

Regione:

REGIONE EMILIA ROMAGNA

Comune di Sala Bolognese

Provincia di Bologna

Committente:

Comune di Sala Bolognese

Studio Geologico Geotecnico inerente il progetto di:

“Studio geologico geotecnico di un’area interessata dal progetto di ampliamento di una scuola, sita in località Padulle, angolo Via della Pace e Piazza G. Marconi, in Comune di Sala Bolognese (BO)”

FOGLIO N°26 – MAPPALE N°12

Tecnico:

Ing. Maria Luisa Tempesta

INGEGNERE

sede legale: Via Francioni, 4 - 40137 Bologna

C.F. TMPMLS54L69G479Y - P.IVA 03218801201

sede operativa: Via Pietralata, 18/a – 40122 Bologna

tel. +39 051 6492110 - fax +39 051 6492112 - mob. +39 335 5985356

mail marialuisa.tempesta@gmail.com

pec marialuisa.tempesta@ingpec.eu

RELAZIONE GEOLOGICO - GEOTECNICA

Data:

Novembre 2014

Dr. Geol. Francesco Cevoli

STUDIO TECNICO PROFESSIONALE

ORDINE DEI GEOLOGI

Regione Emilia-Romagna

ISCR. ALBO N. 475

Protocollo n.:

14040/GEO (Ampliamento Scuola Padulle – Sala Bolognese)

INDICE

1 PREMESSA	4
1.1 Scopi della relazione	4
1.2 Dati della proprietà	4
1.3 Cenni sull'Intervento in progetto	4
2 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO	5
2.1 Localizzazione geografica e plano-altimetrica	5
2.2 Inquadramento dell'area nel contesto	5
2.3 Dati identificativi dell'area	5
3 GEOMORFOLOGIA	5
3.1 Inquadramento geomorfologico	5
3.2 Rilevamento geomorfologico	5
3.3 Valutazione degli elementi morfologici presenti	5
3.4 Possibile evoluzione morfologica	5
4 GEOLOGIA	5
4.1 Inquadramento geologico	5
4.1.1 <i>Rilevamento geologico</i>	5
4.1.2 <i>Dati di bibliografia</i>	6
4.1.3 <i>Indagini geognostiche</i>	6
4.2 Caratterizzazione geologica del sito	6
4.2.1 <i>Geologia generale</i>	6
4.2.2 <i>Stratigrafia e Litologia</i>	6
2.3 Caratteristiche Stratigrafiche	7
5 CARATTERIZZAZIONE IDROGRAFICA E IDROGEOLOGICA	7
5.1 Caratteristiche del bacino idrografico	7
5.2 Caratteristiche idrografiche locali	7
5.3 Idrogeologia	7
5.4 Inquadramento, classificazione e vincoli	7
6 INDAGINI GEOGNOSTICHE	7
6.1 Piano delle indagini geognostiche	7
6.1.1 <i>Indagini in situ</i>	8
6.1.2 <i>Indagine sismica</i>	8
7 VALUTAZIONI GEOTECNICHE	8
7.1 Considerazioni generali	8
7.1.1 <i>Caratteristiche meccaniche</i>	8
7.1.2 <i>Caratteri geomeccanici</i>	8
7.1.3 <i>Portanza del terreno</i>	8
7.2 Specifiche per il dimensionamento delle opere di fondazione	9
7.3 Calcolo dei Cedimenti	9
7.3.1 <i>Stima del Cedimento</i>	9
7.3.2 <i>Valutazione sui cedimenti</i>	9
8 CLASSIFICAZIONE SISMICA	9
8.1 Indicazioni relative alla Normativa Sismica vigente	9
8.2 Indicazioni relative alla Nuova Normativa Sismica (D.M. 14/01/2008)	10
8.3 Liquefazione	10
9 VERIFICA DELLA STABILITÀ	12
9.1 Stato attuale	12
9.2 Stato di progetto	12
10 STABILITÀ DELLE PARETI DI SCAVO E DRENAGGI	12

10.1 Scavi e sbancamenti	12
10.1.1 Modalità di esecuzione dello sbancamento	12
10.1.2 Generalità ed avvertenze	13
10.2 Drenaggio e regimazione acque	13
11 CONCLUSIONI	13

