

BIONDI DINO

**INDAGINE GEOLOGICA SUI TERRENI DI
FONDAZIONE DELL'EDIFICIO LESIONATO DAL
SISMA DELL'AGOSTO-OTTOBRE 2016**

Sito in Via Conce, 7

Comune di Caldarola (MC)

RELAZIONE GEOLOGICA E SISMICA

LUGLIO 2021

Mariano Tesei



Dr. Tesei Mariano - Geologo
st. Soccorso n° 59a - SENIGALLIA (AN)
tel. 071-948958 cel. 328.3920833
posta elettronica - mtese@libero.it

1	PREMESSA	2
1.1	Piano di lavoro:	3
2	L'EDIFICIO E IL QUADRO FESSURATIVO: ASPETTI GEOLOGICI	4
3	INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO - DESCRIZIONE DEI LUOGHI:	5
4	STRATIGRAFIA:	7
5	PARAMETRI GEOMECCANICI CARATTERISTICI DEI LITOTIPI	8
6	CRITERI DI INTERVENTO:	9
7	RELAZIONE SISMICA	9
7.1	Microzonazione sismica comunale	9
7.2	V _{Seq} – CATEGORIA DI SOTTOSUOLO, DM 17/01/2018	12
7.2.1	ACQUISIZIONE	13
7.2.2	PROVA PASSIVA - HVSr	13
7.2.3	PROVA ATTIVA ANALISI DELLE ONDE DI RAYLEIGH	15
7.2.4	Risultati	16
7.3	PERICOLOSITA' SISMICA DI BASE - RISPOSTA SISMICA LOCALE (D.M. 17/01/2018)	17
7.4	Confronto tra spettro derivante dalla MS comunale e spettro derivante dalla normativa (NTC 2018):	21
8	RISPOSTA SISMICA LOCALE MEDIANTE MODELLAZIONE NUMERICA 1D	22
8.1	Le coperture – caratterizzazione sismica	23
8.2	<i>Il bed rock - Definizione dell'azione sismica</i>	23
8.3	<i>Procedura di analisi</i>	26
9	ANALISI VIBRAZIONALE DELL'EDIFICIO:	30
10	PROGETTAZIONE GEOTECNICA – D.M. 17/01/2018:	32
10.1	Vita nominale – classi d'uso – periodo di riferimento:	32
10.2	Progettazione geotecnica:	32
10.3	Portata indicativa dei pali:	32
11	CRITERI DI INTERVENTO - CONCLUSIONI:	34

Allegati

- Corografia scala 1:10000
- Planimetria ubicazione indagini scala 1:250
- Sezioni geologiche scala 1:200
- Indagini geognostiche
- Coordinate dello spettro di risposta da RSL

BIONDI DINO

**INDAGINE GEOLOGICA SUI TERRENI DI FONDAZIONE
DELL'EDIFICIO LESIONATO DAL SISMA DELL'AGOSTO-OTTOBRE 2016**

**Sito in via Conce, 7
Comune di Caldarola (MC)**

RELAZIONE GEOLOGICA E SISMICA

1 PREMESSA

Su incarico dei Sig. Biondi, comproprietario dell'immobile e delegato dagli altri proprietari, abbiamo esaminato dal punto di vista tecnico-geologico e sismico l'area su cui insiste l'edificio sito in via Conce 7, nel comune di Caldarola.

L'indagine è stata effettuata tenendo conto di dati geognostici di dettaglio relativi al sito in esame e ricavati mediante campagne di indagini geognostiche e geofisiche realizzata nell'Agosto 2018. L'insieme delle indagini risultano sufficienti a definire i modelli geologico, geotecnico e sismico del sito anche in funzione della normativa sismica di cui al D.M. 17/01/2018.

Scopo dello studio è stato quello di definire:

- *IL MODELLO GEOLOGICO*, ovvero le condizioni geologiche del sito e la successione stratigrafica;
- *IL MODELLO GEOTECNICO*, ovvero le proprietà meccaniche dei terreni interessati dagli interventi progettuali ed i parametri geotecnici caratteristici necessari alla scelta della tipologia e al dimensionamento delle opere fondali
- *IL MODELLO SISMICO*, ovvero le proprietà geofisiche dei terreni su cui grava l'edificio in progetto
- *LA CARATTERIZZAZIONE DELL'OPERA*, ovvero i criteri d'intervento per la realizzazione dell'opera e i criteri di sistemazione idrogeologica del sito.

Normativa di riferimento relazione geologica-geotecnica e sismica

- **D.M. 17/01/2018:** Testo Unitario – Norme Tecniche per le Costruzioni - Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici
- **Circolare n. 7 del 21 gennaio 2019. Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici:** Istruzioni per l'applicazione dell'aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. 17/01/2018.
- **Ordinanze** Commissario per la ricostruzione nei territori interessati dal sisma del 24 agosto 2016
- **All. al voto n. 36 del 27/07/2007.** Pericolosità sismica e criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale. Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici.
- **Eurocodice 8 (1998)** Indicazioni progettuali per la resistenza fisica delle strutture - Parte 5: fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici (stesura finale 2003)
- **Eurocodice 7.1 (1997)** Progettazione geotecnica – Parte I: Regole Generali – UNI
- **Eurocodice 7.2 (2002)** Progettazione geotecnica: Parte II: Progettazione assistita da prove di laboratorio (2002). UNI
- **Eurocodice 7.3 (2002)** Progettazione geotecnica: Parte II: progettazione assistita con prove in sito (2002). UNI
- **Leggi regionali** in materia di pianificazione e di vincolo idrogeologico
- **Ordinanze** Autorità di Bacino Nazionale, regionale o interregionale.
- **D.M. 11/03/1998:** 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.

1.1 Piano di lavoro:

L'indagine ha comportato le seguenti operazioni ed elaborazioni:

- a. Sopralluogo tecnico con accertamento del quadro fessurativo che ha interessato l'edificio e raccolta informazioni sulle caratteristiche costruttive dello stesso;
- b. acquisizione di dati bibliografici sulle caratteristiche geologiche dell'area relative a studi geotematici territoriali a piccola scala: Microzonazione Comunale, progetto CARG, Piano di Assetto Idrogeologico (PAI);
- c. esecuzione di n. 1 sondaggio penetrometrico dinamico al fine di valutare in continuo la resistenza meccanica dei terreni di fondazione;
- d. esecuzione di n. 1 sondaggio stratigrafico a carotaggio continuo
- e. esecuzione di prove sismiche attiva e passiva finalizzate a definire la Risposta Sismica Locale del sito in esame
- f. esecuzione di analisi vibrazionali sull'edificio al fine di definire la frequenza di oscillazione fondamentale dello stesso
- g. correlazione dei dati stratigrafici, geotecnici, idrologici e ricostruzione della successione stratigrafica;
- h. ricostruzione di n. 1 sezione con riportata la successione geologica ed il rapporto tra edificio e la stratigrafia rilevata
- i. correlazione dei dati emersi dall'indagine – criteri di intervento - relazione finale.



Esecuzione sondaggio stratigrafico a c.c.



Esecuzione prospezione sismica

L'ubicazione planimetrica dei sondaggi, i rapporti delle prove eseguite, e la sezione geologica esplicativa sono allegati in calce alla presente relazione.

2 L'EDIFICIO E IL QUADRO FESSURATIVO: aspetti geologici

L'edificio in esame, interessato dai dissesti a seguito della crisi sismica dell'Agosto-Ottobre 2016, è costituito da una struttura principale di quattro piani di cui uno seminterrato.

L'edificio presenta lesioni diffuse ed evidenti, con i fenomeni maggiori che hanno interessato il prospetto nord dove sono visibili le tipiche fratture da scuotimento sismico a "croce di Sant'Andra". Il Quadro fessurativo non sembra essere correlabile con fenomeni di instabilità geologica conseguente all'input sismico, ma è essenzialmente dovuto alla risposta strutturale dell'edificio in relazione all'amplificazione sismica dovuta alle caratteristiche sismo-stratigrafiche del sito specifico



La Figura 1: prospetti est e nord dell'edificio in esame.

La maggiore presenza di lesioni nelle murature con orientamento E-W (prospetto nord) è compatibile con l'analisi vibrazionale dell'edificio (vedi capitolo 9) da cui emerge una maggiore intensità della risposta proprio in tale direzione.

3 INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO - DESCRIZIONE DEI LUOGHI:

L'area in esame si trova nel centro storico del comune di Caldarola in una zona di terrazzo alluvionale o più precisamente di conoide. L'edificio è collocato in particolare nella scarpata di terrazzo che costituisce il raccordo tra la superficie subpianeggiante di conoide a Ovest e l'alveo del Rio Vestignano (F.sso delle Conce) a Est. La scarpata presenta una pendenza media di circa 13° - 14° ed una potenza locale di circa 4m – 5m. La potenza complessiva del versante su cui si adagia la conoide alluvionale menzionata presenta a sua volta una potenza complessiva di circa 50 m ed una pendenza media di circa 13° .

La morfologia locale appare come il risultato della diamica fluviale dal pleistocene all'attuale. In particolare l'edificio in esame occupa la parte bassa e periferica del ventaglio di depositi alluvionali (conoide) che si è formata per lo scarico laterale al fosso delle Conce proveniente dal piccolo bacino compreso tra colle Bozzolone e la loc. Fornace.

La formazione geologica in posto (Gessoso-Solfifera vedi Figura 2 – “GES”), risalente al Messiniano, è costituita dall'alternanza di gessareniti, argille scure, arenarie e sabbie (queste ultime da attribuirsi più specificatamente al

membro preevaporitico della Formazione della Laga, comunque messiniana). Essa si trova nell'area di sedime dell'edificio in esame ad una profondità superiore a 15 m. Al di sopra della formazione Messiniana si trovano depositi di origine alluvionale, costituiti da alternanza di ghiaie e sabbie, ghiaie ciottolose, limi argillosi e limi-sabbiosi.

Localmente i depositi marini e continentali indicati sono sovrastati da uno spessore limitato di terreni di riporto legati all'attività antropica di urbanizzazione del sito.

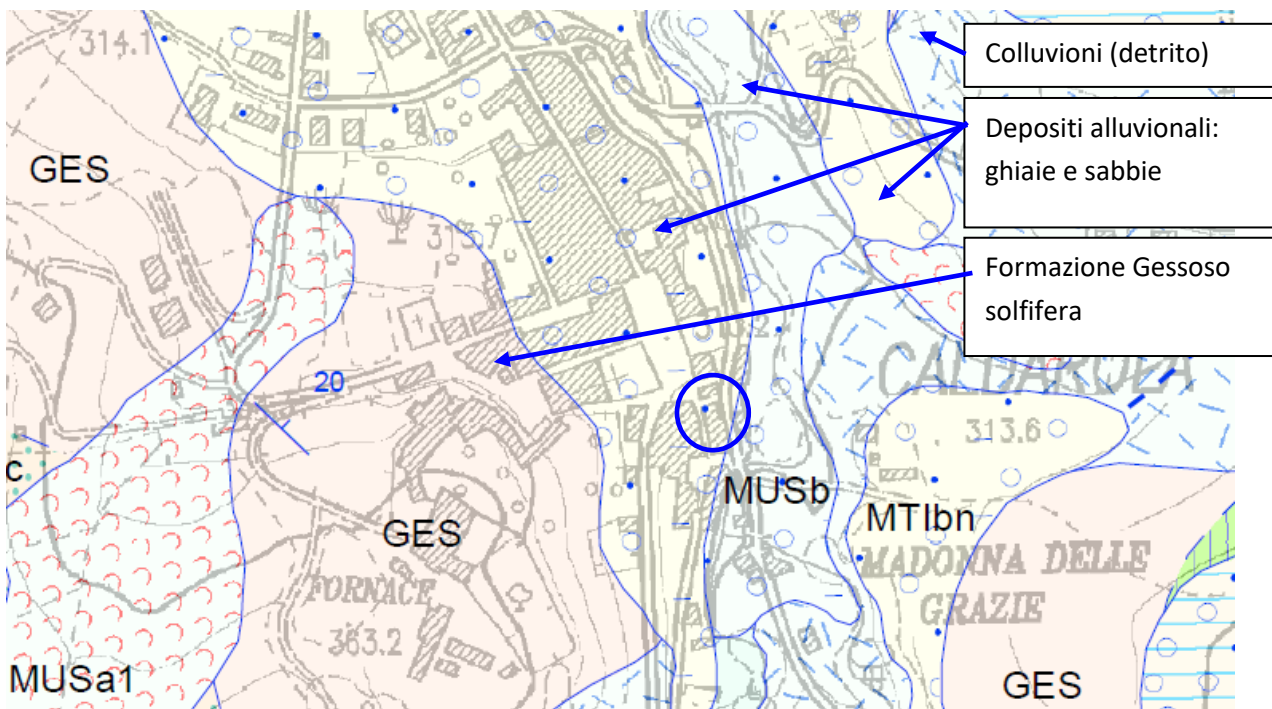


Figura 2: stralcio della carta geologica regionale. L'area in esame (circolo azzurro) ricade nei depositi continentali alluvionali terrazzati del Rio Vestignano.

La formazione messiniana in posto si presenta con giacitura degli strati immergente a NE di circa 20°.

Dal punto di vista geomorfologico non si segnalano dissesti legati a fenomeni gravitativi come confermato anche dal PAI (vedi stralcio cartografico di Figura 3) che non segnala alcunché nell'area in esame e nelle zone ad essa limitrofe.

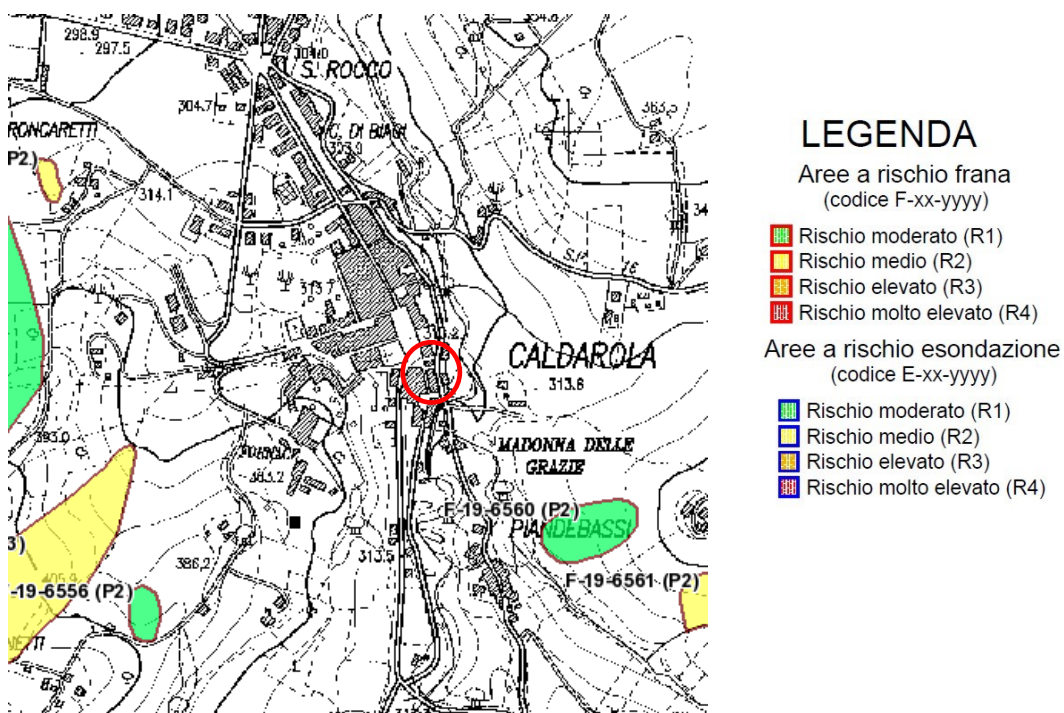


Figura 3: stralcio cartografico del PAI. L'area in esame è indicata con circolo rosso

4 STRATIGRAFIA:

In funzione delle indagini geognostiche effettuate, è stata ricostruita **la successione stratigrafica** a partire dal piano campagna (p.c.) locale in corrispondenza del sondaggio S1. In particolare dall'alto al basso la stratigrafia locale può essere così schematizzata:

<i>sigla</i>	<i>Tetto del litotipo (dal p.c.) da</i>	<i>Letto del litotipo (dal p.c.) a</i>	<i>Descrizione litologica</i>
-	0,0 m	-1,5 m	Terreno di riporto eterogeneo. Bitume e stabilizzato per la formazione della strada, ciottoli, inerti e laterizi in matrice limosa.
Al	-1,5 m	-3,5m	Depositi alluvionali <u>prevalentemente limosi</u> : alternanza di limi argillosi, limi sabbiosi, ghiaie in matrice limosa
Ag	-3,5m	-fine indagine (15 m)	Depositi alluvionali <u>prevalentemente ghiaiosi</u> : ghiaie e sabbie, ghiaie ciottolose, ghiaie in matrice limo sabbiosa con livelli limo-sabbiosi e limo-argillosi in subordine

Tabella 1 - schema stratigrafico dell'area in esame

Il modello stratigrafico descritto è stato rappresentato graficamente nelle sezioni geologiche allegate alla presente relazione e indicato nella

Figura 4 seguente.

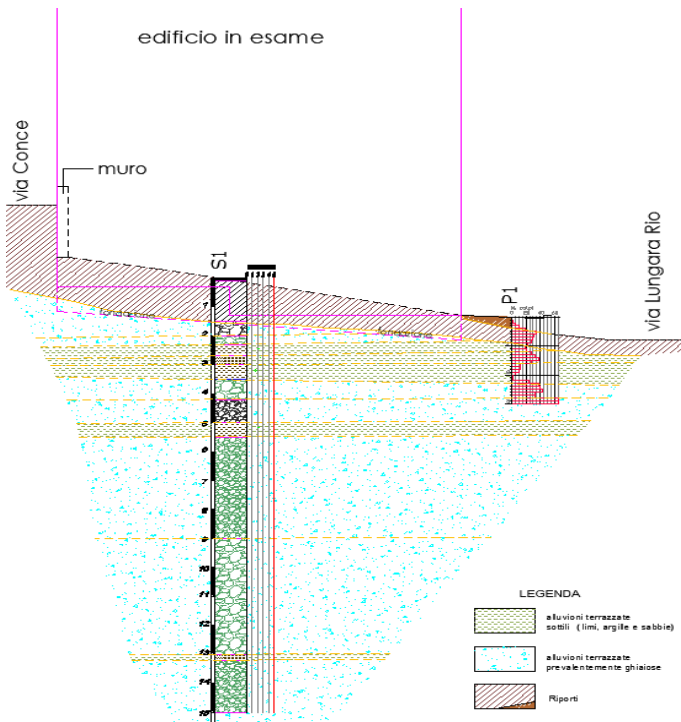


Figura 4: modello stratigrafico del sottosuolo

Al momento dell'indagine non si sono rilevate infiltrazioni idriche. I terreni alluvionali attraversati sono dotati di permeabilità variabile in funzione della granulometria. L'assenza di livelli piezometrici nei terreni ghiaiosi permeabili attraversati con il sondaggio S1 fino alla profondità di 15 m dal p.c. sta ad indicare il completo drenaggio degli stessi ad opera del fosso delle Conce che risulta localmente inciso.

