.5609	0.40	0.4609	0.74	0.1751	1.65	0.0720	3.50	0.0216
0.15	0.6097	0.41	0.4418	0.76	0.1585	1.70	0.0703	3.60	0.0207
0.16	0.6813	0.42	0.4201	0.78	0.1480	1.75	0.0673	3.70	0.0196
0.17	0.7436	0.43	0.3927	0.80	0.1445	1.80	0.0640	3.80	0.0187
0.18	0.7378	0.44	0.3605	0.82	0.1426	1.85	0.0608	3.90	0.0178
0.19	0.7552	0.45	0.3463	0.84	0.1408	1.90	0.0585	4.00	0.0170
0.20	0.7635	0.46	0.3380	0.86	0.1404	1.95	0.0560		
0.21	0.7305	0.47	0.3222	0.88	0.1418	2.00	0.0530		
0.22	0.7228	0.48	0.3067	0.90	0.1398	2.05	0.0493		
0.23	0.7507	0.49	0.2917	0.92	0.1354	2.10	0.0452		
0.24	0.7711	0.50	0.2795	0.94	0.1293	2.15	0.0414		
0.25	0.7486	0.51	0.2748	0.96	0.1215	2.20	0.0380		



### Spettro normalizzato di risposta elastico

Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]
0.00	0.2158	0.26	0.6845	0.52	0.3860	0.98	0.2048	2.25	0.0892
0.01	0.2637	0.27	0.6845	0.53	0.3787	1.00	0.2007	2.30	0.0873
0.02	0.3117	0.28	0.6845	0.54	0.3717	1.05	0.1912	2.35	0.0854
0.03	0.3596	0.29	0.6845	0.55	0.3650	1.10	0.1825	2.40	0.0836
0.04	0.4076	0.30	0.6691	0.56	0.3585	1.15	0.1746	2.50	0.0803
0.05	0.4555	0.31	0.6475	0.57	0.3522	1.20	0.1673	2.60	0.0772
0.06	0.5034	0.32	0.6273	0.58	0.3461	1.25	0.1606	2.70	0.0743
0.07	0.5514	0.33	0.6083	0.60	0.3346	1.30	0.1544	2.80	0.0717
0.08	0.5993	0.34	0.5904	0.62	0.3238	1.35	0.1487	2.90	0.0692
0.09	0.6473	0.35	0.5735	0.64	0.3136	1.40	0.1434	3.00	0.0669
0.10	0.6845	0.36	0.5576	0.66	0.3041	1.45	0.1384	3.10	0.0648
0.11	0.6845	0.37	0.5425	0.68	0.2952	1.50	0.1338	3.20	0.0627
0.12	0.6845	0.38	0.5282	0.70	0.2868	1.55	0.1295	3.30	0.0608
0.13	0.6845	0.39	0.5147	0.72	0.2788	1.60	0.1255	3.40	0.0590
0.14	0.6845	0.40	0.5018	0.74	0.2713	1.65	0.1217	3.50	0.0574
0.15	0.6845	0.41	0.4896	0.76	0.2641	1.70	0.1181	3.60	0.0558
0.16	0.6845	0.42	0.4779	0.78	0.2574	1.75	0.1147	3.70	0.0543
0.17	0.6845	0.43	0.4668	0.80	0.2509	1.80	0.1115	3.80	0.0528
0.18	0.6845	0.44	0.4562	0.82	0.2448	1.85	0.1085	3.90	0.0515
0.19	0.6845	0.45	0.4461	0.84	0.2390	1.90	0.1056	4.00	0.0502
0.20	0.6845	0.46	0.4364	0.86	0.2334	1.95	0.1029		
0.21	0.6845	0.47	0.4271	0.88	0.2281	2.00	0.1004		
0.22	0.6845	0.48	0.4182	0.90	0.2230	2.05	0.0979		
0.23	0.6845	0.49	0.4097	0.92	0.2182	2.10	0.0956		
0.24	0.6845	0.50	0.4015	0.94	0.2135	2.15	0.0934		
0.25	0.6845	0.51	0.3936	0.96	0.2091	2.20	0.0912		