ALLEGATI

- ❑ Ubicazione Area d’Intervento e Inquadramento Territoriale
- ❑ Ubicazione e risultanze delle indagini penetrometriche statiche (CPT)
- ❑ Calcolo dei Parametri Geotecnici (valori caratteristici e di progetto)
- ❑ Verifica allo Stato Limite Ultimo (SLU) – Calcolo di R_d
- ❑ Calcolo e Stima dei Cedimenti
- ❑ Elaborati di Calcolo della Verifica della Stabilità del Versante
 - *Calcolo Altezza Critica della scarpata di scavo*
- ❑ Studio sismico (indagini sismiche e relazione interpretativa)
- ❑ “Spettri di Risposta”
(classificazione del sito ai sensi del D.M. 14/01/2008):
 - *Pericolosità Sismica di base*
 - *Strategia di Progetto*
 - *Azione di Progetto (Risposta Sismica Locale)*

1 PREMESSA

1.1 Scopi della relazione

Nella presente relazione si riferiscono i risultati di uno studio a carattere geologico-geotecnico svolto per incarico della committenza, inerente "Studio geologico geotecnico di un'area interessata dal progetto di ampliamento di una scuola, sita in località Padulle, angolo Via della Pace e Piazza G. Marconi, in Comune di Sala Bolognese (BO)".

Fine della presente perizia è quello di ottenere, per il sito in esame, una caratterizzazione:

- Geologica natura, stratigrafia, morfologia, idrologia, ecc.;
- Geotecnica definizione dei parametri geotecnici caratteristici e di progetto;
- Sismica definizione dell'Azione Sismica (Vs30 onde di taglio), Potenziale di Liquefazione.

Tali caratterizzazioni del sito in oggetto, sono state ottenute eseguendo un *rilevamento geologico* di superficie riguardante sia la zona in oggetto, che quelle immediatamente circostanti, supportato da indagini geognostiche e sismiche in sito.

L'area in esame è stata esaminata con l'esecuzione delle seguenti indagini:

A) n.2 Indagini Penetrometriche Statiche (CPT);

La stratigrafia, la natura e la resistenza dell'area in esame è stata dedotta dall'interpretazione dei risultati emersi dall'esecuzione di n.2 indagini penetrometriche (CPT), realizzate ad una profondità variabile, dal p.c. attuale, tra:

- m. -15,60 (CPT n.1)
- m. -15,00 (CPT n.2)

B) n.1 Indagine Sismica.

Sul terreno destinato al progetto di ampliamento della scuola in oggetto è stata condotta un'indagine sismica passiva e attiva, a stazione singola e in array, al fine di caratterizzare le proprietà del terreno (frequenze di risonanza, stratigrafia sismica relativa, profilo di Vs del sottosuolo), consistente in:

- una prova attiva MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves, Park *et al.*, 1999, *Geophys.*, 64, 800-808),
- una prova passiva ReMi (Refraction Microtremor, Louie, 2001, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 91, 347-364),
- 2 acquisizioni del microtremore ambientale a stazione singola in campo libero.

Tutte le indagini a cui si fa riferimento sono state svolte in conformità con le norme tecniche imposte dal D.M. del 11/03/1988 ("*Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, ...*") e, in particolare, con le nuove direttive indicate dal **D.M. del 14/01/2008** (Testo Unico "**Norme Tecniche per le Costruzioni**").

1.2 Dati della proprietà

Il Committente del presente studio è l'Amministrazione comunale di Sala Bolognese.

1.3 Cenni sull'Intervento in progetto

Il progetto prevede la realizzazione di una sala polifunzionale in ampliamento alla scuola esistente (vedi progetto esecutivo).

4.1.2 Dati di bibliografia

Nonostante fossero già esistenti e disponibili dati di bibliografia, emersi da studi ed indagini eseguiti in prossimità del settore di pertinenza, sia ad opera del sottoscritto geologo, che di altri colleghi, si è ritenuto opportuno integrare lo stato dell'arte tramite indagini aggiuntive, dimensionate specificatamente per la caratterizzazione geologico - geotecnica e per la risposta sismica dei terreni presenti nel primo sottosuolo dell'area in esame.

Tale scelta è stata eseguita per affinare e calibrare il modello geologico individuato e per qualificarlo con un elevato grado di attendibilità, in modo da rappresentare il sito in esame con una elevata aderenza al reale contesto naturale.