5 PARAMETRI GEOMECCANICI CARATTERISTICI DEI LITOTIPI

Di seguito (Tabella 2) sono indicati i parametri che caratterizzano le proprietà fisico-meccaniche dei terreni indagati, dedotti, mediante una stima ragionata e cautelativa, dai dati penetrometrici e da correlazioni bibliografiche con parametri derivati da prove di laboratorio condotte su campioni di terreno simili a quelli presenti in sito.

La distinzione stratigrafica è riportata nella Tabella 1 (paragrafo 4):

litologia	Peso di volume g (gr/cmc)	Angolo di attrito f (gradi)	Coesione C (kg/cm ²)	Coesione non drenata Cu (t/m ²)	Modulo edometrico Ed (kg/cm ²)
riporto	-	-	-	-	-
Al	1.90 - 1.95	20-24	0,05	4-19	38-115
Ag	2.00 - 2.05	32-35	0,00	-	228-282

Tabella 2 - caratteristiche geomeccaniche dei litotipi presenti nell'area di interesse progettuale

6 CRITERI DI INTERVENTO:

L'edificio è costituito da un corpo di fabbrica principale con pianta quadrata di circa 11mx11m. Esso si presenta in continuità verso sud con un altro edificio di altezza e dimensioni planimetriche differenti. L'edificio in esame è collocato su di una superficie con pendenza di circa 14° in cui il piano di fondazione, adattandosi al pendio, è posto a quote variabili da circa -3,6 m (lato via Conce) a circa -0,9 m (lato via Lungara Rio).

Le indagini geologiche effettuate hanno evidenziato la presenza di terreni di riporto per circa 0,4 m – 1,5 m. In funzione dell'ubicazione delle indagini è evidente che tali depositi non costituiscano il terreno di fondazione ma piuttosto siano il risultato di riempimenti delle aree limitrofe esterne al fabbricato in esame.

I terreni di fondazione dell'edificio devono pertanto essere riferiti ai depositi alluvionali reperiti immediatamente al di sotto dei riporti menzionati. Si tratta di depositi alternati ghiaiosi e limosi con prevalenza di questi ultimi fino alla profondità di circa 2,2-2,3 m dal piano campagna in corrispondenza del prospetto di valle dell'edificio (via Lungara Rio). Nelle tabelle 1 e 2 tali terreni sono stati denominati con la sigla "Al".

Le porzioni limose di tali terreni (preponderanti nell'unità litotecnica denominata "Al") presentano caratteristiche meccaniche medio basse ed in generale tutta l'unità "Al", che costituisce lo strato di fondazione, ha caratteristiche e comportamento geotecnico disuniforme entro il piano fondale dell'edificio.

Benché il quadro fessurativo dell'edificio non sembra denunciare l'occorrenza di fenomeni di cedimento differenziale a carico dei terreni di fondazione, è opportuno nel caso di demolizione e ricostruzione dello stesso operare mediante la realizzazione di una nuova fondazione profonda che vada a raggiungere ed incastrarsi nei terreni prettamente ghiaiosi rinvenuti alle quote di circa -6 m dal piano di via Conce a -2,5 m da piano di via Lungara Rio.

In definitiva pertanto è possibile esprimere dal punto di vista geologico-tecnico un giudizio positivo sulla fattibilità degli interventi in progetto con la necessità di realizzare fondazioni profonde tipo pali.

La demolizione dell'edificio esistente produrrà come conseguenza quella di dover proteggere la parete verticale che si genera lato via Conce. Questo potrà essere effettuato oltre che con un'opera rigida preventiva alla demolizione, anche mediante opere provvisoriale puntellando o tirantando adeguatamente il muro controterra esistente.

7 RELAZIONE SISMICA

7.1 Microzonazione sismica comunale

Il Comune di Caldarola è provvisto dello studio di Microzonazione Sismica di livello III. Tale studio, realizzato essenzialmente per coadiuvare e indirizzare le scelte di pianificazione urbanistica, fornisce anche degli indirizzi utili alla progettazione dei singoli interventi edificatori. In particolare l'ordinanza 55 del Commissario Straordinario per la Ricostruzione, indica la necessità di verificare in sede di progettazione, la

coerenza della risposta sismica locale semplificata, effettuata secondo la normativa tecnica di cui al D.M. 17/01/2018, con le conclusioni dello studio di microzonazione sismica ricordato.

L'area in esame essendo inserita nel capoluogo comunale è stata sottoposta allo studio di MS di I e III livello con definizione delle cosiddette MOPS, ovvero microzone omogenee in prospettiva sismica (I livello) a cui sono successivamente stati attribuiti elementi che ne quantificano la risposta sismica locale (III liv.).

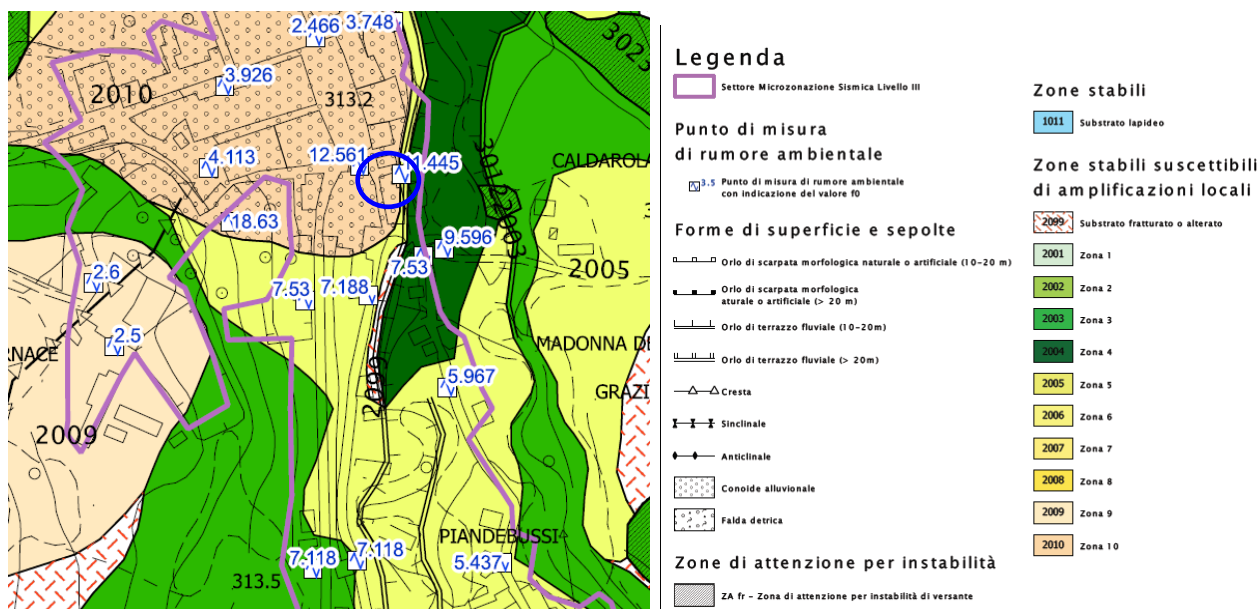
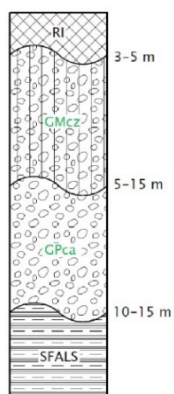


Figura 5: Microzonazione sismica del comune di Caldarola. Carta delle Mops (Microzone omogenee in prospettiva sismica). L'area in esame, indicata con circolo blu, è inserita nella MOPS 2010. In viola il perimetro di microzonazione di livello III.

La classificazione indicata in Figura 5 evidenzia che l'area oggetto di studio è posta sismicamente in una



zona con substrato geologico sottostante una copertura alluvionale, ovvero in un'area sismicamente stabile suscettibile di amplificazione sismica locale in funzione delle caratteristiche sismo-stratigrafiche del sottosuolo. In particolare la MOPS di appartenenza è definita come **zona 10 (2010)**:

A lato è indicata la colonna stratigrafica rappresentativa della microzona 2010. Il substrato geologico non rigido costituito da alternanza di litotipi diversi e alterato (SFALS) è sormontato da spessori variabili da circa 20 a circa 35 m di depositi alluvionali prevalentemente ghiaiosi.

Le indagini specifiche effettuate sono coerenti con tale modello, evidenziando la presenza di almeno 15-19 m di depositi alluvionali al di sopra della formazione geologica. Tali depositi sono in prevalenza grossolani benché nella porzione superficiale, entro i primi 2,2m -3,5 m sino costituiti prevalentemente da limi.

L'indagine geofisica specifica effettuata in sito conferma la presenza di un substrato geologico non rigido ovvero caratterizzato da velocità di propagazione delle onde S inferiore a 800 m/s (vedi paragrafi successivi). Il substrato geologico è rinvenibile a profondità di circa 19 m, conformemente a quanto indicato nella microzona 2010.

Lo studio di **MS di III livello**, individua per la microzona 2010 gli spettri di risposta in pseudo-accelerazione sottoindicati:

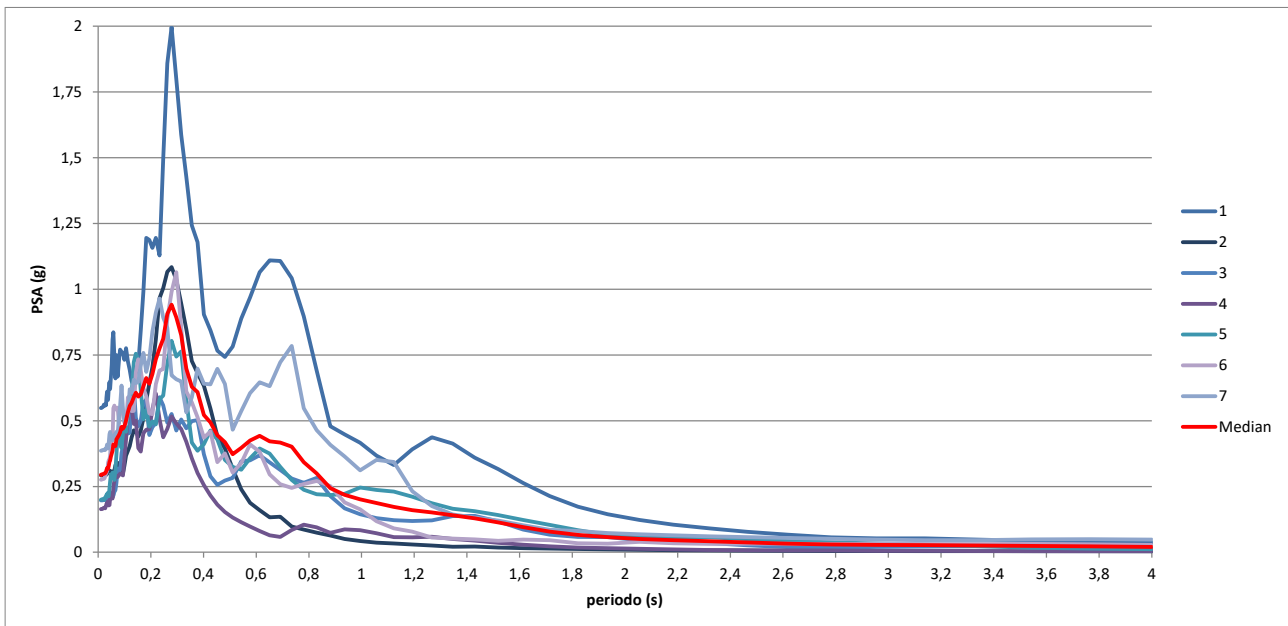


Figura 6: spettri di risposta in pseudo-accelerazione calcolati al suolo per la microzona omogenea 2010. In rosso lo spettro medio.

Lo spettro medio calcolato e indicato con colore rosso (Figura 6) è stato preso come termine di confronto con lo spettro da normativa (NTC 2018) elaborato a partire dall'indagine sismica sito specifica elaborata nel paragrafo successivo.

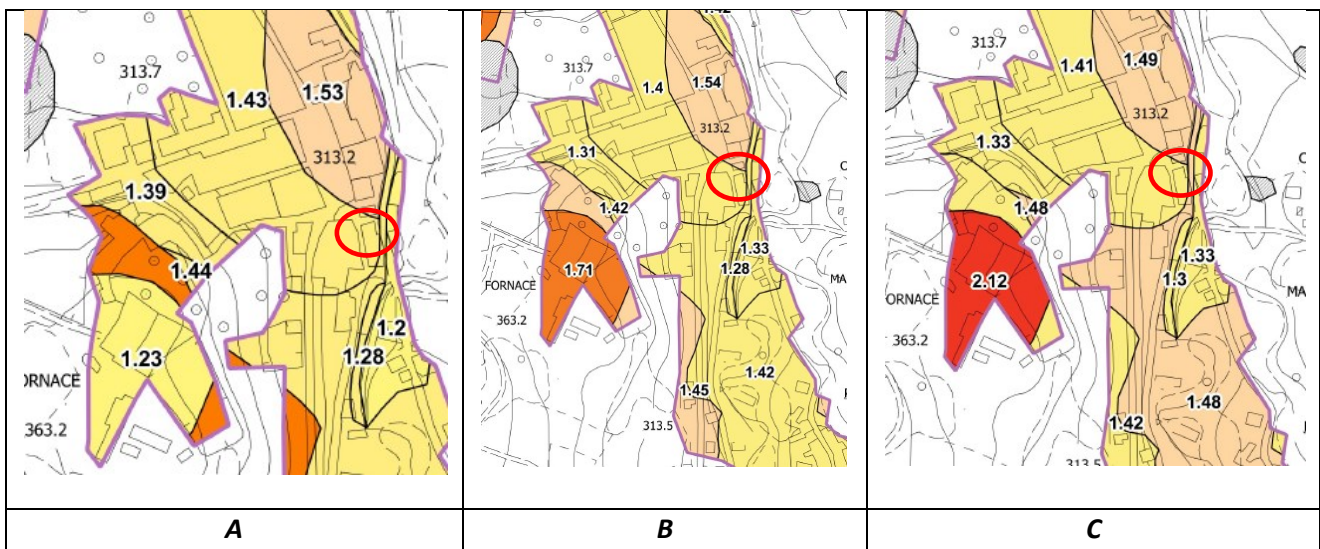


Figura 7: Stralcio carta di microzonazione di III livello del Comune di Caldarola – Fattori di amplificazione attesi in funzione del periodo proprio degli edifici – A = 0.1-0.5 s; B = 0.4 – 0.8 s; C=0.7-1.1 s. L'area in esame è indicata con circolo rosso.

La carta di MZS di III livello (vedi Figura 7) individua per l'area oggetto di indagine e per strutture con periodi propri compresi tra 0,1 e 0,5 sec., una amplificazione sismica di circa 1,43. Tale valore utile alla

pianificazione urbanistica non deve essere confuso con l'amplificazione stratigrafica S_s determinato ai sensi delle NTC 2018.

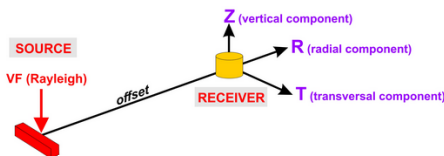
7.2 $V_{S_{eq}}$ – CATEGORIA DI SOTTOSUOLO, DM 17/01/2018

Con lo scopo di definire l'azione sismica locale, viene, quindi, individuata la categoria di sottosuolo in base alle suddivisioni previste della normativa di cui al D.M. 17/01/2018 (Tab. 3.2.II e Tab 3.2.III).

La velocità delle onde S per la classificazione sismica del terreno, è stata ricavata mediante una doppia prova sismica, ovvero operando mediante una tecnica (Holi-Surface®) che permette l'analisi congiunta degli spettri di velocità derivati da prove sismiche attive effettuate in sito e da prove passive (tecnica HVSR) così da limitare fortemente il grado di incertezza del dato sperimentale. In particolare, utilizzando un geofono triassiale modello GEMINI-2 (Pasi srl) con frequenza di risonanza di 2 Hz ed un acquirente dati a 24 bit reali), si sono effettuate:

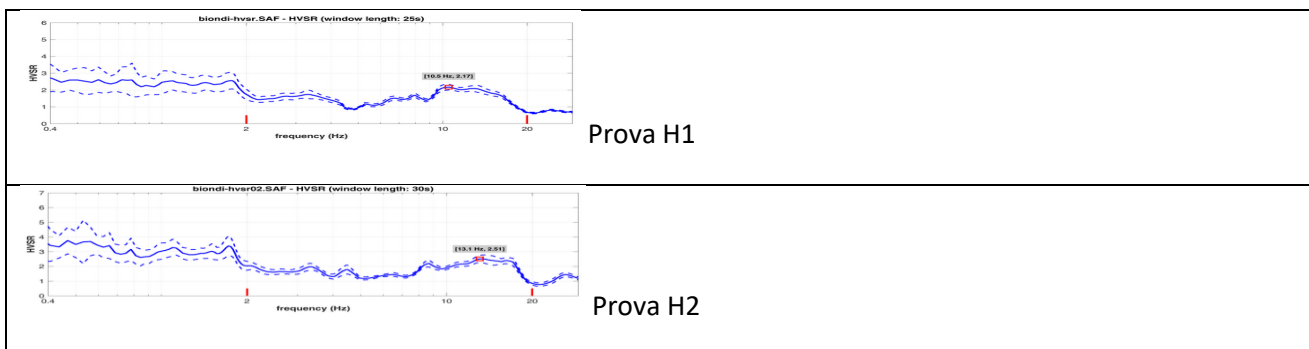
Sono state effettuate:

- una acquisizione delle componenti radiali e trasversali delle onde di Rayleigh in modalità attiva (Vf1) ubicata nella zona di indagine per l'analisi delle onde di superficie (Analisi delle frequenze di gruppo MFA);



- due acquisizioni del rumore sismico ambientale di circa 18/20 minuti (H1 e H2), ubicate nella zona di intervento (vedi planimetria allegata)

Le prove denominate Vf1 e H1 sono state successivamente elaborate ed interpretate con software dedicato, determinando così la velocità delle onde S, che permette di individuare la categoria di suolo in ottemperanza alle norme tecniche per le costruzioni (NTC 2018). La prova H2 è stata effettuata esclusivamente a verifica della corretta esecuzione della prova H1. Le due prove forniscono risultati del tutto compatibili.



STRUMENTO - CONDIZIONI DI ANALISI	
Prova attiva – Rayleigh Waves – Vf1	Prova passiva - HVSR - H1
Strumento: geofono triassiale GEMINI-2 Data: 24/07/2018 Offset: 49 m n. Shot: 10	Strumento: geofono triassiale GEMINI-2 Data: 25/07/2018 Dataset: Biondi_hvsr.SAF Sampling frequency (Hz): 64 Window length (sec): 25 Length of analysed dataset (min): 18 Tapering (%): 10 Smoothing (%): 10

7.2.1 ACQUISIZIONE

Prima di iniziare la registrazione è stato opportunamente verificato che il terreno su cui è stato collocato il geofono triassiale non presentasse condizioni tali da generare interferenze negative nel contatto strumento-terreno. Si è proceduto, quindi, alla posa dello strumento sul terreno con attenzione alla messa in bolla dello stesso ed il controllo delle tre componenti di registrazione (orizzontali e verticale) che debbono essere libere di registrare (tale operazione viene fatta osservando la traccia sismica per ciascuna componente nel computer collegato all'acquisitore).