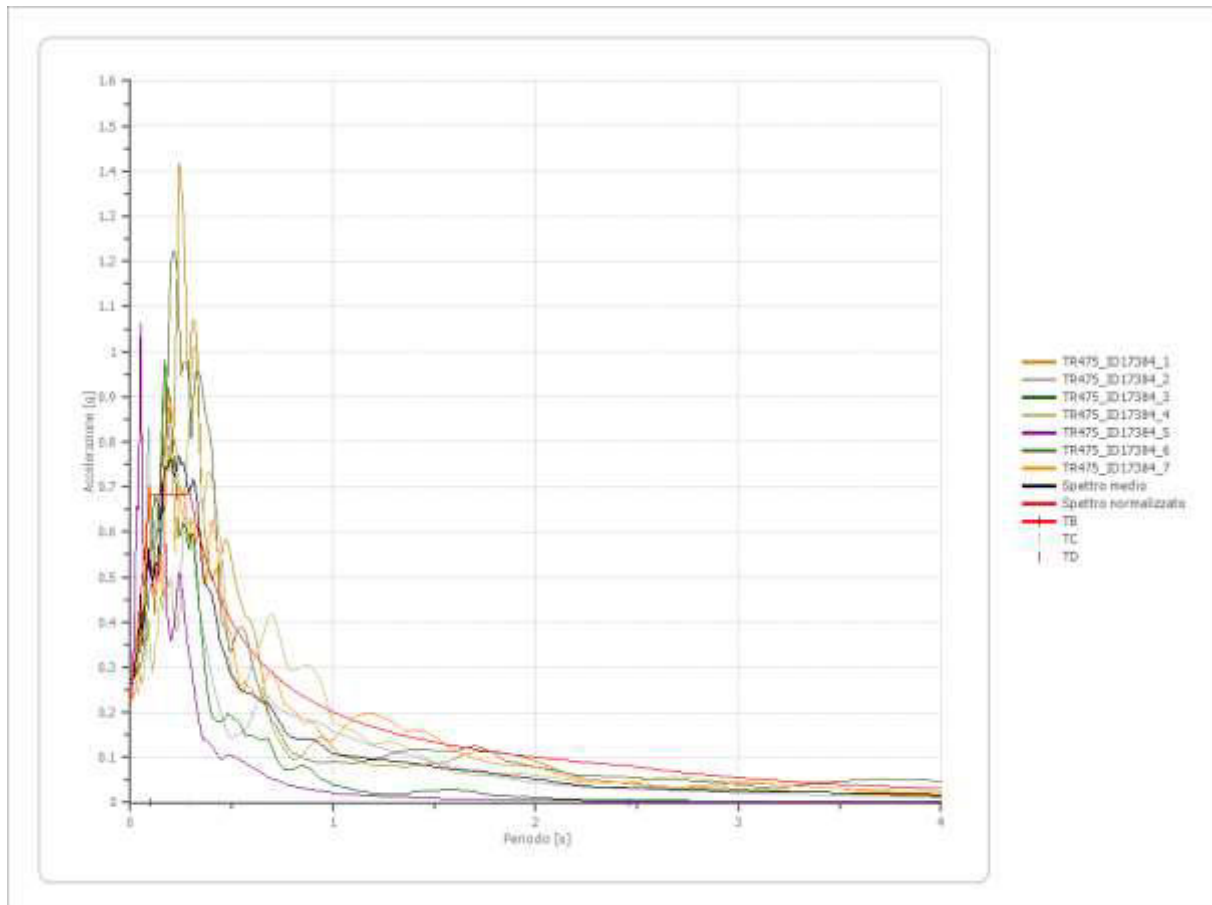




### Parametri spettro normalizzato

Ag [g]	F0	Tc*	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [g]	Se(TB) [g]	S
0.216	3.171828	--	0.098	0.293	2.463	0.216	0.684	1.142