4.1.3 Indagini geognostiche

Indagini Penetrometriche Statiche (CPT)

Per definire un'adeguata ricostruzione della natura, della stratigrafia e delle caratteristiche geotecniche dei terreni del sottosuolo dell'area in esame, è stata condotta un'indagine geognostica costituita dall'esecuzione di n.2 indagini penetrometriche (CPT), realizzate ad una profondità variabile, dal p.c. attuale, tra:

- m. -15,60 (CPT n.1)
- m. -15,00 (CPT n.2)

Indagini Sismiche

Per ottenere un'affidabile classificazione sismica si è proceduto all'acquisizione diretta di misure sperimentali di Velocità delle onde di taglio (Vs) e di Frequenza di Risonanza dei terreni, tramite una campagna di indagine sismica attiva e passiva, a stazione singola e multicanale, consistente in:

- una prova attiva MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves, Park *et al.*, 1999, *Geophys.*, 64, 800-808),
- una prova passiva ReMi (Refraction Microtremor, Louie, 2001, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 91, 347-364),
- 2 acquisizioni del microtremore ambientale a stazione singola in campo libero.

4.2 Caratterizzazione geologica del sito

4.2.1 Geologia generale

Il settore di pianura di pertinenza dell'area in esame è caratterizzato dalla presenza di terreni fluvio-alluvionali quaternari (Olocene).

Il fattore responsabile della sequenza fluvio-alluvionale è stato, in passato, il reiterarsi delle esondazioni del Fiume Reno.

4.2.2 Stratigrafia e Litologia

La successione stratigrafica dell'area in esame, definita grazie alle indagini geognostiche e da dati bibliografici in mio possesso, è schematizzabile nel seguente modo:

- Terreno agrario
- Depositi fluvio-alluvionali

Depositi Fluvio-Alluvionali

Il primo termine della successione è caratterizzato da depositi di tipo alluvionale. La natura di tali depositi, costituita da corpi lenticolari sovrapposti, di spessore estremamente variabile da qualche decimetro a qualche metro, è in prevalenza argillosa e argilloso-limosa, con presenza di intercalazioni di livelli di argille ricche di materiale organico e/o di rare lenti limoso-sabbiose e sabbiose.

Terreno Agrario

Il secondo termine della successione, quello superficiale a diretto contatto con la superficie topografica, è costituito da terreno agrario a prevalente componente limosa e limoso-argillosa, con spessore variabile, mediamente di circa 40 cm.

2.3 Caratteristiche Stratigrafiche

In considerazione dell'elevata eterogeneità verticale ed orizzontale, caratteristica dei depositi fluvio-alluvionali, per l'esatta visione della stratigrafia si rimanda agli appositi elaborati, denominati "Diagrammi Litologia", ricostruiti dall'elaborazione delle indagini penetrometriche.

5 CARATTERIZZAZIONE IDROGRAFICA E IDROGEOLOGICA

5.1 Caratteristiche del bacino idrografico

L'area in oggetto ricade nel settore di pianura compresa tra il Fiume Reno, ad est, e il Torrente Samoggia (affluente di sinistra del Fiume Reno), ad ovest, che in tale tratto scorrono quasi paralleli.

L'area in esame è ubicata a breve distanza dall'argine occidentale del Fiume Reno (poche centinaia di metri), quindi in sua sinistra idrografica.

La direzione dell'asse del Fiume Reno, in questo specifico settore di pianura, ha un andamento da sostanzialmente rettilineo a poco ondulato, con direzione prevalente SSE-NNW.

La direzione del Torrente Samoggia, molto rettilinea, prima giunge in direzione SSW-NNE, per poi piegare anch'esso in direzione SSE-NNW.

5.2 Caratteristiche idrografiche locali

All'interno dei terreni fluvio-alluvionali della sequenza in esame si rileva una stabile e continua presenza di acqua di falda, ad una profondità rilevata durante le indagini penetrometriche di circa 2,40-2,50 m dal piano di campagna; una discreta circolazione idrica risulta quindi presente in considerazione della natura moderatamente permeabile del terreno, specialmente in quei livelli e lenti contenenti componenti limose e, raramente, limoso-sabbiose.