Nel caso specifico l'ancoraggio a terra dello strumento è stato effettuato, per tutte le prove, mediante piedini conici ad infissione adatti a luoghi con la presenza di terreno.

È stata effettuata la prova passiva (H1) con una registrazione di circa 18 minuti e la registrazione in modalità attiva delle velocità di gruppo delle onde di superficie generate mediante scoppio verticale (Vf1) con un offset di 49 m.

7.2.2 PROVA PASSIVA - HVSR

Dall'acquisizione vengono eliminati i disturbi registrati durante i 18 minuti di registrazione

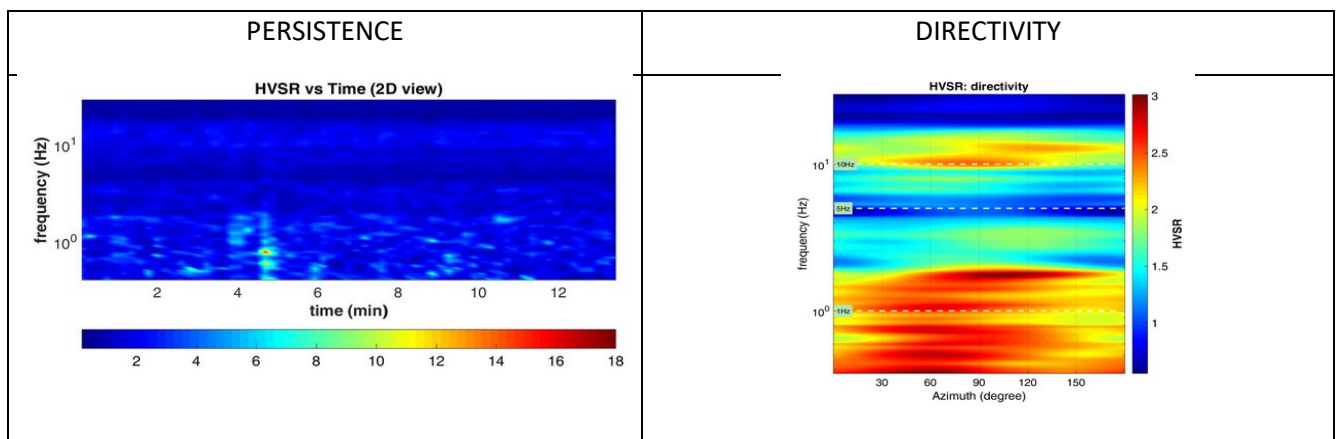


Figura 8 -: persistenza e direttività del segnale

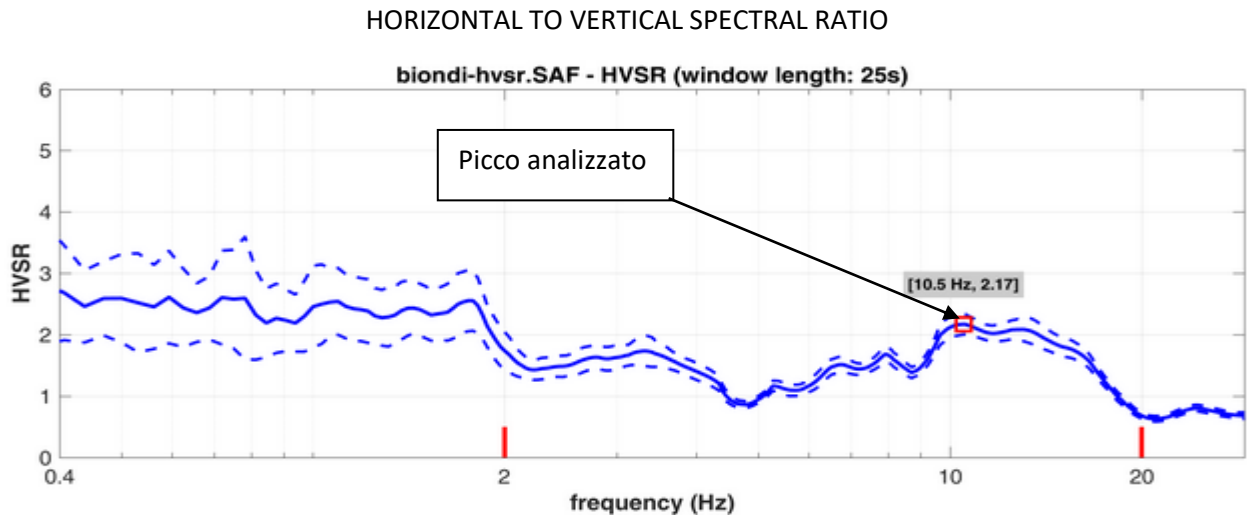


Figura 9 - Andamento della curva H/V (componenti orizzontali su componenti verticali) durante la registrazione.

L'analisi della curva mostra la presenza di un contrasto di impedenza alla frequenza di 10,5 Hz dovuto alla variazione della velocità di propagazione delle onde S alla profondità di circa 3-4 m. Si tratta di un contrasto di impedenza che con ogni probabilità marca il passaggio geologico tra copertura alluvionale prevalentemente fine (limi) e copertura alluvionale grossolana (ghiaie addensate). Un altro contrasto è presente a circa 1,8 Hz. Benché la curva H/V non definisca un chiaro picco a tale frequenza, esso appare del tutto compatibile con un passaggio profondo al substrato sismico (circa 55 m).

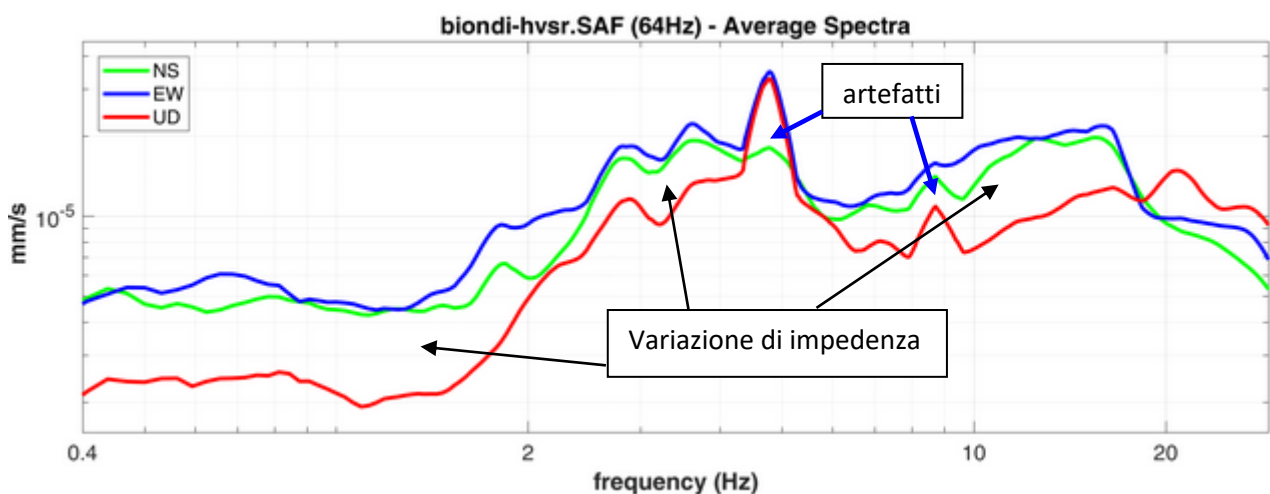


Figura 10 - spettro medio delle singole componenti (NS, EW, UD)

Per la definizione di contrasti di impedenza precedentemente definiti vengono individuati sul grafico di Figura 10 i tratti in cui l'andamento delle tre componenti indicanti la velocità delle onde nel sottosuolo subiscono variazioni, sovrapposizioni o decadimenti di una delle tre componenti.

La prova, inoltre, elaborata congiuntamente alla sismica attiva (Vf1) rappresenta un importante vincolo per la corretta interpretazione del profilo sismo stratigrafico (profilo di Vs) soprattutto per profondità prossime o superiori ai 30 m laddove la prospezione sismica attiva risulta spesso inadeguata.

Di seguito vengono riportati i criteri SESAME che definiscono secondo il protocollo internazionale omonimo la qualità della prova effettuata e del picco esaminato.

Criteri SESAME

In the following the results considering the data in the 2.0-20.0Hz frequency range

Peak frequency (Hz): 10.5 (± 4.2) ; Peak HVSR value: 2.2 (± 0.2)

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

- #1. [$f_0 > 10/L_w$]: 10.510 > 0.4 (OK)
- #2. [$n_c > 200$]: 17079 > 200 (OK)
- #3. [$f_0 > 0.5\text{Hz}$; $\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$] (OK)

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

- #1. [exists f- in the range [$f_0/4, f_0$] | $AH/V(f-) < A_0/2$]: yes, at frequency 4.4Hz (OK)
- #2. [exists f+ in the range [$f_0, 4f_0$] | $AH/V(f+) < A_0/2$]: yes, at frequency 18.0Hz (OK)
- #3. [$A_0 > 2$]: 2.2 > 2 (OK)
- #4. [$f_{\text{peak}}[A_h/v(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$]: (OK)
- #5. [$\sigma_A < \epsilon(f_0)$]: 4.197 > 0.526 (NO)
- #6. [$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$]: 0.202 < 1.58 (OK)

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

7.2.3 PROVA ATTIVA ANALISI DELLE ONDE DI RAYLEIGH

In modalità attiva la prova è stata effettuata attraverso la registrazione della sollecitazione sismica derivante da n. 10 shot verticali generati alla distanza di circa 49 m dal punto di registrazione. Le onde di Rayleigh generate nelle componenti verticale e radiale, sono state analizzate con software dedicato (HoliSurface®) mediante la tecnica MFA (Multiple Filter Analysis) fino ad ottenere le relative curve di dispersione delle velocità di gruppo (vedi Figura 11).

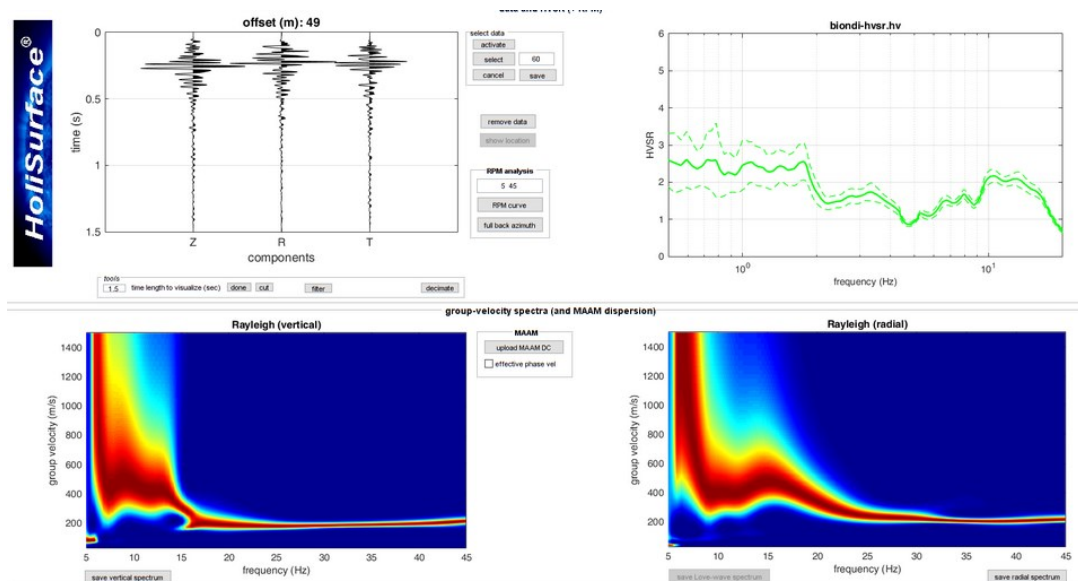


Figura 11- curve di dispersione delle velocità di gruppo delle onde di superficie a partire dalle tracce sismiche acquisite nella prova Vf1 (in alto a sinistra) e rapporto spettrale HVSR derivante dalla prova passiva H1 (in alto a destra).

Si è proceduto quindi nel caso della prova Vf1 all'analisi congiunta della componente verticale e radiale dell'onda di Rayleigh e del rapporto spettrale HVSR fino a definire un modello di velocità delle onde S nei che soddisfacesse tutte le curve sperimentali (vedi Figura 12).

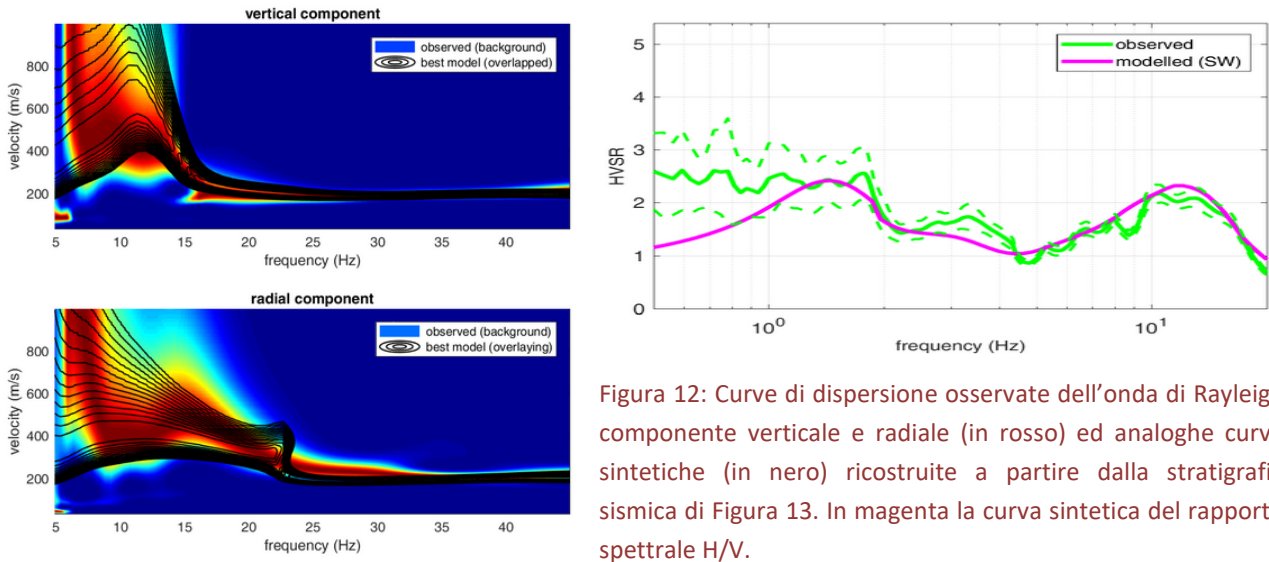


Figura 12: Curve di dispersione osservate dell'onda di Rayleigh componente verticale e radiale (in rosso) ed analoghe curve sintetiche (in nero) ricostruite a partire dalla stratigrafia sismica di Figura 13. In magenta la curva sintetica del rapporto spettrale H/V.

7.2.4 Risultati

Shear-wave velocities (m/s)	210	374	231	488	220	520	733	741	651	800
Thicknesses (m)	0.3	2.0	1.4	2.3	0.7	1.0	5.5	5.4	36.0	semispazio

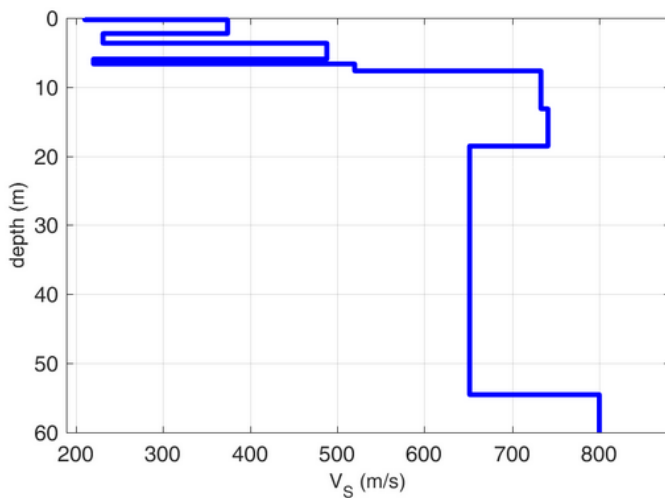
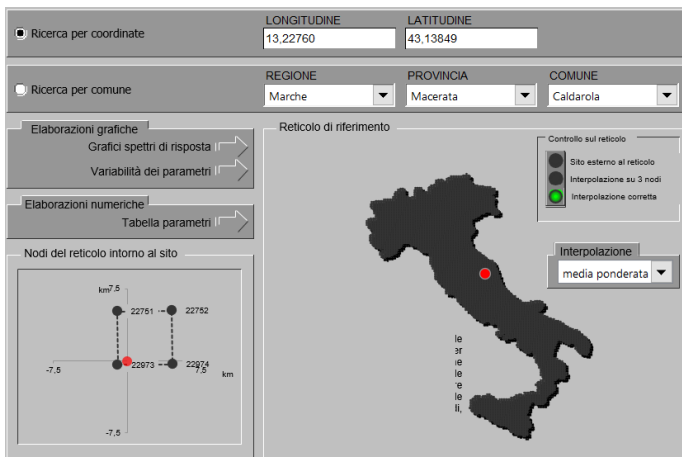


Figura 13: stratigrafia sismica

Dal profilo di velocità ottenuto e rappresentato in Figura 13, è stato calcolato il parametro V_{seq} (velocità equivalente di propagazione entro 30 metri di profondità delle onde di taglio), parametro necessario per la definizione delle categorie di profilo stratigrafico del suolo di fondazione, ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto. Sulla base dei dati descritti si è ottenuto un valore di $V_{seq} (0 - 30 m) = 547 \text{ m/sec}$.

Il terreno presente nell'area in esame, appartiene alla Categoria "B": Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.

7.3 PERICOLOSITA' SIMICA DI BASE - RISPOSTA SISMICA LOCALE (D.M. 17/01/2018)



Al fine di determinare l'azione sismica locale si sono utilizzate le procedure di calcolo relative alla pericolosità sismica di base propria del sito.