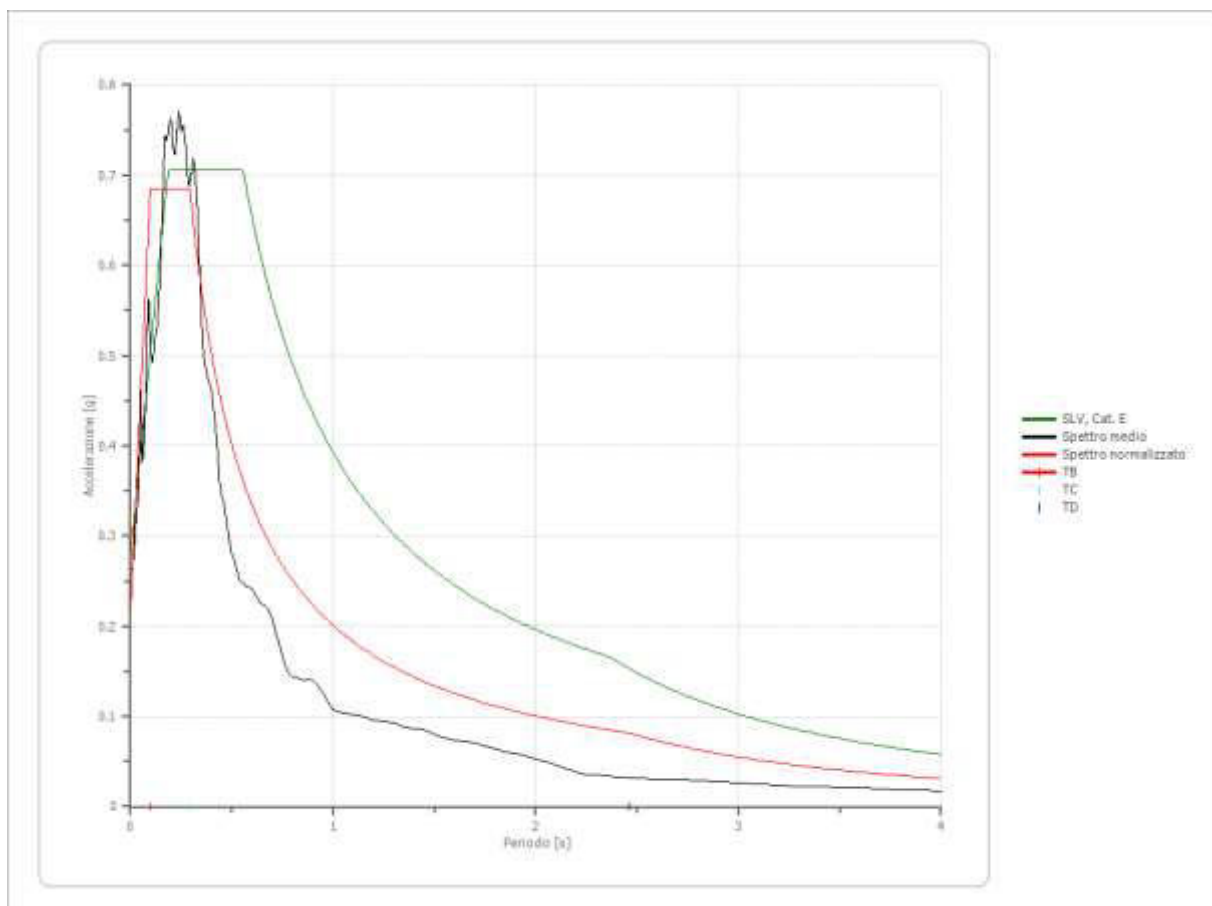
### Confronto tra gli spettri



## Confronto spettro normativa

Tipo di spettro: Spettro di risposta elastico

	Operatività SLO	Danno SLD	Salvaguardia vita SLV	Prev. collasso SLC
Tr [anni]	45	75	712	1462
ag [g]	0.070	0.086	0.189	0.234
Fo	2.468	2.47	2.532	2.561
Tc* [s]	0.257	0.267	0.298	0.31
Ss	1.60	1.60	1.47	1.34
St	1.00	1.00	1.00	1.00
Cc	1.98	1.95	1.87	1.84
TB [s]	0.170	0.174	0.185	0.190
TC [s]	0.509	0.521	0.556	0.570
TD [s]	1.880	1.944	2.356	2.536
Se(0) [g]	0.112	0.138	0.279	0.314
Se(TB) [g]	0.277	0.340	0.705	0.804



### Profilo a max

	0.0 [m]	1.7 [m]	3.8 [m]	7.7 [m]	14.2 [m]
TR475 ID17384 1 [g]	0.278	0.263	0.237	0.200	0.189
TR475 ID17384 2 [g]	0.259	0.238	0.216	0.188	0.189
TR475 ID17384 3 [g]	0.275	0.258	0.218	0.130	0.189
TR475 ID17384 4 [g]	0.242	0.234	0.218	0.179	0.189
TR475 ID17384 5 [g]	0.272	0.209	0.176	0.149	0.189
TR475 ID17384 6 [g]	0.290	0.284	0.273	0.216	0.189
TR475 ID17384 7 [g]	0.231	0.215	0.176	0.179	0.189
media [g]	0.264	0.243	0.216	0.177	0.189
Dev. St. [g]	0.021	0.027	0.034	0.029	0.000