Si specifica che la quota di falda, nel corso dell'anno, potrebbe anche essere più prossima al piano di campagna, in quanto il valore sopra indicato è stato desunto dalle indagini penetrometriche che sono state eseguite in un periodo di elevata depressione della falda stessa, come può essere considerato l'attuale stagione autunnale (12/11/2014), anche se c'è da tener presente l'anomala piovosità della prima parte della passata stagione estiva.

5.3 Idrogeologia

L'esame di un adeguato contorno del settore areale in cui è ubicata l'area in oggetto, indica un basso grado di frequenza e di densità di drenaggio, indice di un deflusso superficiale organizzato e di una certa maturità.

5.4 Inquadramento, classificazione e vincoli

Preso visione del "Piano Stralcio del Bacino del Fiume Reno", l'area in esame non risulta soggetta a particolari vincoli territoriali.

6 INDAGINI GEOGNOSTICHE

6.1 Piano delle indagini geognostiche

L'area in esame è già molto conosciuta dal sottoscritto geologo, a causa dei dati esistenti in bibliografia e, in particolare, per le indagini svolte in aree adiacenti, alcune della stessa proprietà.

In conseguenza, per la modellazione geologica del sito in oggetto si è ritenuto sufficiente ed esaustiva l'esecuzione di ulteriori n.2 indagini penetrometriche statiche (CPT), che hanno completamente confermato i dati litologici e stratigrafici esistenti.

6.1.1 Indagini in sito

PROVE PENETROMETRICHE STATICHE (CPT)

Le n.2 prove penetrometriche statiche sono state eseguite il giorno 12 novembre 2014 e hanno fornito la situazione stratigrafica di cui alle elaborazioni in allegato con la definizione "Diagrammi Litologia".

6.1.2 Indagine sismica

INDAGINE SISMICA

Al fine di ottenere un'affidabile classificazione sismica del sito in esame, si è proceduto all'acquisizione diretta di misure sperimentali di Velocità delle onde di taglio (V_s) e di Frequenza di Risonanza dei terreni, tramite una campagna d'indagine sismica attiva e passiva, a stazione singola e multicanale, consistente in:

- una prova attiva MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves),
- una prova passiva ReMi (Refraction Microtremor),
- 2 acquisizioni del microtremore ambientale a stazione singola in campo libero.

Il dettaglio analitico di tale campagna è riproposto in un apposito elaborato in allegato.

7 VALUTAZIONI GEOTECNICHE

7.1 Considerazioni generali

La modellazione geologica ed idrogeologica, illustrata precedentemente, mette in risalto l'estrema disomogeneità laterale e verticale della sequenza stratigrafica esaminata, a conferma dei dati di bibliografia e delle attese.

7.1.1 Caratteristiche meccaniche

La natura dei terreni detritici, a prevalente componente argillosa e argilloso-limoso, presenta dei valori di resistenza meccanica variabili con la profondità, a seconda della prevalenza di componenti più competenti (limi e limi sabbiosi), o di componenti meno competenti (limi-argillosi, argille-limose, argille e argille organiche).

Il valore dei parametri geotecnici è stato definito sulla base dei valori emersi nel corso delle indagini dirette in sito (prove penetrometriche statiche); tali valori saranno caratteristici della sezione di terreno sottostante il piano di posa delle fondazioni.

7.1.2 Caratteri geomeccanici

Il calcolo dei parametri geotecnici del terreno in esame è stato effettuato secondo le procedure di cui al D.M. 14/01/2008 (Norme Tecniche per le Costruzioni), considerando il valore del 5° percentile (valore di progetto) dei parametri che regolano la Resistenza (R_d).

Il valore così calcolato della Resistenza (R_d), comprese le riduzioni parziali Y_M e Y_R , sarà il valore di resistenza di progetto caratteristico della sezione di terreno sottostante il piano di posa delle fondazioni.

Terreni Detritici

La resistenza meccanica espressa dai terreni detritici (fluvio-alluvionali), costituiti da una prevalenza di termini coesivi e, in misura subordinata, da terreni di tipo granulare, è legata, principalmente, al valore della coesione (c) e della coesione non drenata (C_u), trascurando l'incidenza dell'angolo di attrito (ϕ), in quanto estremamente localizzato e non rappresentativo.