Il valore dell'accelerazione massima attesa su suolo rigido orizzontale a_g è stato determinato utilizzando il programma "Spettri_NTC ver.1.0.3.xls" del Consiglio Superiore dei LL.PP.; per il sito in esame si è ottenuto un valore di a_g pari a **0,178 g**, con tempi di ritorno pari a TR 475 anni (SLV) e pari a **0,074 g**, con tempi di ritorno pari a TR 50 anni (SLD)

SLATO LIMITE	T_R [anni]	a_g [g]	F_0 [-]	T_C' [s]
SLO	30	0,059	2,493	0,277
SLD	50	0,074	2,474	0,290
SLV	475	0,178	2,490	0,336
SLC	975	0,229	2,525	0,343

Valori dei parametri a_g , F_0 , T_C' per i periodi di ritorno T_r in funzione dello Stato limite

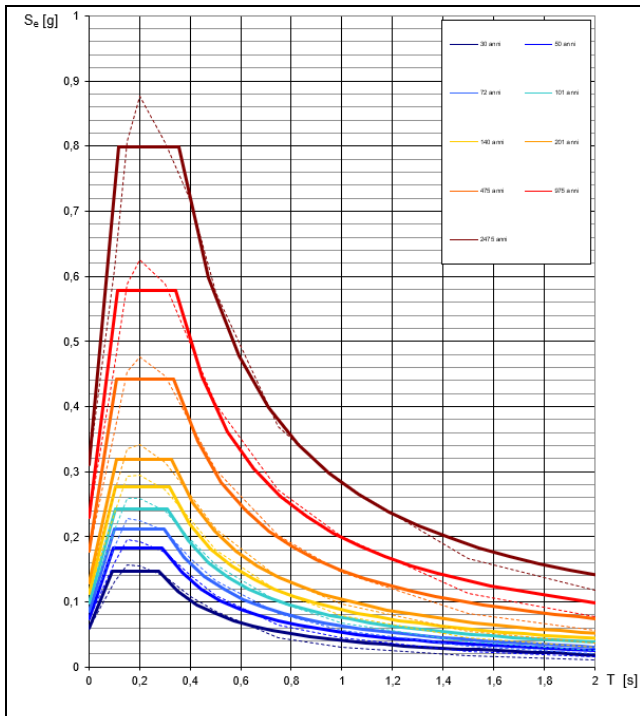


Figura 14: Spettri di risposta elastici per vari tempi di ritorno (Tr) su suolo rigido pianeggiante (A-T1)

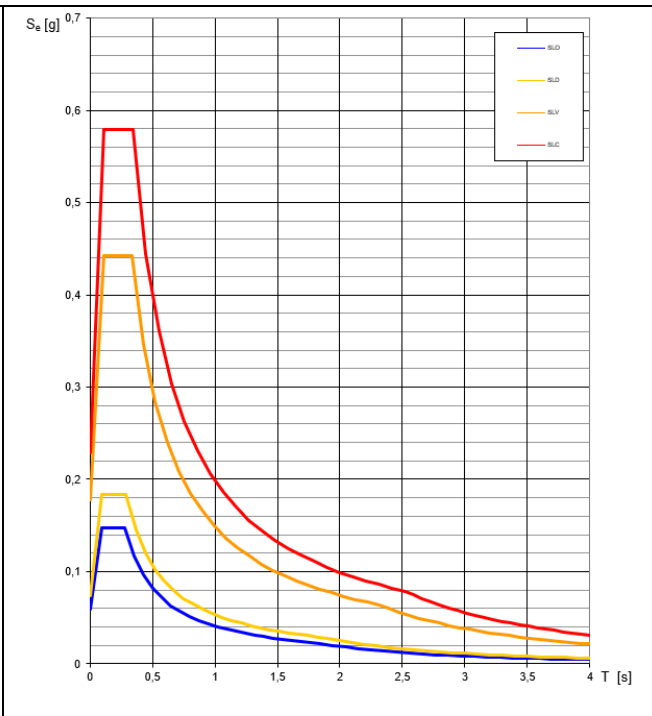


Figura 15: Spettri di risposta elastici in funzione dei diversi stati limite (suolo rigido e pianeggiante)

La **risposta sismica locale S** è data dal prodotto di due coefficienti S_s e S_T (tab. 3.2.V del DM 17/01/2018) :

$$S = S_s \times S_T$$

dove:

S_s = coefficiente di amplificazione stratigrafica

S_T = coefficiente di amplificazione topografica

L'amplificazione stratigrafica è funzione della categoria di sottosuolo, l'amplificazione topografica è funzione della morfologia dei luoghi. In particolare la categoria di sottosuolo caratteristica dell'area in esame è la "**B**" [tab.3.2.II – NTC18], mentre la categoria topografica è **T1** ("*superfici pianeggianti o pendii con inclinazione media < 15°*" [tab. 3.2.IV– NTC18]), essendo l'area posta in un versante che globalmente presenta una pendenza media di circa 13°.

Di conseguenza i coefficienti S_s ($\leq 1,2$) da attribuire al terreno in esame sono:

(SLV) $S_s = 1.4 - 0.4 * 2.490 * (0.178 / 0.98) = 1.2$

(SLD) $S_s = 1.4 - 0.4 * 2.474 * (0.074 / 0.98) = 1.2$

Poiché l'area è posta alla base di un versante che globalmente non raggiunge i 15° di pendenza, il coefficiente di amplificazione stratigrafica per categoria T1 = 1

Da cui si evince che $S = 1,2 \times 1,0 = \mathbf{1,2}$ (SLV)

$S = 1,2 \times 1,0 = \mathbf{1,2}$ (SLD)

Ne deriva che l'accelerazione massima attesa al sito con T_r di 475 anni allo stato limite SLV è:

$$a_{\max} = S \times a_g = 1,2 \times 0,178 = \mathbf{0,21g}$$

mentre l'accelerazione massima attesa al sito con T_r di 50 anni allo stato limite SLD è:

$$a_{\max} = S \times a_g = 1,2 \times 0,074 = \mathbf{0,09g}$$

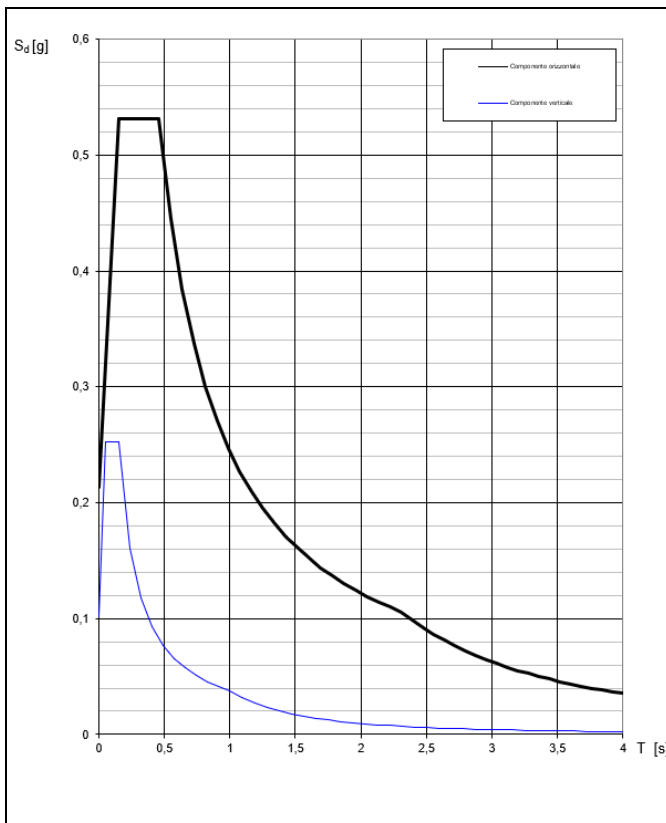


Figura 16: spettro di risposta elastico per il sito in esame – Cat. Suolo B; cat. Topografica T1; SLV (Tr 475 anni)

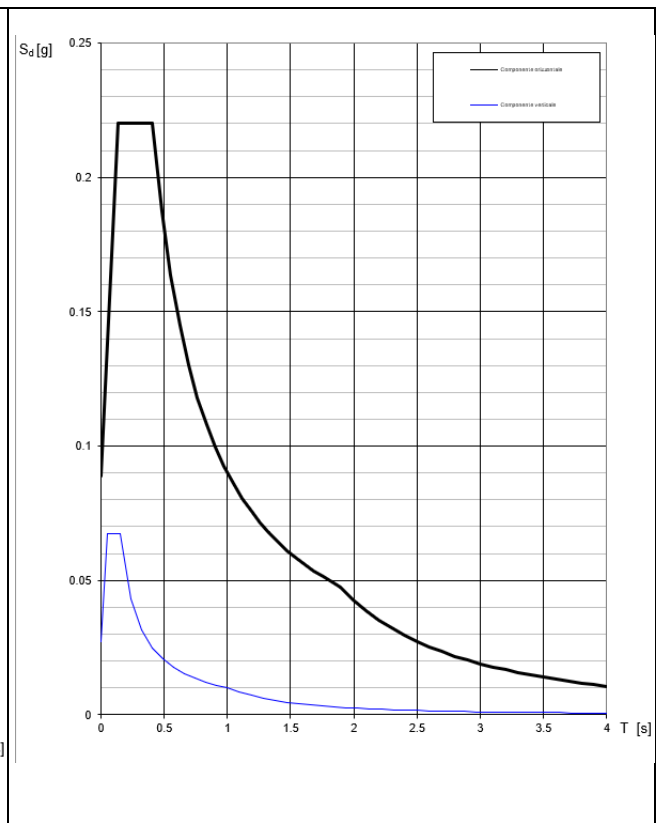


Figura 17: spettro di risposta elastico per il sito in esame – Cat. Suolo B; cat. Topografica T1; SLD (Tr 50 anni)

Lo spettro di risposta in accelerazione rappresentato in Figura 16 e Figura 17 non tiene evidentemente conto delle caratteristiche della struttura (fattore $q = 1$) ed è pertanto da considerarsi quale Spettro di Risposta Elastico specifico per il sito in esame secondo l'approccio semplificato previsto dalla normativa di riferimento (NTC 2018) ed è caratterizzato dai seguenti parametri:

spettro di risposta elastico per il sito in esame – Cat. Suolo B; cat. Topografica T1; SLV (Tr 475 anni)

Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLV
a_g	0,178 g
$F_{0,1}$	2,490
T_C	0,336 s
S_S	1,200
C_C	1,368
S_T	1,000
q	1,000

Parametri dipendenti

S	1,200
η	1,000
T_B	0,153 s
T_C	0,459 s
T_D	2,311 s

	T [s]	Se [g]		T [s]	Se [g]
	0,000	0,213	$T_D \leftarrow$	2,311	0,106
$T_B \leftarrow$	0,153	0,531		2,392	0,099
$T_C \leftarrow$	0,459	0,531		2,472	0,092
	0,547	0,446		2,552	0,087
	0,636	0,384		2,633	0,081
	0,724	0,337		2,713	0,077
	0,812	0,300		2,794	0,072
	0,900	0,271		2,874	0,068
	0,988	0,247		2,955	0,065
	1,077	0,227		3,035	0,061
	1,165	0,209		3,115	0,058
	1,253	0,195		3,196	0,055
	1,341	0,182		3,276	0,053
	1,429	0,171		3,357	0,050
	1,517	0,161		3,437	0,048
	1,606	0,152		3,517	0,046
	1,694	0,144		3,598	0,044
	1,782	0,137		3,678	0,042
	1,870	0,130		3,759	0,040
	1,958	0,125		3,839	0,038
	2,047	0,119		3,920	0,037
	2,135	0,114		4,000	0,036
	2,223	0,110			

spettro di risposta elastico per il sito in esame – Cat. Suolo B; cat. Topografica T1; SLD (Tr 50 anni)

Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLD
a_g	0,074 g
$F_{0,1}$	2,474
T_C	0,290 s
S_S	1,200
C_C	1,409
S_T	1,000
q	1,000

Parametri dipendenti

S	1,200
η	1,000
T_B	0,136 s
T_C	0,409 s
T_D	1,897 s

Punti dello spettro di risposta

	T [s]	Se [g]		T [s]	Se [g]
	0,000	0,089	$T_D \leftarrow$	1,897	0,047
$T_B \leftarrow$	0,136	0,220		1,997	0,043
$T_C \leftarrow$	0,409	0,220		2,097	0,039
	0,480	0,188		2,197	0,035
	0,550	0,164		2,297	0,032
	0,621	0,145		2,398	0,030
	0,692	0,130		2,498	0,027
	0,763	0,118		2,598	0,025
	0,834	0,108		2,698	0,023
	0,905	0,100		2,798	0,022
	0,976	0,092		2,898	0,020
	1,046	0,086		2,998	0,019
	1,117	0,081		3,099	0,018
	1,188	0,076		3,199	0,017
	1,259	0,072		3,299	0,016
	1,330	0,068		3,399	0,015
	1,401	0,064		3,499	0,014
	1,472	0,061		3,599	0,013
	1,543	0,058		3,700	0,012
	1,613	0,056		3,800	0,012
	1,684	0,053		3,900	0,011
	1,755	0,051		4,000	0,011
	1,826	0,049			

7.4 Confronto tra spettro derivante dalla MS comunale e spettro derivante dalla normativa (NTC 2018):

Al fine di definire lo spettro elastico di progetto, si è effettuato (ai sensi dell'ordinanza commissariale n. 55) il confronto tra lo spettro di risposta medio regolarizzato (vedi Figura 6 e Figura 18) ottenuto dallo studio di MS3 relativo alla microzona 2010 con quello ottenuto con l'approccio semplificato previsto dalla normativa sismica (NTC 2018), per la categoria di sottosuolo ottenuta (cat. B) in corrispondenza del manufatto e per il tempo di ritorno di 475 anni (vedi Figura 18).

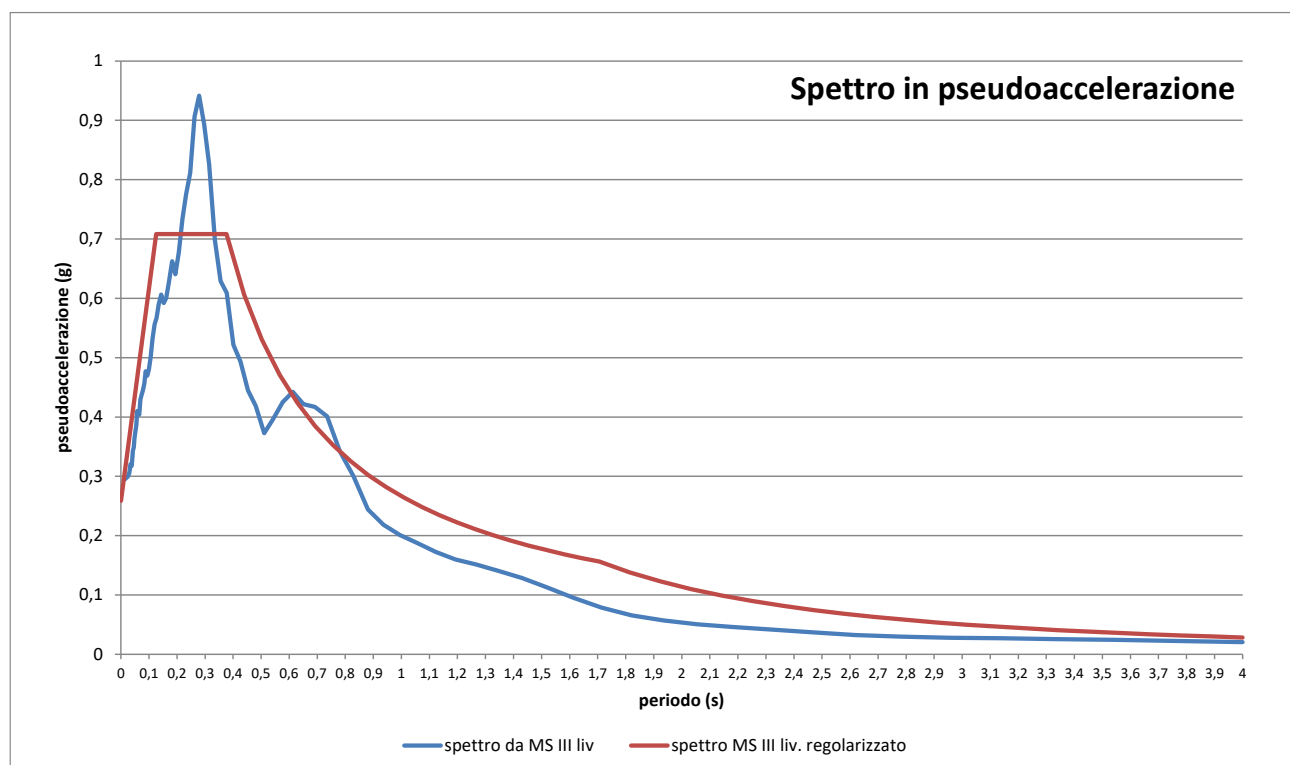


Figura 18: spettro elastico di risposta in pseudo accelerazione medio per la microzona 2010 del comune di Caldarola (blu) e relativa regolarizzazione (rosso) secondo quanto previsto dall'ordinanza commissariale 55.

Il confronto è stato effettuato nell'intervallo di periodi compreso tra 0.21s e 0.42s tenendo conto che l'edificio in esame, in funzione delle analisi vibrazionali effettuate (vedi capitolo 9), ha periodi di vibrazione di circa 0,21 s in entrambe le direzioni di sviluppo planimetrico.

In questo intervallo si sono valutate le seguenti due condizioni:

1. lo spettro di MS3 supera puntualmente in misura maggiore del 30% lo spettro semplificato di norma;
2. l'integrale dello spettro di MS3 è superiore del 20% rispetto al corrispondente integrale dello spettro semplificato di norma.

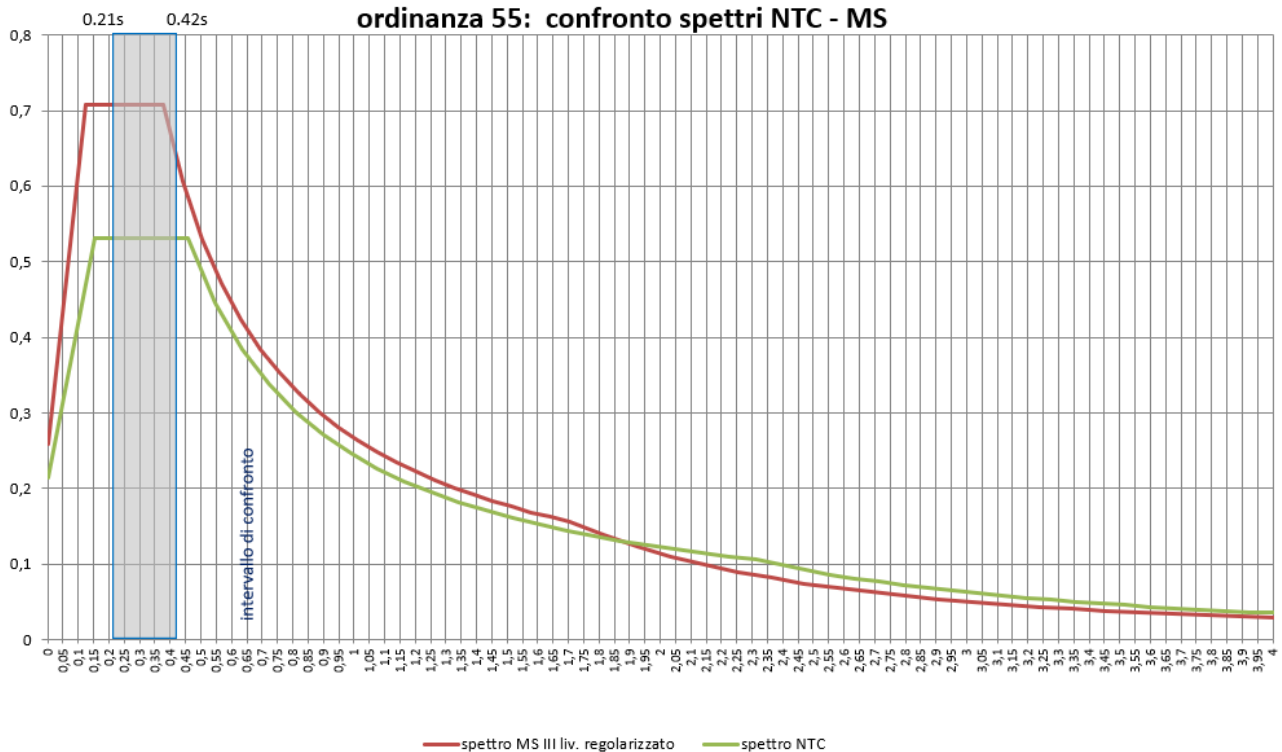


Figura 19: confronto tra spettro da MS3 e spettro da normativa.

Come si evince chiaramente dalla Figura 19 entrambe le condizioni menzionate sono verificate in quanto:

1. puntualmente si ha un superamento massimo dello spettro da MS3 del 33% rispetto allo spettro da normativa;
2. l'integrale dello spettro di MS3 è maggiore all'integrale dello spettro da normativa del 31%

In base a tali evidenze, al fine di definire lo spettro elastico di progetto è necessario effettuare la Risposta Sismica Locale che in funzione delle caratteristiche stratigrafiche e topografiche del sito può essere effettuata mediante analisi numerica monodimensionale.

8 Risposta Sismica Locale mediante modellazione numerica 1d

In considerazione del fatto che i terreni presenti a partire dal piano fondale dell'edificio in esame possono essere considerati come una sequenza di strati piani e paralleli, è stato possibile effettuare le analisi numeriche di Risposta Sismica Locale assumendo un modello stratigrafico monodimensionale (1D), in cui le proprietà dei materiali variano unicamente lungo la direzione verticale. Inoltre si è assunto che il campo d'onda sia costituito esclusivamente da onde di taglio con direzione di propagazione verticale e polarizzazione orizzontale (onde SH).

Il modello geotecnico e sismico del sottosuolo è stato definito ai cap. 4 - 5 - 7 sulla base di:

- Sondaggi stratigrafici e prove penetrometriche dinamiche in sito
- risultati di prove sismiche attive (MFA-HoliSurface) e passive (HVSr) effettuate in sito.

8.1 Le coperture – caratterizzazione sismica

L'interpretazione del profilo sismico, escludendo i terreni di riporto più superficiali individua la presenza di 8 sismostrati al di sopra del bedrock sismico (vedi paragrafo 7.2.4):

litotipo	Al_1	Al_2	Ag_1	Ag_2	Ag_3	Ag_4	Ag_5	F_1
	Ghiaia in matrice limosa	Limi argillosi e limi sabbiosi	Ghiaia e sabbia	Limo argilloso	Ghiaia e sabbia	Ghiaia e ciottoli in matrice sabbiosa	Ghiaia e sabbia	Form. Geologica non rigida
Velocità V_{seq} (m/s):	374	231	488	220	520	733	741	651
Spessore (m):	2.0	1.4	2.3	0.7	1.0	5.5	5.4	36.0

Sulla base delle valutazioni effettuate ai sensi della normativa vigente, i litotipi individuati al di sotto del piano campagna e al di sopra del substrato rigido è caratterizzato da velocità delle onde S comprese tra circa 220 e 740 m/s. La situazione compatibile con una copertura costituita da depositi alluvionali eterogenei da limo-argillosi a ghiaioso-ciottolosi con vario grado di addensamento e dunque con caratteristiche geotecniche e soprattutto sismiche molto variabili al suo interno che possono assumere valori assoluti anche rilevanti nel caso di ghiaie addensate.

Per descrivere la dipendenza del modulo di taglio e dello smorzamento dal livello di deformazione, si è fatto riferimento a curve di decadimento tratte dalla letteratura, utilizzate anche dallo studio di MS di III livello comunale.

In particolare, considerando gli strati identificati sulla base di osservazioni di campagna, si sono utilizzate le seguenti curve di decadimento:

- curve di decadimento tratte dal lavoro di Microzonazione Sismica di liv. 3 del Comune di Caldarola – specifiche per depositi di materiali argillosi e limo-argillosi alluvionali (Materiali Al_2, Ag_2)
- curve di decadimento secondo Rollins 1998 per ghiaie e ghiaie sabbiose (Materiali Al_1, Ag_3, Ag_4, Ag_5)
- curve di decadimento a rigidità e smorzamento costanti con G/G_0 pari a 1 e D pari a 1%, idonee per substrato geologico non rigido e non alterato (Materiali F_1)

8.2 Il bed rock - Definizione dell'azione sismica

Per valutare la RSL si è definita l'azione sismica da attribuire al substrato in funzione di un numero prefissato di registrazioni accelerometriche.

Si sono utilizzati gli accelerogrammi naturali (il numero minimo che consente di far riferimento ai valori medi dei risultati, secondo quanto prescritto dalle NTC 18) selezionati per la realizzazione dello studio di MS di 3 liv. del Comune di CALDAROLA, dall'Unità Tematica Trasversale "Input Sismico" (UTIS, definita a seguito dell'Ordinanza n.24 del 12 Maggio 2017).

La ricerca degli accelerogrammi è stata fatta per il sito di coordinate geografiche (Lat. 43.13 e Long. 13.22) con registrazioni free-field tutte caratterizzate da classi di sottosuolo A (EC2008) e non scalati:

	Name	scripti	Type	PGA (g)	PGV (cm/s)	Scale Factor
1	<input checked="" type="checkbox"/> Input_CALDAROLA_475yrs\3A.MZ19..HNE.D.20161030.064018.C.TXT		Outcrop (2A)	0.36	34.57	1.00
2	<input checked="" type="checkbox"/> Input_CALDAROLA_475yrs\3A.MZ21..HNE.D.20161026.171036.C.TXT		Outcrop (2A)	0.20	8.53	1.00
3	<input checked="" type="checkbox"/> Input_CALDAROLA_475yrs\II.A6391..HNE.D.19990506.230051.C.TXT		Outcrop (2A)	0.16	11.00	1.00
4	<input checked="" type="checkbox"/> Input_CALDAROLA_475yrs\IT.CLO..HGN.D.20161026.171036.C.TXT		Outcrop (2A)	0.13	4.79	1.00
5	<input checked="" type="checkbox"/> Input_CALDAROLA_475yrs\IT.CLO..HGN.D.20161026.191806.C.TXT		Outcrop (2A)	0.19	12.81	1.00
6	<input checked="" type="checkbox"/> Input_CALDAROLA_475yrs\IT.MMO..HGN.D.20161030.064018.C.TXT		Outcrop (2A)	0.19	11.41	1.00
7	<input checked="" type="checkbox"/> Input_CALDAROLA_475yrs\IV.T1212..HNN.D.20161030.064018.C.TXT		Outcrop (2A)	0.28	24.65	1.00

Le componenti orizzontali degli accelerogrammi utilizzati nelle analisi sono riportate in Figura 20, mentre il confronto tra lo spettro medio dei corrispondenti spettri di output e lo spettro da normativa (NTC 18) è illustrato in Figura 24.

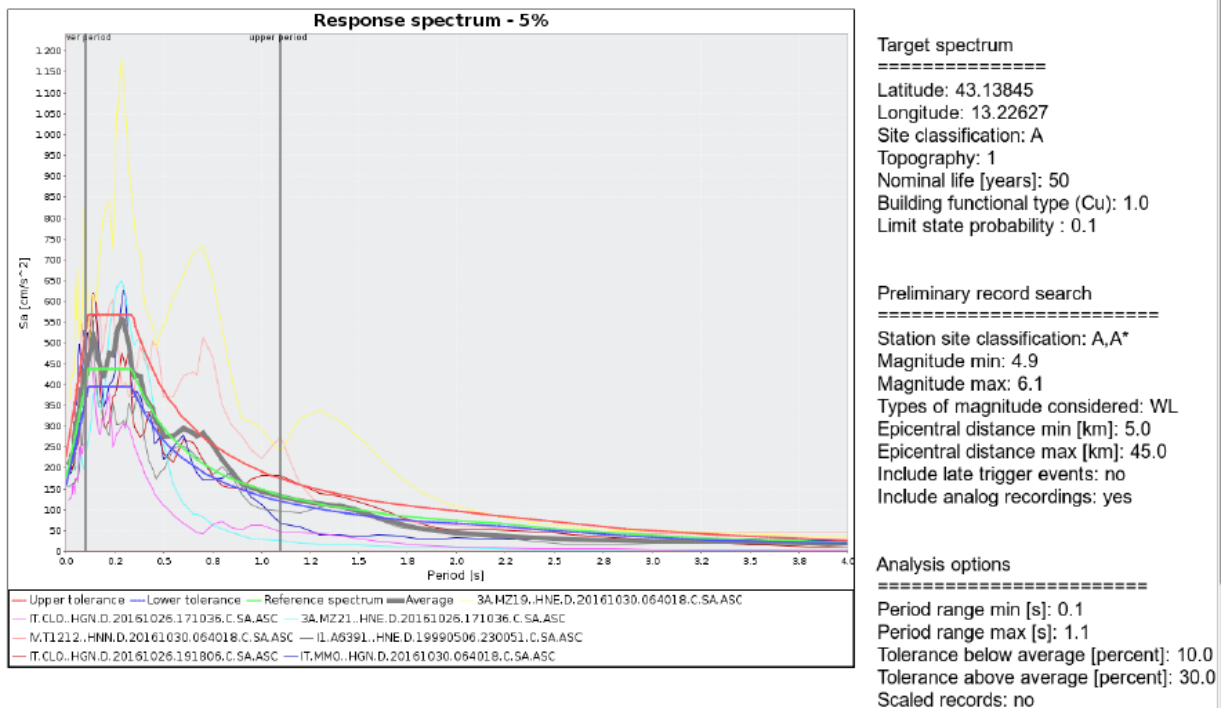


Figura 20 – Spettro-compatibilità tra lo spettro medio (average) ottenuto da 7 registrazioni accelerometriche naturali (componente orizzontale) non scalate e lo spettro risposta elastico Target per il sito (Reference spectrum).

Nel caso della RSL in SLD non disponendo lo studio di MS comunale di accelerogrammi specifici, essi si sono selezionati da banche accelerometriche digitali, imponendo i criteri di scelta e spettro-compatibilità imposti dalle NTC 18.

Il primo criterio per la selezione degli accelerogrammi reali è la compatibilità con i vincoli sismotettonici del contesto geologico regionale e, in particolare, con i valori di magnitudo, distanza epicentrale e i meccanismi focali dei terremoti di scenario che contribuiscono maggiormente alla pericolosità del sito. Tale informazione può essere ottenuta dall'analisi di disaggregazione della pericolosità sismica di base.

Per la selezione delle combinazioni degli accelerogrammi naturali compatibili con gli spettri da normativa si è fatto riferimento alla banca dati accelerometrica "ESM Engineering Strong Motion - Database – Orfeus" attraverso il programma REXEL_Lite, sviluppato dall'Università degli Studi di Napoli Federico II (Iervolino, Galasso, Chiocchiarelli 2008-2013)

Gli accelerogrammi selezionati sono stati tutti registrati su siti rocciosi affioranti e sono caratterizzati da valori di magnitudo e distanza epicentrale, compatibili con i risultati dell'analisi di disaggregazione.

L'altro criterio importante e restrittivo adottato per la selezione degli accelerogrammi reali è quello della spettro-compatibilità. Gli accelerogrammi selezionati per il sito in esame sono spettro-compatibili, in media, con lo spettro di risposta elastico su suolo di categoria A prescritto dalle NTC 18 per il periodo di ritorno di 50 anni, nell'intervallo di periodo specificato (fino a 2 secondi).

Gli accelerogrammi non sono stati scalati. Le componenti orizzontali degli accelerogrammi utilizzati nelle analisi sono riportate in Figura 21, mentre il confronto tra i corrispondenti spettri, lo spettro medio e lo spettro di normativa delle NTC 18 è illustrato in Figura 24 e Figura 25.

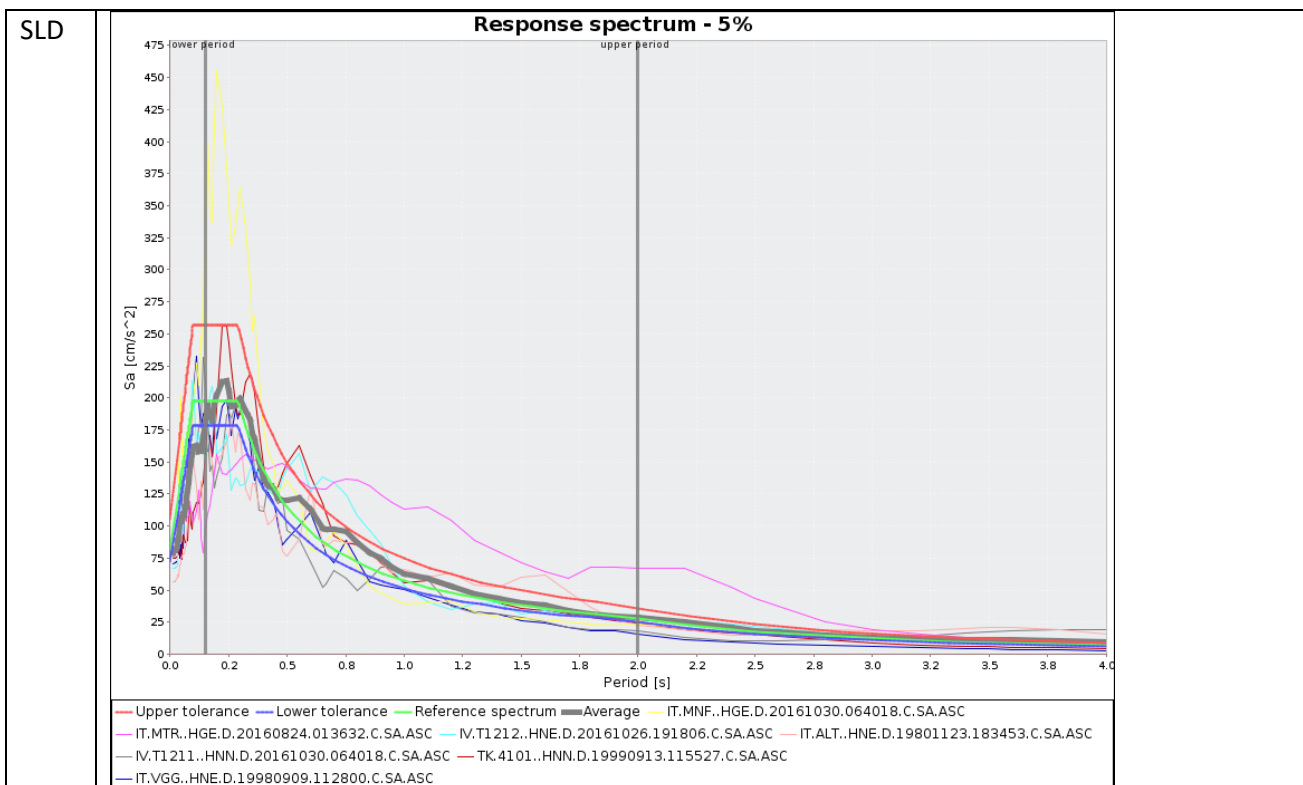


Figura 21 – Spettro-compatibilità tra lo spettro medio (average spectrum) ottenuto da 7 registrazioni accelerometriche naturali (componente orizzontale) e lo spettro risposta elastico Target per il sito nel caso di SLD.

8.3 Procedura di analisi

Le analisi di risposta sismica locale sono state effettuate con il programma STRATA (Albert Kottke-Ellen Rathje, Università del Texas, 2008), che fa riferimento ad un modello costitutivo del terreno di tipo viscoelastico lineare-equivalente (EQL).

Per ogni strato di terreno si è definito spessore, massa volumica e le curve che descrivono la diminuzione dei valori del modulo di taglio e dello smorzamento in funzione del livello di deformazione. Si ipotizza che il moto sismico, applicato al substrato, sia costituito da onde che si propagano in direzione verticale, perpendicolarmente alla direzione di giacitura degli strati.

Ciascuno degli accelerogrammi naturali è stato applicato al substrato roccioso affiorante e propagato attraverso il terreno di copertura prima descritto, al fine di determinare l'accelerazione prodotta sulla superficie libera dall'amplificazione dovuta alla stratigrafia del sito.

Il risultato dell'analisi è riportato nella Figura 22 e Figura 23 sottostanti.

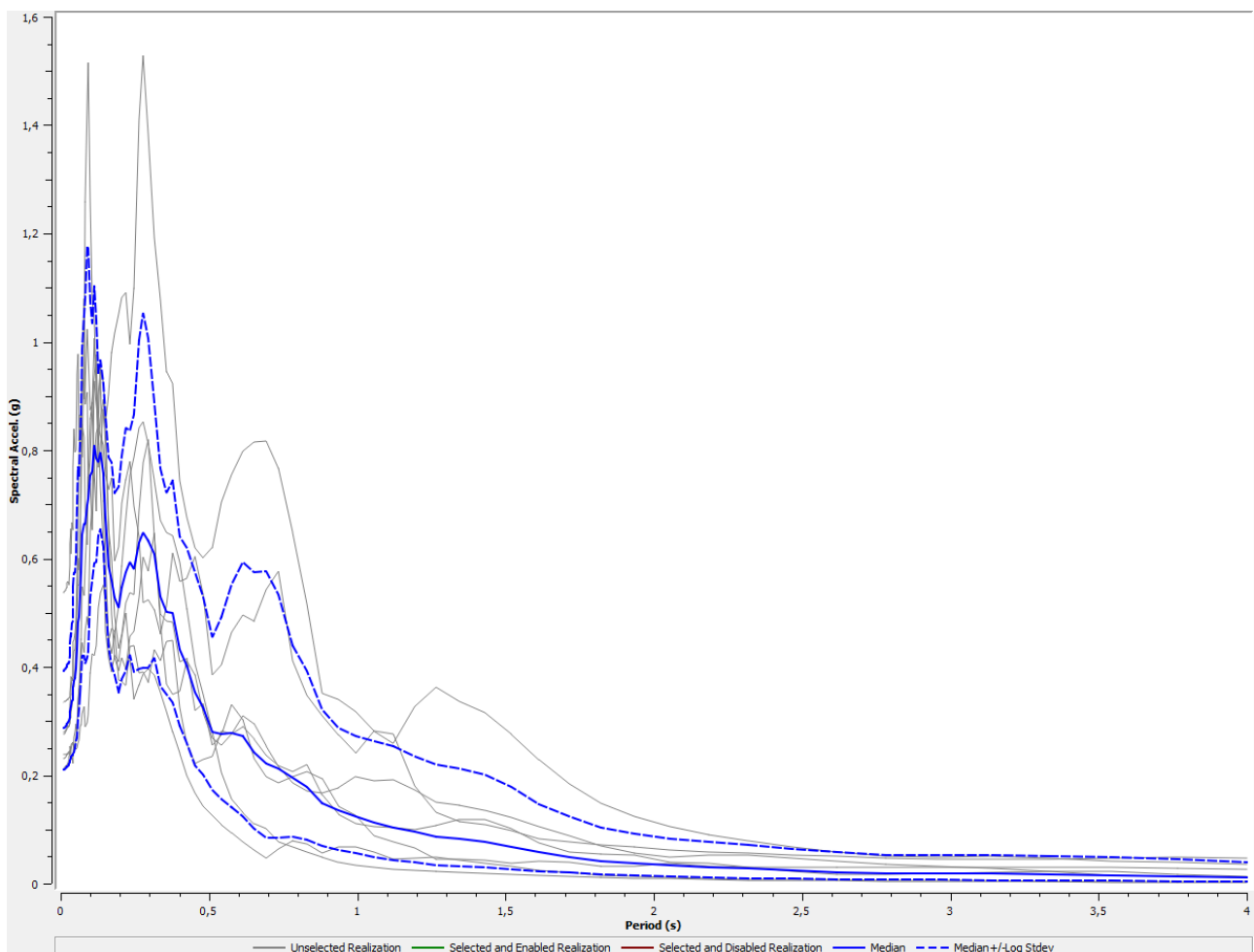


Figura 22: Spettri di risposta in accelerazione così come modificati dalle caratteristiche sismo stratigrafiche del sito (RSL) a partire da una settupla di accelerogrammi naturali spettrocompatibili - SLV.