7.1.3 Portanza del terreno

Premesso che:

- le considerazioni e le valutazioni seguenti, in materia di portanza del terreno di fondazione e di carichi applicabili, sono state concepite ed espresse in modo assolutamente conservativo,

- è la porzione del terreno granulometricamente più fine che regola maggiormente il comportamento meccanico del terreno stesso,
- la quota di fondazione degli elementi portanti dell'ampliamento della scuola in progetto (sala polivalente) è a 1,00 m al di sotto dell'attuale quota del piano di campagna,
- la struttura di fondazione sarà esclusiva scelta del tecnico progettista strutturale; il sottoscritto geologo, sulla base delle evidenze litologiche, stratigrafiche e geotecniche, consiglia l'utilizzo di una fondazione superficiale del tipo "a platea" in c.a.
- la stima dei cedimenti attesi deve essere contenuta e con un basso valore di distorsione angolare, andando a minimizzare gli eventuali cedimenti di tipo differenziale,

per il valore dei parametri di progetto (ϕ e C_u), ed il relativo calcolo della Resistenza (R_d), si rimanda alle apposite schede in allegato.

7.2 Specifiche per il dimensionamento delle opere di fondazione

La scelta finale ed il relativo dimensionamento delle fondazioni dell'opera in progetto sarà esclusivo compito di un tecnico abilitato.

Per quanto di competenza si consiglia l'utilizzo di un'unica tipologia di fondazione, del tipo "a platea" in c.a., posizionata ad una quota prossima a -1,00 m dal piano di campagna attuale.

L'esecuzione delle opere di fondazione, anche a seconda della stagione in cui saranno eseguite, potrebbero avvenire con interazione della falda freatica superficiale, quindi saranno da considerare tutti gli accorgimenti operativi del caso.

7.3 Calcolo dei Cedimenti

7.3.1 Stima del Cedimento

Uno dei fattori primari nella definizione del carico di esercizio è stato la verifica che i cedimenti attesi (stimati) fossero del tutto compatibili con le opere in progetto.

I carichi di esercizio (R_d) indicati nella presente relazione sono stati calcolati al fine di minimizzare l'entità dei cedimenti, sia primari, che secondari, in modo che l'entità degli stessi risultasse assolutamente compatibile con le opere in progetto.

7.3.2 Valutazione sui cedimenti

In considerazione dei dati emersi nel corso delle indagini geognostiche in situ, ed alla loro successiva elaborazione, si è valutato un carico d'esercizio (R_d) assolutamente compatibile con i cedimenti di tipo differenziale che risulteranno presenti, causa l'eterogeneità verticale ed orizzontale del terreno (vedi specifici allegati).

8 CLASSIFICAZIONE SISMICA

8.1 Indicazioni relative alla Normativa Sismica vigente

In relazione a quanto contenuto e previsto nella normativa in vigore, qui di seguito si forniscono gli elementi specialistici di competenza, necessari al progettista in ordine alle verifiche di sicurezza statica della costruzione in ambito sismico.

- 1) Il terreno indagato non presenta rischi di instabilità, né in atto, né potenziali
- 2) L'area e le future opere in progetto non sono prossimi a scarpate
- 3) Il terreno interessato dalle opere di fondazione:

- Il substrato, per sua natura, non è suscettibile alla liquefazione*;
- La natura dei terreni detritici (prevalenza di argille e argille limose) non caratterizzati da suscettibilità alla liquefazione, nonostante la presenza di acqua di falda, permette una loro indiscutibile classificazione come non suscettibili alla liquefazione;

Ai fini della definizione della azione sismica di progetto, in riferimento al Testo Unico (cap. 3.2.2 Categorie di sottosuolo), il suolo di fondazione dell'area in oggetto, sulla base della natura litologica, della stratigrafia accertata dalle indagini dirette in sito e, soprattutto dei risultati delle indagini sismiche specifiche, viene classificato in:

- **Categoria A** – Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di V_{S30} superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m.
- **Categoria B** – Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fine molto consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{S30} compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $N_{SPT30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $C_{u30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina).

- **Categoria C** – Depositati di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{S30} compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < N_{SPT30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < C_{u30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina).

- **Categoria D** - Depositati di terreni a grana grossa scarsamente addensati o terreni a grana fina scarsamente consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{S30} inferiori a 180 m/s (ovvero $N_{SPT30} < 15$ nei terreni a grana grossa e $C_{u30} < 70$ kPa nei terreni a grana fina).
- **Categoria E** - Terreni dei sottosuoli C e D per spessore non superiore a 20 m, posti sul substrato di riferimento (con $V_{S30} > 180$ m/s).