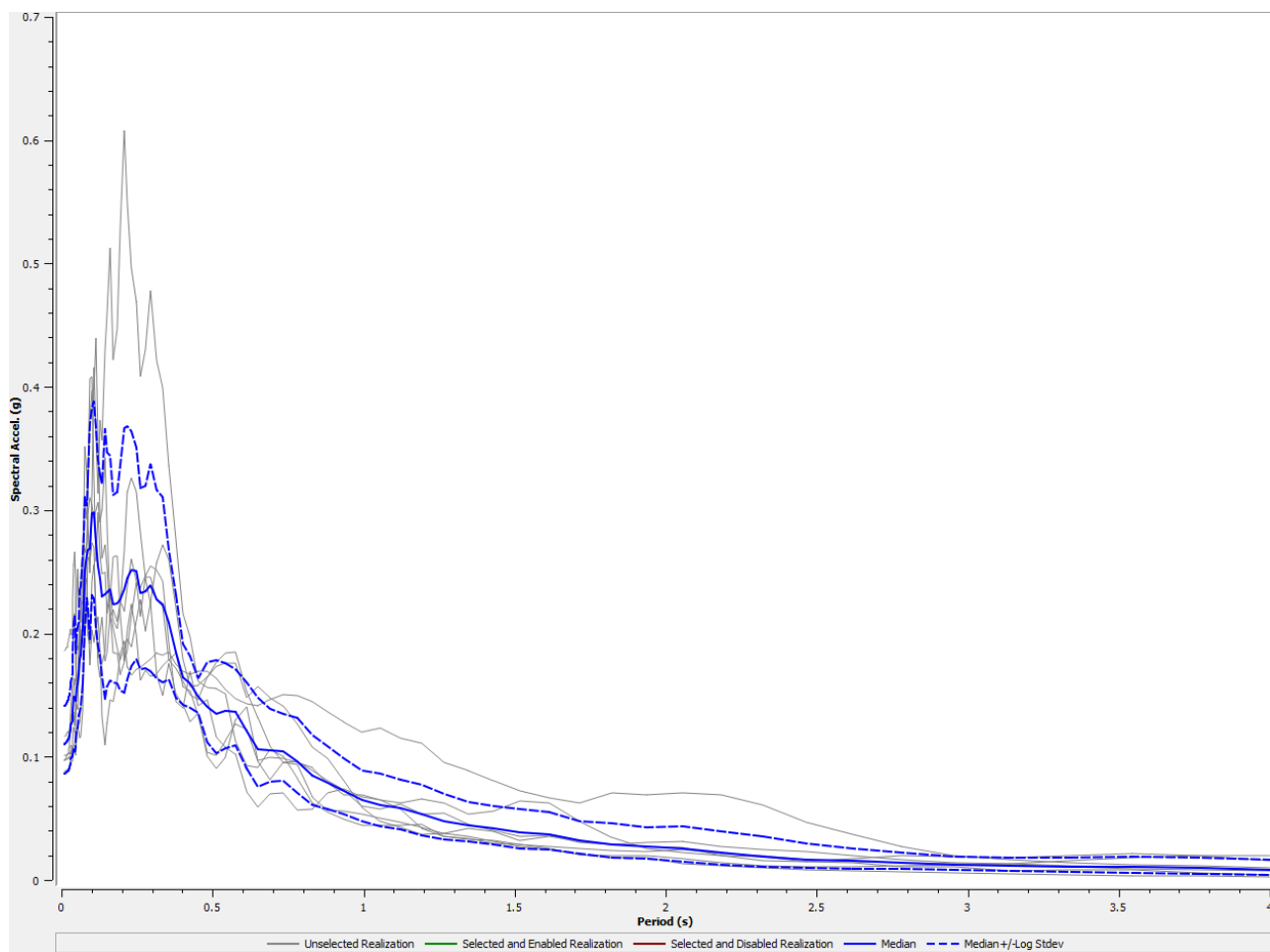


Figura 23: Spettri di risposta in accelerazione così come modificati dalle caratteristiche sismo stratigrafiche del sito (RSL) a partire da una settupla di accelerogrammi naturali spettrocompatibili - SLD.

Nelle figure sottostanti (Figura 24 e Figura 25) è riportato il confronto tra lo spettro medio ottenuto in superficie attraverso modellazione numerica 1D (spettro da RSL) e lo spettro previsto dalle NTC 2018 per la componente orizzontale dell'azione sismica in categoria di suolo "B" e topografica "T1" come quello del sito in esame, rispettivamente per lo stato limite SLV e SLD.

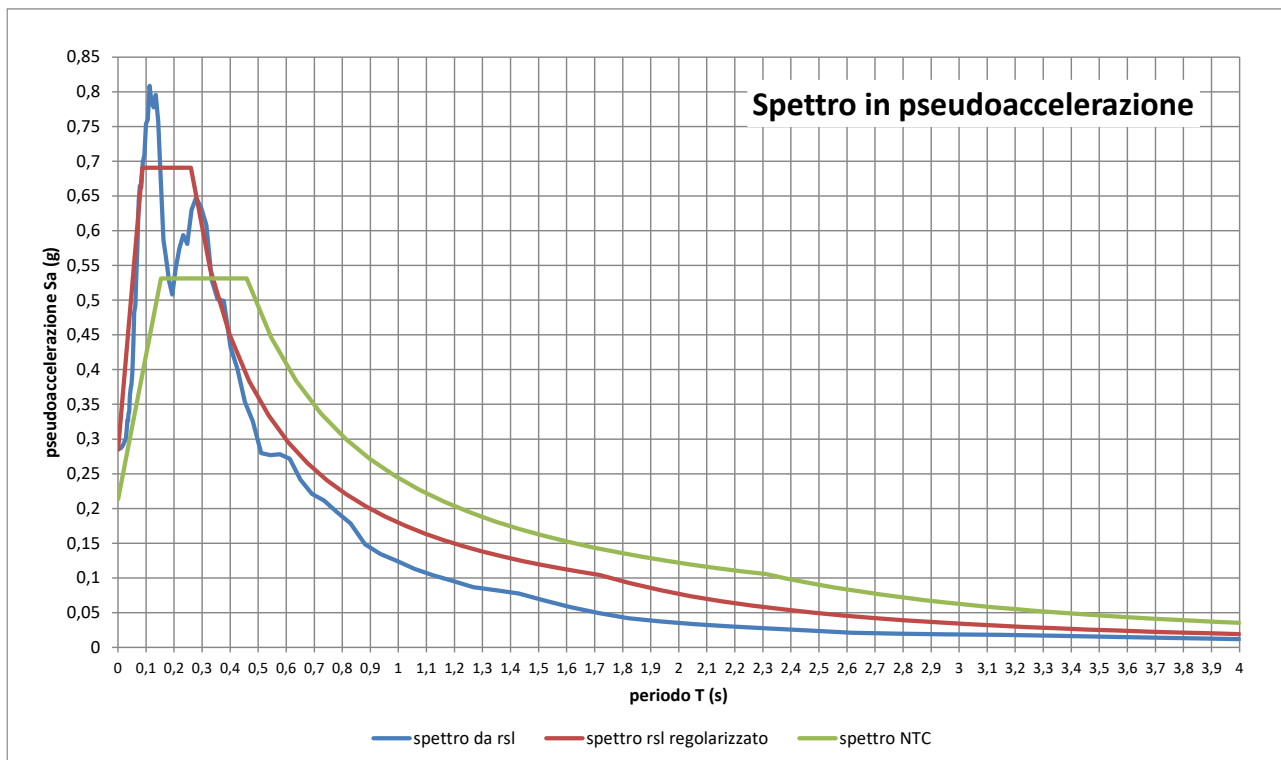


Figura 24: Spettri di risposta in accelerazione (componente orizzontale) sulla superficie libera da RSL e sua regolarizzazione a confronto con lo spettro di risposta da NTC 18 per la categoria di suolo B, secondo lo stato SLV

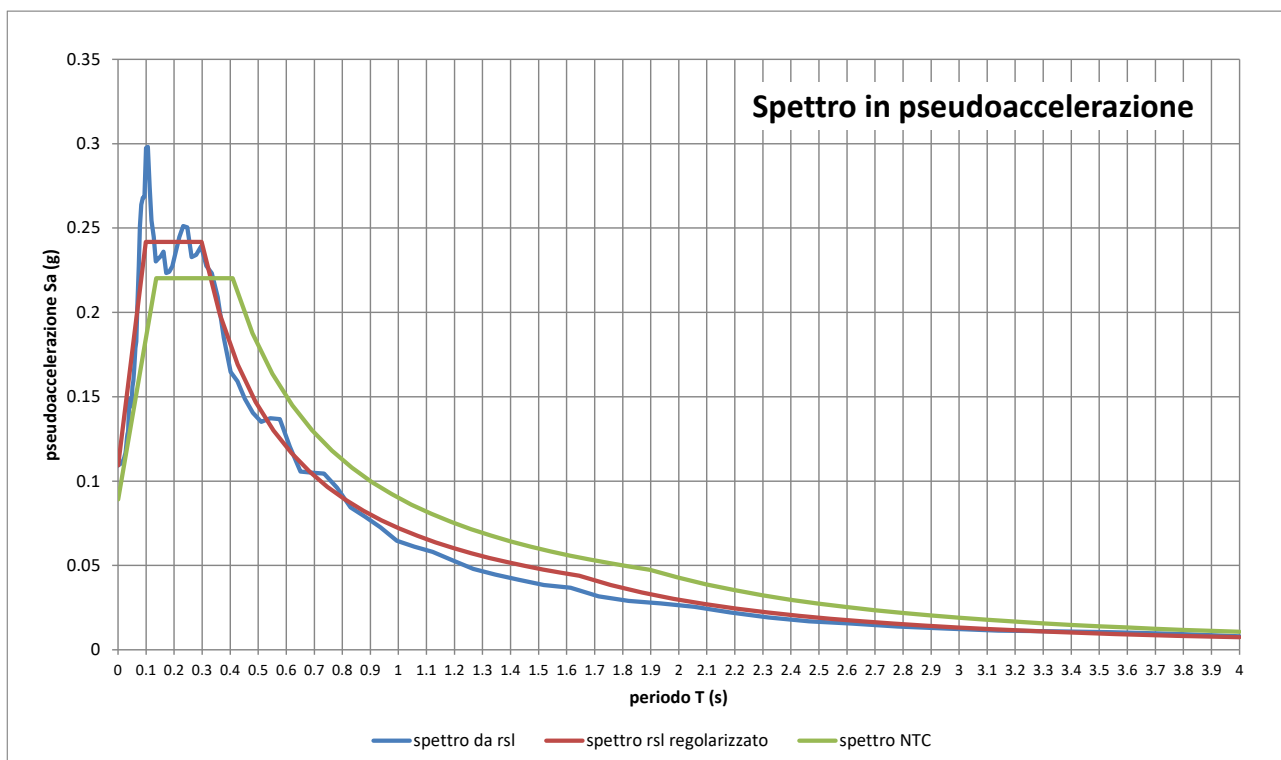


Figura 25: Spettri di risposta in accelerazione (componente orizzontale) sulla superficie libera da RSL e sua regolarizzazione a confronto con lo spettro di risposta da NTC 18 per la categoria di suolo B, secondo lo stato SLD

Le coordinate di tali spettri sono riportate in allegato alla presente relazione.

Dal raffronto tra i due spettri emergono le seguenti differenze:

- maggiore valore della PGA per lo spettro da RSL **pari a 0.285 g (SLV) e 0.109 (SLD)**
- accelerazione spettrale massima inferiore per lo spettro da NTC
- spostamento del plateau verso periodi più bassi per lo spettro da RSL
- maggiore intensità della risposta nel tratto a spostamento costante per lo spettro da NTC.

Per il sito in esame, nel complesso, l'analisi di RSL propone una situazione derivante dallo spettro medio in accelerazione da analisi numerica, più gravosa rispetto a quella derivante dallo spettro da NTC.

In calce alla presente relazione si forniscono i parametri fondamentali a definire lo spettro da RSL regolarizzato secondo i criteri espressi dall'ordinanza Commissariale 55.

9 ANALISI VIBRAZIONALE DELL'EDIFICIO:

Al fine di identificare il periodo di oscillazione fondamentale dell'edificio in esame e l'eventuale presenza di comportamenti critici in termini di risposta sismica dello stesso, sono state effettuate misure dirette di tremore ambientale all'interno dell'edificio oltre che nel sito in cui insiste.

Questa tecnica associa lo studio del comportamento del sito in termini di frequenze principali di oscillazione (metodologia HVRS: rapporto tra le componenti spettrali orizzontali e verticale del moto) allo studio del comportamento oscillatorio proprio dell'edificio (frequenza/periodo di oscillazione fondamentale dell'edificio).

Per una corretta valutazione della propensione al danneggiamento di una struttura è opportuno tener conto, infatti, sia del comportamento sismico dell'edificio, sia del comportamento sismico del sito su cui lo stesso è situato.

Conoscendo le frequenze di vibrazione naturali dell'edificio e del sito su cui si trova è possibile attraverso la loro comparazione, valutare la propensione alla doppia risonanza tra sito e struttura.

La frequenza/periodo fondamentale dell'edificio è stata individuata calcolando il rapporto tra lo spettro misurato all'interno dell'edificio al piano più elevato (piano quarto = 4) e confrontando lo stesso con il rapporto tra gli spettri al piano di riferimento (piano interrato corrispondente all'incirca con il piano fondale dell'edificio), in modo tale da evidenziare al meglio le frequenze proprie di vibrazione dell'edificio stesso.

In base all'analisi effettuata si sono riscontrati per l'edificio in esame, dei periodi di vibrazione ben definiti e del tutto simili in termini di frequenza/periodo nelle due direzioni di allungamento della struttura (edificio di forma regolare a pianta quadrata).

Edificio	Frequenza di risonanza (periodo) propria della struttura lungo l'asse maggiore dell'edificio (parallelo a via Falerense)	Frequenza di risonanza (periodo) propria della struttura lungo l'asse minore dell'edificio (perpendicolare a via Falerense)
	4,66 Hz (0,215 s)	4,66 Hz (0,215 s)
Terreno	10,5 Hz (0,095 s)	

Tabella 3: periodi di vibrazione dell'edificio in esame nei due assi di allungamento e del terreno ove l'edificio è posto.

Come evidenziato nella tabella 3 e nella Figura 26 con riportate le misure realizzate, il risultato del confronto tra le frequenze di vibrazione della struttura e del sito su cui si trova l'edificio mostra **l'ASSENZA** di contrasti di impedenza nel sottosuolo tali da produrre potenziali amplificazioni del moto alle frequenze della struttura.

La misura indica ulteriormente che lungo la direzione strumentale EW ovvero perpendicolare a via Lungara Rio, la velocità dell'oscillazione è maggiore rispetto alla direzione strumentale NS. Questo è compatibile con il maggior danneggiamento avvenuto nelle murature disposte nella prima direzione.

EDIFICIO – via Lungara Rio - Piano 4 (point B)/Piano di riferimento (point A).

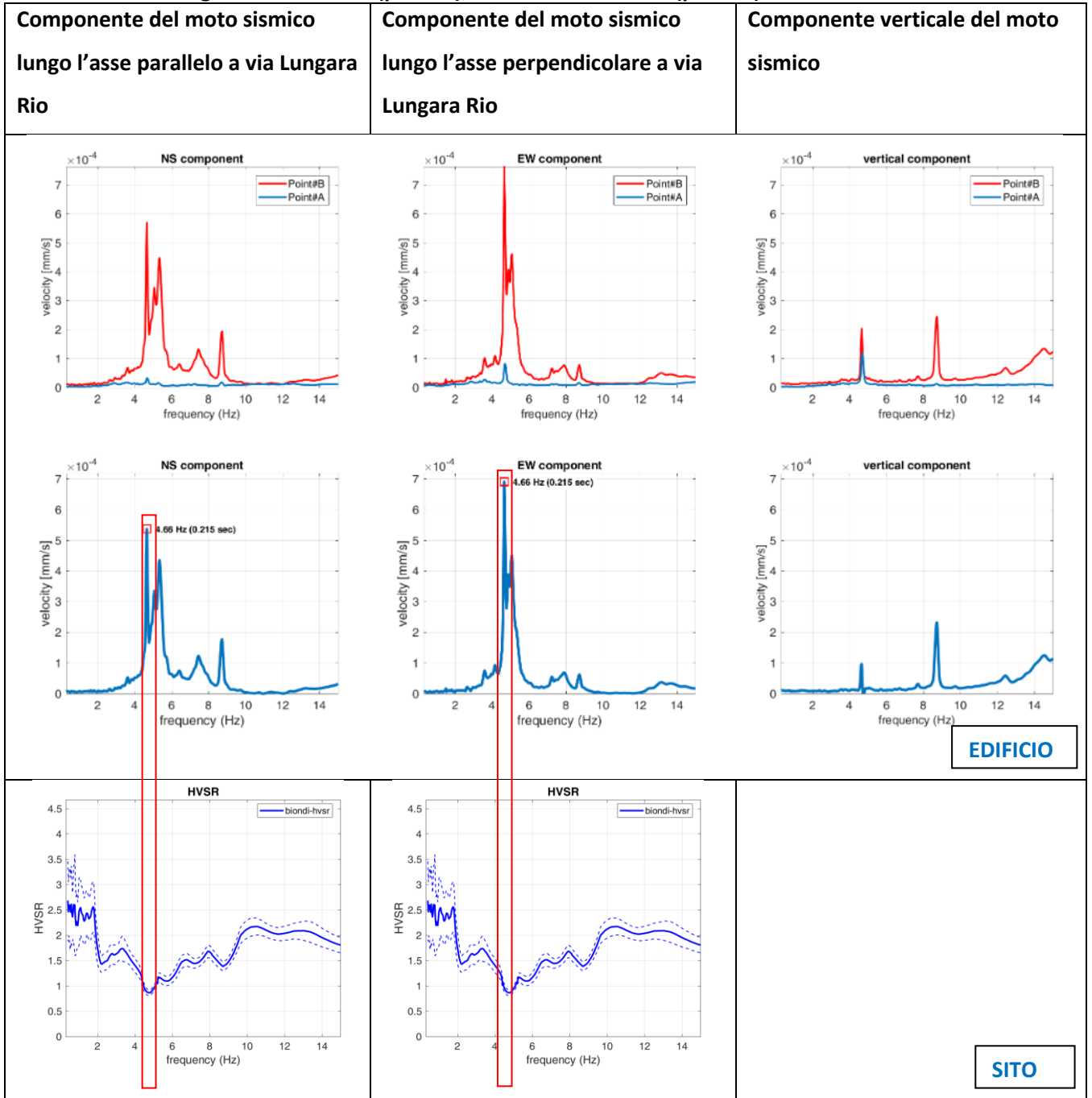


Figura 26: Raffronto delle frequenze (periodi) di vibrazione della struttura nelle sue due componenti di allungamento e della frequenza (periodo) di vibrazione del terreno su cui l'edificio è impostato.

10 PROGETTAZIONE GEOTECNICA - D.M. 17/01/2018:

10.1 Vita nominale - classi d'uso - periodo di riferimento:

Il progetto è finalizzato alla ristrutturazione di un edificio di civile abitazione che, a seguito della crisi sismica del 2016 ha subito danni gravi. Esso verrà ristrutturato previa demolizione e ricostruzione.

La vita nominale delle strutture è pari a $V_n \geq 50$ anni; la classe d'uso in presenza di azioni sismiche è la classe II con relativo coefficiente d'uso $CU = 1,0$. Il periodo di riferimento per l'azione sismica è $V_r = V_n \times CU = 50$ anni.

10.2 Progettazione geotecnica:

Sulla base della normativa (D.M. 17/01/2018) si sono definiti i criteri per le verifiche di sicurezza agli stati limite ultimi (SLU) e le analisi alle condizioni di esercizio (SLE).

Si è valutato l'effetto delle azioni (A), delle resistenze (R) e dei parametri geotecnici del terreno (M) utilizzando i coefficienti parziali definiti nella legge. La combinazione dei coefficienti parziali dà luogo a 2 approcci progettuali (*Approccio 1 e Approccio 2*). L'approccio 2 scelto in questa fase, tiene conto di un dimensionamento sia strutturale che geotecnico: **Approccio 2: (A1 + M1 + R3)**

Dove:

A1= coeff. parziali per le azioni

M1= coeff. parziali per i parametri geotecnici del terreno

R3 = coeff. parziali per le verifiche agli stati limite ultimi

Tale scelta rappresenta un dato orientativo preliminare; sarà il progettista a confermare, in fase di calcolo esecutivo, tale scelta e definire un approccio definitivo.

10.3 Portata indicativa dei pali:

Si fornisce il calcolo indicativo della resistenza delle fondazioni profonde, al fine di dare al progettista un dato orientativo di base da utilizzare poi nel dimensionamento delle opere fondali e nel calcolo geotecnico specifico. Si ipotizza che le fondazioni saranno realizzate su pali trivellati.

Il carico ammissibile sulle fondazioni profonde può essere definito, considerando i parametri geotecnici in termini di sforzi effettivi, mediante la formula riportata di seguito:

Portata Limite Totale [Q_{lim}]	$Q_{lim} = Q_b + Q_s - W_p$
	<i>Terzaghi mod. Meardi</i>
Portata Limite di Base [Q_b]	$Q_b = \gamma \times L \times N_q \times A_b$
Portata Limite laterale [Q_s]	$Q_s = \pi \times d \times L \times \gamma_c \times h_m \times \tan \varphi$
Peso proprio del palo [W_p]	$W_p = A_b \times L \times \gamma_c$

dove:

d= diametro palo;

Ab= area di base del palo;

L = lunghezza del palo

γ = peso di volume terreno;

γ_c = peso di volume calcestruzzo;

hm= profondità mediana;

N_q = fattore di capacità portante

φ = angolo di attrito

f_0 = resistenza allo scorrimento.

I pali trivellati ¹ dovranno, in ogni caso, raggiungere ed immorsarsi nei terreni ghiaiosi più compatti presenti a quote variabili da -6 m dal piano stradale lato via Conce e -2,3 m dal p.c. in corrispondenza del perimetro dell'edificio lato via Lungara Rio.

Il calcolo viene effettuato su due verticali di indagine: verticale in coincidenza della stratigrafia S1 e verticale in coincidenza della stratigrafia P1:

Resistenza nominale

Calcolo indicativo palo Ø 400 a - 8 mt. di profondità dal p. c. attuale – stratigrafia tipo S1(esclusi riporti):

Portata Limite Totale [Q_{lim}]	L1 (2m)	L2 (6m)	base
Portata Limite di Base [Q_b]	-	-	80.38 t
Portata Limite laterale [Q_s]	2,28 t	35,29 t	
Peso proprio del palo [W_p]	2.51 t		

Calcolo indicativo palo Ø 400 a - 8 mt. di profondità dal p. c. attuale – stratigrafia tipo p1 (esclusi riporti):

Portata Limite Totale [Q_{lim}]	L1 (1,6 m)	L2 (6,4m)	base
Portata Limite di Base [Q_b]	-	-	80.38 t
Portata Limite laterale [Q_s]	1,46 t	40,15 t	
Peso proprio del palo [W_p]	2.51 t		

¹ L'incamiciatura dei pali sarà verificata in funzione della stabilità dei fori di sondaggio.

Resistenza caratteristica

$$R_n \quad 80,38 \quad 37,57$$

$$R_k(\text{min}) = \frac{80,38}{1,55} + \frac{37,57}{1,55} = 51,85 + 24,23 = 76,08 \text{ t/palo}$$

$$\zeta_4 \quad 1,55 \quad 1,55$$

$$R_n \quad 80,38 \quad 39,59$$

$$R_k(\text{med}) = \frac{80,38}{1,65} + \frac{39,59}{1,65} = 48,71 + 23,99 = 72,70 \text{ t/palo}$$

$$\zeta_3 \quad 1,65 \quad 1,65$$

con $\zeta_4 = 1,55$ e $\zeta_3 = 1,65$ (fattori di correlazione Tab. 6.4.IV DM 17/1/2018)

Il valore minimo è costituito da $R_k(\text{med}) = 72,70 \text{ t/palo}$; si valuta il valore della resistenza di progetto che è pari a R_c/γ_r :

Dove: γ_r ($\gamma_b + \gamma_s$) = coeff. parziali di riduzione della resistenza

Resistenza di progetto

Il carico ammissibile (R_d) sui pali, è stato valutato adottando coefficienti di sicurezza parziali (γ_b , γ_s) (Tab. 6.4.II D.M. 17/01/2018) pari rispettivamente a $\gamma_b = 1,35$ e $\gamma_s = 1,15$, da cui si avrà:

$$48,71 \quad 23,99$$

$$R_d = \frac{48,71}{1,35} + \frac{23,99}{1,15} = 36,08 + 20,86 - 2,51 = 54,4 \text{ tonn/palo.}$$

$$1,35 \quad 1,15$$

11 CRITERI DI INTERVENTO - CONCLUSIONI:

L'edificio è costituito da un corpo di fabbrica principale con pianta quadrata di circa 11mx11m, ed è collocato su di una superficie con pendenza di circa 14° in cui il piano di fondazione, adattandosi al pendio, è posto a quote variabili da circa -3,6 m (lato via Conce) a circa -0,9 m (lato via Lungara Rio).

I terreni di fondazione dell'edificio devono essere riferiti ai depositi alluvionali costituiti da alternanza di ghiaie e limi con prevalenza di questi ultimi fino alla profondità di circa 2,2-2,3 m dal piano campagna in corrispondenza del prospetto di valle dell'edificio (via Lungara Rio). Nella Tabella 1 e Tabella 2 tali terreni sono stati denominati con la sigla "AI". Essi presentano caratteristiche meccaniche medio basse e comportamento geotecnico disuniforme entro il piano fondale dell'edificio.

Benché il quadro fessurativo dell'edificio non sembra denunciare l'occorrenza di fenomeni di cedimento differenziale a carico dei terreni di fondazione, è opportuno nel caso di demolizione e ricostruzione dello stesso operare mediante la realizzazione di una nuova fondazione profonda che vada a raggiungere ed incastrarsi nei terreni prettamente ghiaiosi rinvenuti alle quote di circa -6 m dal piano di via Conce a -2,3 m da piano di via Lungara Rio.

In definitiva pertanto è possibile esprimere dal punto di vista geologico-tecnico un giudizio positivo sulla fattibilità degli interventi in progetto con la necessità di realizzare fondazioni profonde tipo pali.

La demolizione dell'edificio esistente produrrà come conseguenza quella di dover proteggere la parete verticale che si genera lato via Conce. Questo potrà essere effettuato oltre che con un'opera rigida preventiva alla demolizione, anche mediante opere provvisoriale puntellando o tirantando adeguatamente il muro contro terra esistente.

L'analisi sismica del sito e dell'edificio ha fornito i seguenti risultati:

- La velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio, entro i primi trenta metri di terreno al di sotto del piano fondale, è pari a $V_{s_{eq}} = 547$ m/sec. **Il terreno presente nell'area in esame, appartiene alla Categoria "B": Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.**
- **L'analisi di Risposta Sismica Locale** effettuata mediante modellazione numerica 1D con il codice di calcolo "Strata" ha fornito uno spettro di risposta in accelerazione più gravoso rispetto all'analogo spettro derivante da NTC 2018. Risulta pertanto opportuno far riferimento, per la progettazione, allo spettro di risposta derivante dalla RSL.
- Le **coordinate dello spettro da RSL** regolarizzato ed i parametri fondamentali che lo descrivono sono indicati al capitolo 8 e nell'allegato specifico.
- **La PGA** ovvero *l'accelerazione spettrale massima attesa al sito* calcolata mediante analisi di Risposta Sismica Locale 1D, **è pari a 0,285 g**
- La frequenza (o periodo) fondamentale dell'edificio in esame misurati sperimentalmente mediante analisi vibrazionale disaccoppiata è pari a circa 4,66 Hz (0,215 s)
- Il sito presenta una frequenza di risonanza a circa 10.5 Hz. Tali frequenze non si sovrappongono alla frequenza propria dell'edificio in esame definendo in caso di sisma, assenza di fenomeni di doppia risonanza terreno-struttura

Senigallia, luglio 2021

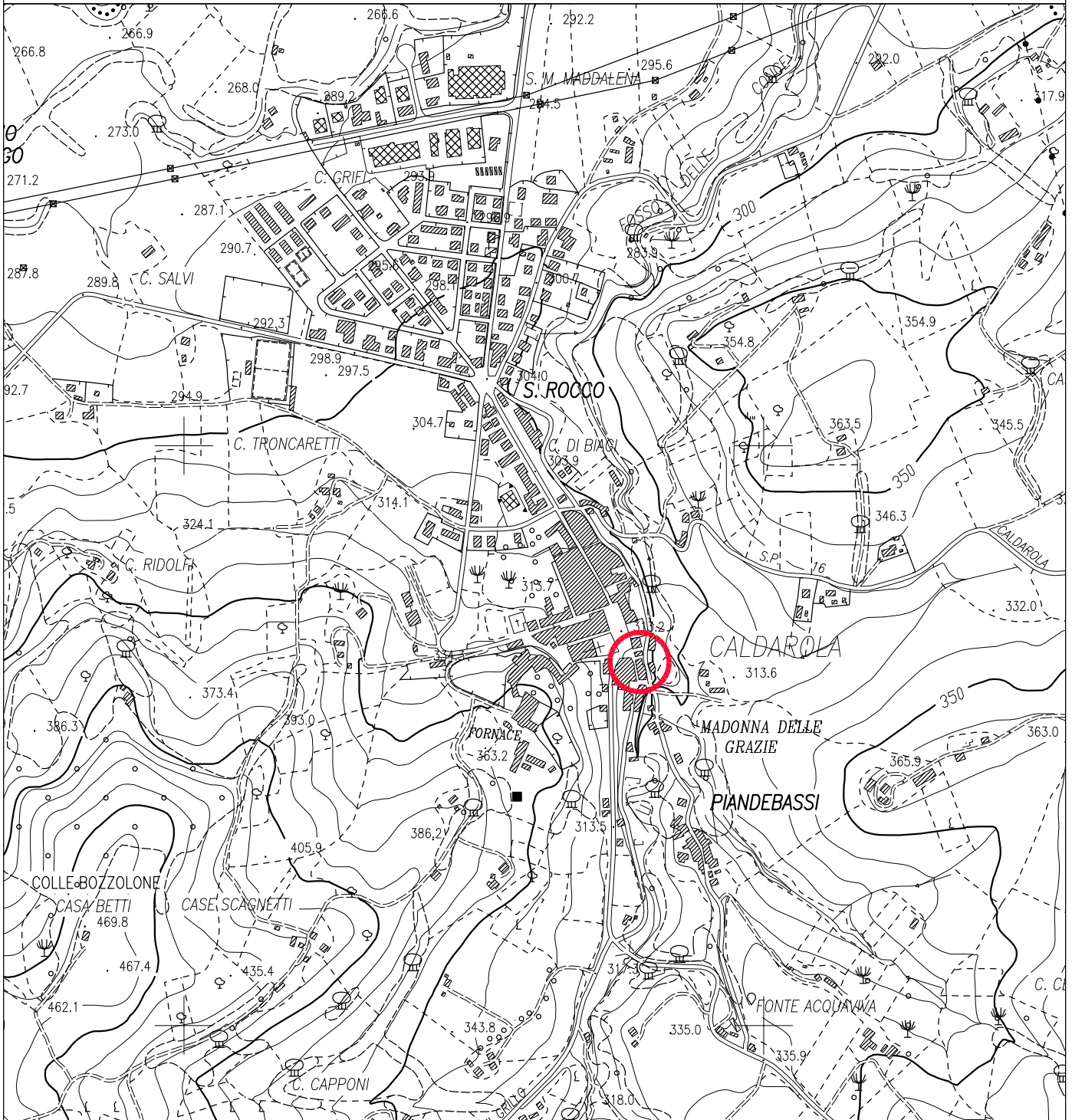
COROGRAFIA SCALA 1:10000

STRALCIO



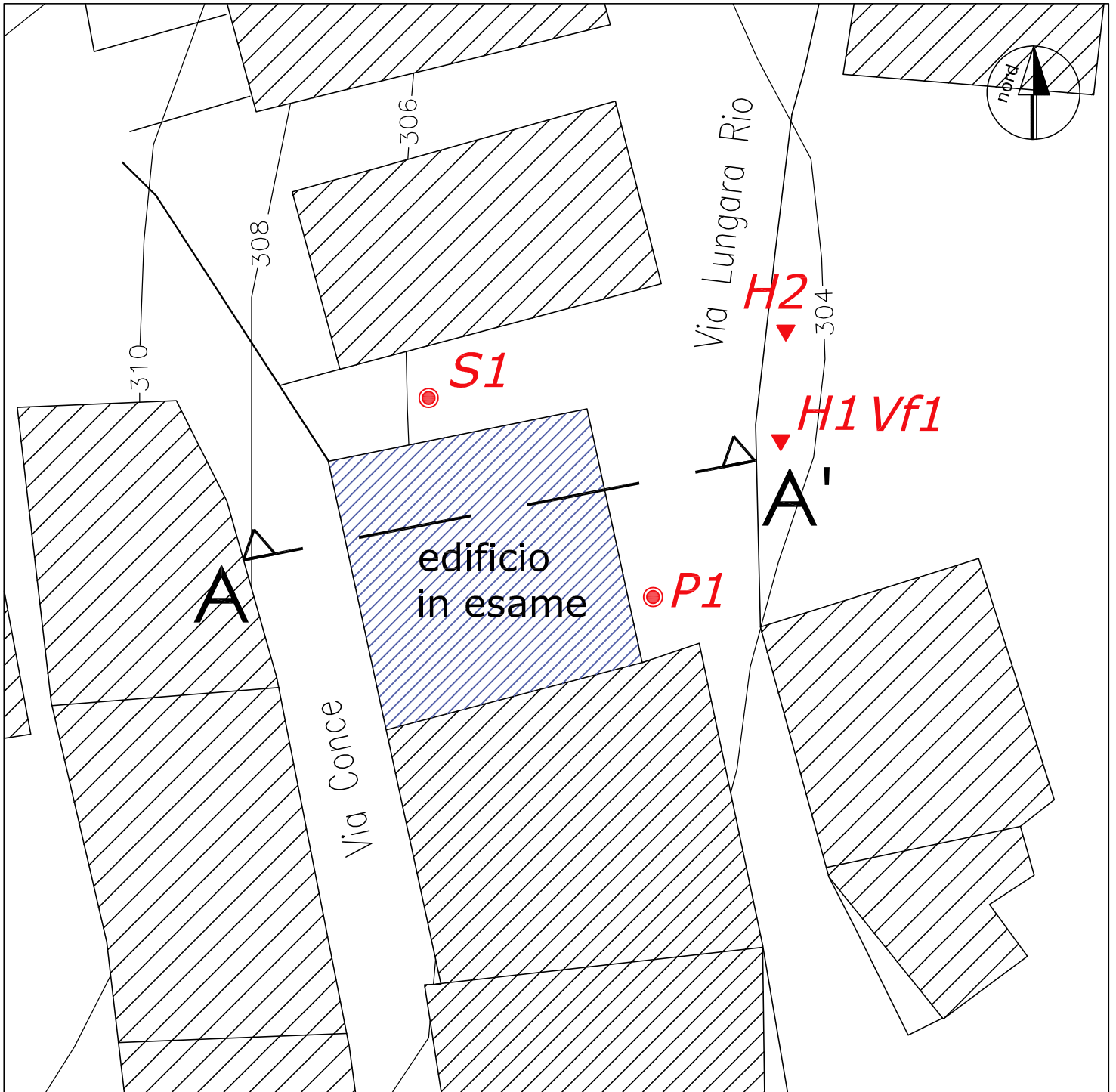
REGIONE MARCHE
GIUNTA REGIONALE
Ufficio Cartografia e Informazioni Territoriali

CARTA TECNICA REGIONALE
Sezioni n° 313070 - Caldarola



UBICAZIONE AREA DI INDAGINE

PLANIMETRIA scala 1:250



LEGENDA

<i>P1</i> ●	sondaggio penetrometrico dinamico
<i>S1</i> ●	sondaggio a c.c.
A — — — A'	traccia sezione geologica
<i>H1</i> ▼	prospezione sismica passiva HVSr
<i>Vf1</i> ▼	prospezione sismica attiva MFA (HoliSurface)