- 4) Ai sensi dell'ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n.3274 del 20 Marzo 2003, e delle "Norme Tecniche per le Costruzioni" (D.M. del 14/01/2008), l'area in esame (località Padulle), all'interno del Comune di Sala Bolognese, risulta essere classificata in **ZONA 3**.

8.2 Indicazioni relative alla Nuova Normativa Sismica (D.M. 14/01/2008)

Per procedere ai sensi delle "Norme Tecniche per le Costruzioni" (D.M. del 14/01/2008), i valori dei parametri necessari al calcolo strutturale antisismico, sono riportati in apposito allegato ["Spettri di Risposta"], in cui vengono definite:

- Fase 1 - Pericolosità Sismica di Base,
- Fase 2 - Strategia del Progetto
- Fase 3 - Azione di Progetto (Risposta Sismica Locale).

8.3 Liquefazione

Con il termine "liquefazione" si intende riferirsi alla perdita di resistenza dei terreni saturi sotto sollecitazioni statiche o dinamiche, in conseguenza delle quali il terreno raggiunge una condizione di fluidità pari a quella di una massa viscosa. Ciò avviene solitamente nei depositi di sabbie sciolte fini quando, sotto

* con il termine Liquefazione si intende una diminuzione di resistenza al taglio e/o di rigidità causata dall'aumento di pressione interstiziale in un terreno saturo non coesivo durante lo scuotimento sismico, tale da generare deformazioni permanenti significative o persino l'annullamento degli sforzi efficaci del terreno. La suscettibilità alla Liquefazione deve essere verificata quando la falda freatica si trova in prossimità della superficie ed il terreno di fondazione comprende strati estesi o lenti spesse di sabbie sciolte sotto falda, anche se contenenti una frazione fine limo-argillosa. Nel caso di edifici con fondazioni superficiali, la verifica della suscettibilità alla liquefazione può essere omessa se il terreno sabbioso saturo si trova a profondità superiore a 15 m dal piano campagna.

l'azione dei carichi applicati o di forze idrodinamiche, la pressione dell'acqua nei pori aumenta progressivamente fino ad uguagliare la pressione totale di confinamento, cioè quando gli sforzi efficaci (da cui dipende la resistenza al taglio) si riducono a zero.

I terreni suscettibili di liquefazione sono quelli in cui la resistenza alla deformazione è mobilizzata per attrito tra le particelle, quindi i terreni incoerenti. Nei materiali coesivi le forze intermolecolari riducono la mobilità delle particelle e, benché sotto l'azione di carichi la pressione interstiziale aumenti, il decadimento della resistenza è più graduale.

E' noto che in un materiale granulare incoerente la resistenza al taglio τ_f disponibile su di un piano di possibile scorrimento è esprimibile con la relazione di Coulomb:

$$\tau_f = \sigma \operatorname{tg} \varphi$$

dove σ è lo sforzo normale agente su tale piano e φ l'angolo di resistenza al taglio.

$$\tau_f = (\sigma - u) \operatorname{tg} \varphi'$$

in cui " u " è la pressione interstiziale.

Se u aumenta fino ad uguagliare la pressione totale $\sigma' = \sigma - u$ si annulla e la resistenza al taglio cade a zero. Il cambiamento di stato fisico che può conseguire alla perdita di resistenza viene indicato col termine "liquefazione". E' da osservare però che il verificarsi della condizione $\sigma' = 0$ non conduce necessariamente alla liquefazione del terreno. In particolari condizioni di addensamento iniziale l'annullamento della pressione efficace può essere infatti un fenomeno solo transitorio. La liquefazione di un deposito può avvenire sia in condizioni statiche che sotto sollecitazioni dinamiche cicliche o monotoniche.