SEZIONE GEOLOGICA A-A'
scala 1:100

edificio in esame

via Conce

muro

via Lungara Rio

S1

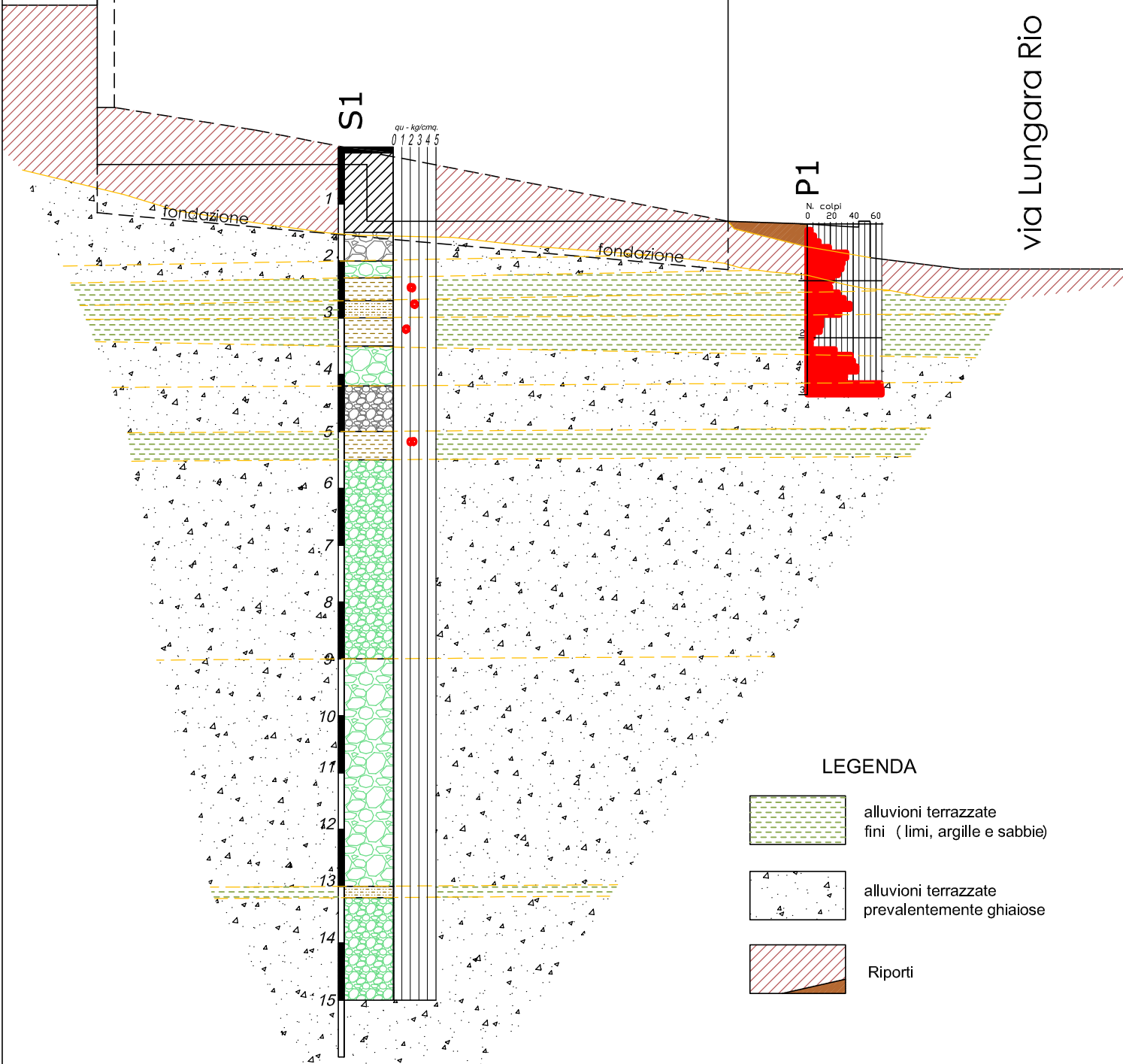
qu - kg/cm²
0 1 2 3 4 5

P1

N colpi
0 20 40 60

fondazione

fondazione



LEGENDA

-  alluvioni terrazzate fini (limi, argille e sabbie)
-  alluvioni terrazzate prevalentemente ghiaiose
-  Riporti

mariano tesei geologo

st. Soccorso 59/a - 60019 Senigallia (AN)
tel. 328.3920833 - email: mtesei@libero.it

SONDAGGIO N° 1

Data 01/08/2018

Committente: Corradorini, Biondi

Lavoro: edificio lesionato dal sisma 2016

Sistema perforazione rotazione

Diametro 101

quota

profondità mt.	stratigrafia	campioni	prof. campioni	descrizione terreno	Cu (kg/cmq.)	pocket penetrometer
0.1				copertura e fondo stradale: asfalto e inerti		0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
1				materiale inerte di riporto, grossolano con ciottoli e frammenti laterizi. Matrice limosa.		
1.5				ghiaia e ciottoli in matrice limosa grigia	DEPOSITI ALLUVIONALI	
2				ghiaia e ciottoli in matrice limosa nocciola		
2.3				limo argilloso nocciola		
2.7				limo sabbioso nocciola		
3				limo argilloso con elementi ghiaiosi		
3.5				ghiaia e sabbia in matrice limosa nocciola		
4				ghiaia addensata in matrice sabbioso-limosa grigia		
4.2				ghiaia molto addensata in matrice sabbiosa nocciola		
4.7				limo argilloso nocciola		
5						
5.5						
6						
7				Ghiaia e sabbia addensata con ciottoli poligenici arrotondati poco maturi di colore dal bianco al rosato, raramente arenacei. Matrice sabbioso limosa a luoghi limo-sabbiosa.		
8						
9						
10				Ghiaia e ciottoli (fino a 4-5 cm) in matrice limo-sabbiosa. ghiaie con elementi arrotondati poco maturi poligenici raramente arenacei. Presenza di spalmarture torbose a circa 11 m.		
11						
12						
13				limo sabbioso nocciola		
13.2						
14				Ghiaia e sabbia addensata in matrice limosa nocciola con rari ciottoli.		
15				fine sondaggio		
16						
17						
18						
19						

INFILTRAZIONI IDRICHE assente

FALDA

NOTE

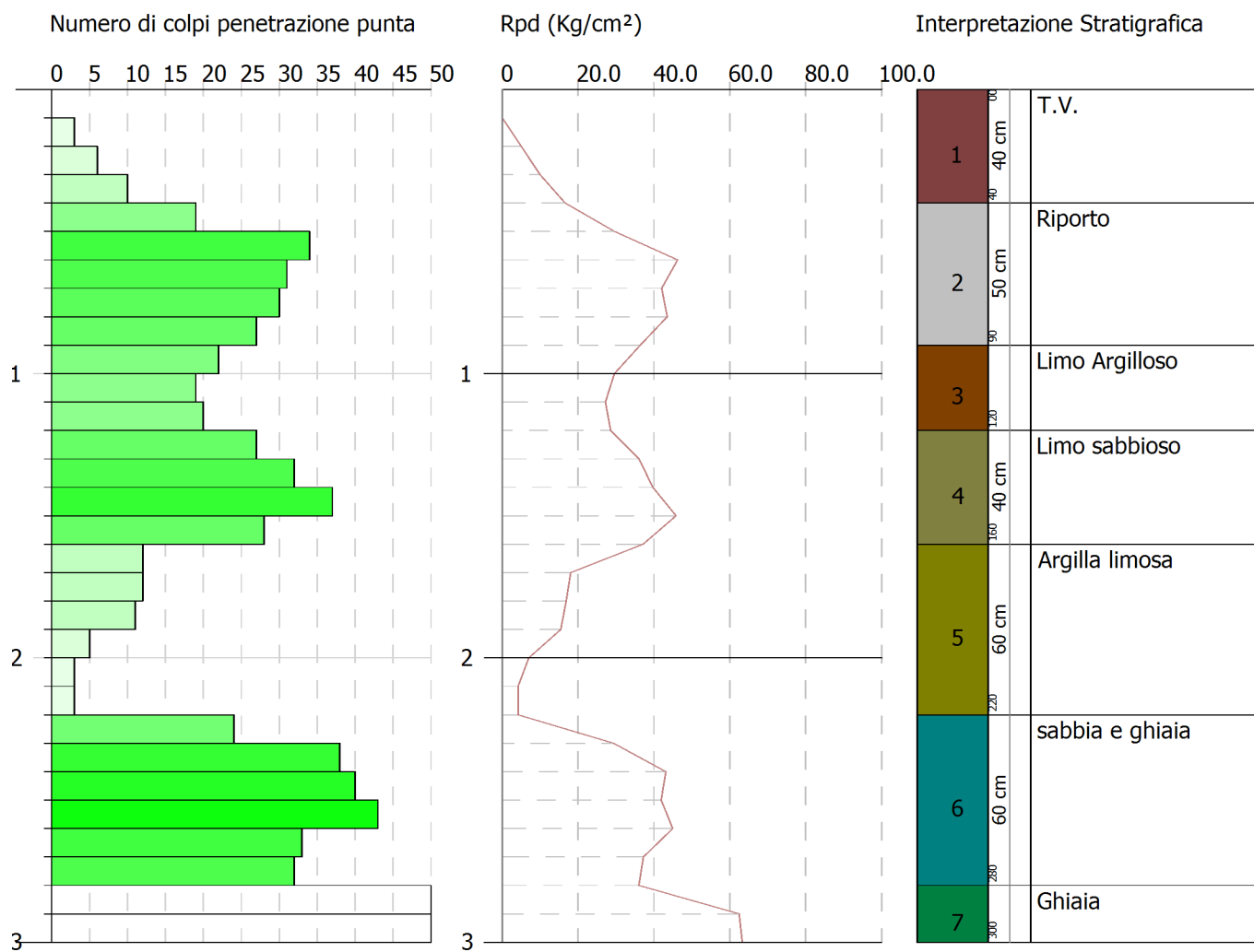
PROVA PENETROMETRICA DINAMICA P1

Committente: Corradorini - Biondi
via Lungara Rio - Caldarola

Caratteristiche Tecniche-Strumentali Sonda: DL-20 (60°)

Rif. Norme	DIN 4094	Peso aste a metro	3 Kg/m
Peso Massa battente	20 Kg	Profondità giunzione prima asta	0.80 m
Altezza di caduta libera	0.20 m	Avanzamento punta	0.10 m
Peso sistema di battuta	18 Kg	Numero colpi per punta	N (10)
Diametro punta conica	35.68 mm	Coeff. Correlazione	0.466
Area di base punta	10 cm ²	Rivestimento/fanghi	No
Lunghezza delle aste	1 m	Angolo di apertura punta	60 °

Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Kg/cm ²)	Res. dinamica (Kg/cm ²)
0.10	0	0.857	0.00	0.00
0.20	3	0.855	5.00	5.85
0.30	6	0.853	9.98	11.71
0.40	10	0.851	16.60	19.51
0.50	19	0.799	29.62	37.07
0.60	34	0.697	46.24	66.34
0.70	31	0.695	42.05	60.49
0.80	30	0.743	43.51	58.54
0.90	27	0.742	36.40	49.09
1.00	22	0.740	29.59	40.00
1.10	19	0.788	27.22	34.55
1.20	20	0.786	28.59	36.36
1.30	27	0.735	36.06	49.09
1.40	32	0.683	39.73	58.18
1.50	37	0.681	45.83	67.27
1.60	28	0.730	37.14	50.91
1.70	12	0.828	18.06	21.82
1.80	12	0.826	18.03	21.82
1.90	11	0.825	15.44	18.72
2.00	5	0.823	7.01	8.51
2.10	3	0.822	4.20	5.11
2.20	3	0.820	4.19	5.11
2.30	24	0.719	29.36	40.85
2.40	38	0.667	43.15	64.68
2.50	40	0.616	41.92	68.09
2.60	43	0.614	44.96	73.19
2.70	33	0.663	37.23	56.17
2.80	32	0.661	36.03	54.47
2.90	64	0.610	62.47	102.40
3.00	65	0.609	63.30	104.00



Coordinate degli spettri di risposta - SLV

spettro da RSL					
periodo	accelerazione	periodo	accelerazione	periodo	accelerazione
0	0,2852	0,1523	0,6749	2,4649	0,024186
0,01	0,287	0,1618	0,5868	2,6186	0,02117
0,0106	0,2872	0,1719	0,5593	2,782	0,019685
0,0113	0,2875	0,1826	0,527	2,9556	0,018713
0,012	0,2878	0,194	0,5082	3,14	0,018073
0,0127	0,2881	0,2061	0,5455	3,3359	0,016808
0,0135	0,2885	0,219	0,5741	3,544	0,015323
0,0144	0,2889	0,2327	0,5936	3,7651	0,01363
0,0153	0,2895	0,2472	0,5808	4	0,011963
0,0162	0,29	0,2626	0,63		
0,0172	0,2908	0,279	0,6477		
0,0183	0,2915	0,2964	0,6332		
0,0195	0,2926	0,3149	0,6083		
0,0207	0,2936	0,3345	0,5287		
0,022	0,2951	0,3554	0,5012		
0,0233	0,2963	0,3776	0,4988		
0,0248	0,2977	0,4011	0,4319		
0,0263	0,2979	0,4262	0,4012		
0,028	0,2996	0,4527	0,3536		
0,0297	0,3064	0,481	0,3255		
0,0316	0,3172	0,511	0,2798		
0,0335	0,3273	0,5429	0,2768		
0,0356	0,3266	0,5768	0,278		
0,0379	0,3372	0,6127	0,2716		
0,0402	0,3384	0,651	0,2416		
0,0427	0,3626	0,6916	0,2209		
0,0454	0,3737	0,7347	0,2116		
0,0482	0,3789	0,7806	0,1949		
0,0512	0,3969	0,8293	0,1785		
0,0544	0,4325	0,881	0,1483		
0,0578	0,4821	0,936	0,1343		
0,0614	0,4917	0,9944	0,1246		
0,0653	0,5322	1,0564	0,113		
0,0694	0,5747	1,1223	0,1039		
0,0737	0,6436	1,1923	0,0959		
0,0783	0,6644	1,2667	0,0867		
0,0832	0,662	1,3457	0,0826		
0,0883	0,6988	1,4297	0,0774		
0,0939	0,7093	1,5189	0,0678		
0,0997	0,7537	1,6136	0,0581		
0,1059	0,7601	1,7143	0,0495		
0,1125	0,8086	1,8213	0,0419		
0,1196	0,7856	1,9349	0,0373		
0,127	0,7777	2,0556	0,0334		
0,135	0,7954	2,1839	0,0302		
0,1434	0,7572	2,3201	0,0272		

TC	0,260
a max	0,285
TB	0,087
TD	1,716
FO	2,422

spettro rsl regolarizzato	
periodo	accelerazione
	0 0,285156673
TB	0,08658 0,690665952
TC	0,25974 0,690665952
	0,32911 0,54509812
	0,39847 0,450209881
	0,46784 0,383459047
	0,5372 0,333946172
	0,60656 0,295757472
	0,67593 0,265406666
	0,74529 0,240705342
	0,81466 0,220210419
	0,88402 0,202931741
	0,95338 0,188167306
	1,02275 0,175405557
	1,09211 0,1642649
	1,16148 0,154454897
	1,23084 0,145750581
	1,30021 0,137974991
	1,36957 0,130987016
	1,43893 0,124672756
	1,5083 0,11893926
	1,57766 0,113709927
	1,64703 0,108921059
TD	1,71639 0,104519253
	1,82513 0,092435561
	1,93388 0,082332395
	2,04262 0,073799456
	2,15136 0,06652744
	2,26011 0,060279616
	2,36885 0,05487231
	2,47759 0,050161248
	2,58634 0,046031834
	2,69508 0,042392115
	2,80382 0,039167615
	2,91257 0,036297497
	3,02131 0,033731671
	3,13005 0,031428595
	3,2388 0,02935358
	3,34754 0,02747748
	3,45628 0,02577566
	3,56503 0,024227182
	3,67377 0,022814163
	3,78251 0,021521253
	3,89126 0,020335213
	4 0,019244583

spettro da RSL - STATO LIMITE DEL DANNO (SLD)

spettro da RSL					
periodo	accelerazione	periodo	accelerazione	periodo	accelerazione
0	0,1092911	0,1523192	0,2332897	2,4648615	0,0168148
0,01	0,1103415	0,1618222	0,2359535	2,6186409	0,0155076
0,0106239	0,1104427	0,171918	0,223325	2,7820145	0,0138452
0,0112867	0,1105603	0,1826438	0,2240484	2,9555807	0,0125785
0,0119909	0,1106957	0,1940387	0,2273303	3,1399755	0,011323
0,012739	0,1108519	0,2061445	0,2358187	3,3358744	0,010906
0,0135337	0,1110246	0,2190056	0,2447214	3,5439952	0,0104865
0,0143781	0,1112118	0,232669	0,2512333	3,7651004	0,0094588
0,0152751	0,1114519	0,2471849	0,2503845	4	0,0080574
0,0162281	0,1117921	0,2626065	0,2327544		
0,0172405	0,1120706	0,2789902	0,2340911		
0,0183162	0,1122879	0,296396	0,239218		
0,0194589	0,1126732	0,3148877	0,2274839		
0,0206729	0,1132958	0,3345332	0,2231768		
0,0219626	0,1138223	0,3554043	0,2090158		
0,0233329	0,1144838	0,3775775	0,1848584		
0,0247886	0,1154128	0,401134	0,1646723		
0,0263351	0,1164649	0,4261602	0,159117		
0,0279781	0,118235	0,4527478	0,1486918		
0,0297236	0,1212608	0,4809941	0,1404785		
0,031578	0,1256621	0,5110027	0,1351258		
0,0335482	0,1277457	0,5428835	0,1372122		
0,0356412	0,1293324	0,5767533	0,1367425		
0,0378648	0,1365315	0,6127362	0,1204988		
0,0402271	0,1487704	0,650964	0,1056853		
0,0427368	0,1485297	0,6915768	0,1049598		
0,0454031	0,1460278	0,7347233	0,1044051		
0,0482358	0,144193	0,7805618	0,0961545		
0,0512451	0,1559055	0,82926	0,0843989		
0,0544423	0,1592555	0,8809964	0,0789265		
0,0578388	0,1669837	0,9359606	0,072582		
0,0614473	0,1787956	0,994354	0,064608		
0,0652809	0,1826901	1,0563904	0,0611439		
0,0693537	0,2047091	1,1222972	0,0580758		
0,0736806	0,2271684	1,1923158	0,0531063		
0,0782775	0,2511048	1,2667028	0,0479356		
0,0831611	0,2638661	1,3457307	0,0446016		
0,0883494	0,2679665	1,4296891	0,0414954		
0,0938614	0,2683736	1,5188855	0,038375		
0,0997173	0,2973984	1,6136468	0,0368338		
0,1059385	0,2981496	1,7143201	0,0316455		
0,1125479	0,2742159	1,8212742	0,0289268		
0,1195696	0,254445	1,9349011	0,0274635		
0,1270294	0,2447902	2,0556171	0,0255044		
0,1349546	0,2302409	2,1838643	0,0221199		
0,1433742	0,2318214	2,3201127	0,0192143		

TC	0,298
a max	0,109
TB	0,099
TD	1,645
FO	2,212

spettro rsl regolarizzato		
periodo	accelerazione	
	0	0,0890511
TB	0,1362312	0,2203081
TC	0,4086937	0,2203081
	0,4795576	0,1877533
	0,5504216	0,163581
	0,6212856	0,1449229
	0,6921496	0,1300854
	0,7630135	0,1180038
	0,8338775	0,1079757
	0,9047415	0,0995185
	0,9756055	0,0922899
	1,0464694	0,0860403
	1,1173334	0,0805834
	1,1881974	0,0757774
	1,2590614	0,0715124
	1,3299253	0,0677019
	1,4007893	0,064277
	1,4716533	0,0611819
	1,5425172	0,0583712
	1,6133812	0,0558074
	1,6842452	0,0534593
	1,7551092	0,0513008
	1,8259731	0,0493099
TD	1,8968371	0,0474677
	1,9969877	0,042826
	2,0971383	0,0388333
	2,197289	0,035374
	2,2974396	0,0323572
	2,3975902	0,0297104
	2,4977408	0,0273756
	2,5978914	0,0253056
	2,698042	0,0234618
	2,7981926	0,0218124
	2,8983432	0,020331
	2,9984939	0,0189956
	3,0986445	0,0177875
	3,1987951	0,0166911
	3,2989457	0,0156931
	3,3990963	0,0147819
	3,4992469	0,0139479
	3,5993975	0,0131825
	3,6995482	0,0124785
	3,7996988	0,0118293
	3,8998494	0,0112296
	4	0,0106743