Nei depositi di terreni incoerenti saturi possono essere identificati tre tipici meccanismi di liquefazione:

- a) *Liquefazione per filtrazione*
- b) *Liquefazione per effetto di carichi monotonicamente crescenti*
- c) *Liquefazione per effetto di carichi ciclici*

I principali fattori che inducono a classificare un terreno sabbioso saturo come "liquefacibile" sono:

- 1) *le caratteristiche delle vibrazioni sismiche;*
- 2) *la pressione di confinamento;*
- 3) *lo stato di addensamento;*
- 4) *la granulometria;*
- 5) *la storia sismica;*
- 6) *le condizioni di drenaggio;*
- 7) *l'età del deposito;*
- 8) *la storia geologica.*

I terreni indagati sono caratterizzati dalle seguenti condizioni al contorno:

- *litologia dei depositi superficiali sciolti prevalentemente di tipo argilloso e argilloso-limoso,*
- *falda idrica presente a bassa profondità,*
- *condizioni morfologiche caratteristiche di settore pianura,*
- *grado di consolidazione dei terreni normale.*

La presenza di acqua di falda potrebbe anche far inquadrare il terreno di fondazione in oggetto come: "moderatamente propenso alla liquefazione", ma la presenza statisticamente più elevata di tipi litologici non potenzialmente a rischio (argille e argille limose), fa ritenere l'area indagata "non soggetta al pericolo di liquefazione".

Per eventi sismici con Magnitudo particolarmente elevata, non si può escludere il manifestarsi di qualche moderato fenomeno tipo "vulcanetti di fango", derivanti dalla "fluidificazione" di quei rari depositi sabbiosi e sabbioso-limosi presenti in profondità. Tali fenomeni non sono altro che una liquefazione dei

terreni sabbiosi e sabbioso-limosi sotto falda, collocati anche ad una certa profondità dalla superficie, con trasporto del “fluido fangoso” verso l’alto, attraverso fratture che si aprono nel terreno.

9 VERIFICA DELLA STABILITÀ

9.1 Stato attuale

Non si esegue alcuna verifica della stabilità del versante in quanto l’area in esame risulta completamente pianeggiante.

9.2 Stato di progetto

A seguito degli interventi in progetto, mantenuti in efficienza, l’area esaminata dalla presente perizia, risultando del tutto assenti fenomeni di dissesto in atto o potenziale, può essere classificata: **di ottima stabilità**.

10 STABILITÀ DELLE PARETI DI SCAVO E DRENAGGI

10.1 Scavi e sbancamenti

10.1.1 Modalità di esecuzione dello sbancamento

La porzione della sequenza indagata, interessata dagli scavi di sbancamento, è costituita da: terreno detritico di origine fluvio-alluvionale, prevalentemente di tipo coesivo (argilla e argilla limosa); in subordine rari livelli organici (argille organiche e torbe) e da rari lenti granulari (limi sabbiosi e sabbie limose).

La porzione del terreno soggetta agli scavi di sbancamento è quindi prevalentemente di tipo coesivo, caratterizzata da un medio-basso valore della coesione e da un basso valore dell’angolo di attrito.

La stabilità delle pareti di scavo è regolata principalmente (teoricamente) dall’Angolo di Attrito Interno (ϕ).

Al valore naturale rilevato dell’angolo di attrito interno delle argille e argille limose ($\phi=21^\circ$), è ragionevole aggiungere un coefficiente di maggiorazione, a causa del contributo della coesione aggiuntiva dovuta alla piccola frazione di materiale fine presente al loro interno, oltre che da una maggiore consistenza dovuta a fenomeni chimici.

Tali fenomeni, assolutamente non quantificabili e caratteristici del deposito, sono i responsabili della naturale maggior stabilità rispetto a quella teorica derivante da analisi specifiche su campioni puntiformi dello stesso deposito.

Tale premessa è stata fatta, anche se non ancorata a specifiche e documentabili accertamenti scientifici, in quanto aderente al comportamento reale osservato nell’esperienza.

In considerazione della modesta entità dello sbancamento necessario alla realizzazione dell’opera (circa $h=1,00$ m), si indicano le seguenti modalità:

- Altezza sbancamento circa 1,00 m
- Angolo sbancamento 90° (scarpata verticale)

N.B.:

Si consiglia di avere in cantiere, durante le fasi di scavo, un’adeguata attrezzatura (pompe) che possano permettere l’eventuale prosciugamento del fondo scavo in caso di piogge intense.

N.B.:

La stabilità delle scarpate è garantita per il solo tempo strettamente necessario all’esecuzione delle opere di fondazione della porzione interrata; nel caso lo scavo di sbancamento dovesse rimanere “aperto” per un tempo più lungo dovranno essere adottate tutte le misure precauzionali del caso (opere provvisorie) per garantirne, nel tempo, la stabilità.

10.1.2 Generalità ed avvertenze

Lo sbancamento del terreno sarà realizzato con una zona franca piana perimetrale, oltre la proiezione delle opere di fondazione, di dimensione non inferiore a 2,50 m. di larghezza.

Particolare attenzione sarà da destinare a tutte quelle eventuali aree limitrofe in cui sorgano manufatti e/o viabilità esistente, che possano, in qualche modo, essere interessati, ed interagire negativamente, a causa delle alterazioni tensionali prodotte nel terreno dalle operazioni di scavo.

In tali condizioni, preventivamente all'esecuzione degli scavi di sbancamento, sarà opportuno valutare le più appropriate misure di protezione a tutela dei beni esistenti (opere di sostegno provvisorie, o altro), tramite consulto tra i professionisti incaricati.

Non si ritengono necessari ulteriori accorgimenti, oltre quelli precedentemente esposti, se non quelli previsti delle normative vigenti, con particolare in riferimento alla sicurezza degli operatori in esercizio in cantiere secondo le direttive del D. Lgs. 81/08.

10.2 Drenaggio e regimazione acque

Si consiglia di prestare attenzione alla regimazione delle acque, sia di quelle fognarie, che di quelle meteoriche in dispersione.

Un accurato drenaggio, prevedendo un'opportuna regimazione delle acque, eviterà sul nascere l'insorgere d'inopportuni fenomeni circolatori e ristagni idrici in prossimità delle opere di fondazione.

A tal fine si sottolinea l'opportunità di eseguire un idoneo vespaio alla base delle opere di fondazione, al fine di favorire la dissipazione delle "spinte idrostatiche" delle acque di falda.

Sarà cura della committenza, inoltre, all'interno della proprietà fondiaria, realizzare e mantenere l'eventuale rete di regimazione delle acque superficiali (fossi e scoline), della quale dovranno assicurare manutenzione e piena efficienza.

Sarà, inoltre, cura della proprietà ottemperare a tutti gli obblighi di legge inerenti alla manutenzione di fossi, scoline, cunette stradali, liberando il loro percorso dai residui di lavorazione dei terreni e/o di origine vegetale, da eventuali rifiuti o altro che ne vada a limitare/ridurre l'originale funzionalità.

La posa delle condotte interrate sarà realizzata in ottemperanza alle indicazioni progettuali, atte a garantire il buon grado di tenuta delle stesse; è fatto assoluto divieto eseguire condotte a dispersione, se non espressamente prescritte e dimensionate da tecnico abilitato.

11 CONCLUSIONI

La presente perizia, non riscontrando limitazioni di ordine geomorfologico e geomeccanico all'esecuzione delle opere in progetto, coerentemente con quanto indicato precedentemente, ne **notifica la piena fattibilità senza riserve.**

Bologna 22 novembre 2014

Dr. Geol. Francesco Cevoli

ORDINE DEI GEOLOGI
Regione Emilia-Romagna
ISCR. ALBO N. 475

ALLEGATI

- ❑ Ubicazione Area d'Intervento e Inquadramento Territoriale
- ❑ Ubicazione e risultanze delle indagini penetrometriche statiche (CPT)
- ❑ Calcolo dei Parametri Geotecnici (valori caratteristici e di progetto)
- ❑ Verifica allo Stato Limite Ultimo (SLU) – Calcolo di R_d
- ❑ Calcolo e Stima dei Cedimenti
- ❑ Elaborati di Calcolo della Verifica della Stabilità del Versante
 - *Calcolo Altezza Critica della scarpata di scavo*
- ❑ Studio sismico (indagini sismiche e relazione interpretativa)
- ❑ “Spettri di Risposta”
(classificazione del sito ai sensi del D.M. 14/01/2008):
 - *Pericolosità Sismica di base*
 - *Strategia di Progetto*
 - *Azione di Progetto (Risposta Sismica Locale)*

AII. 01

UBICAZIONE AREA D'INTERVENTO E INQUADRAMENTO TERRITORIALE

Protocollo n.: 14040/GEO

Data: Novembre 2014

REGIONE EMILIA ROMAGNA
Comune di Sala Bolognese
Provincia di Bologna

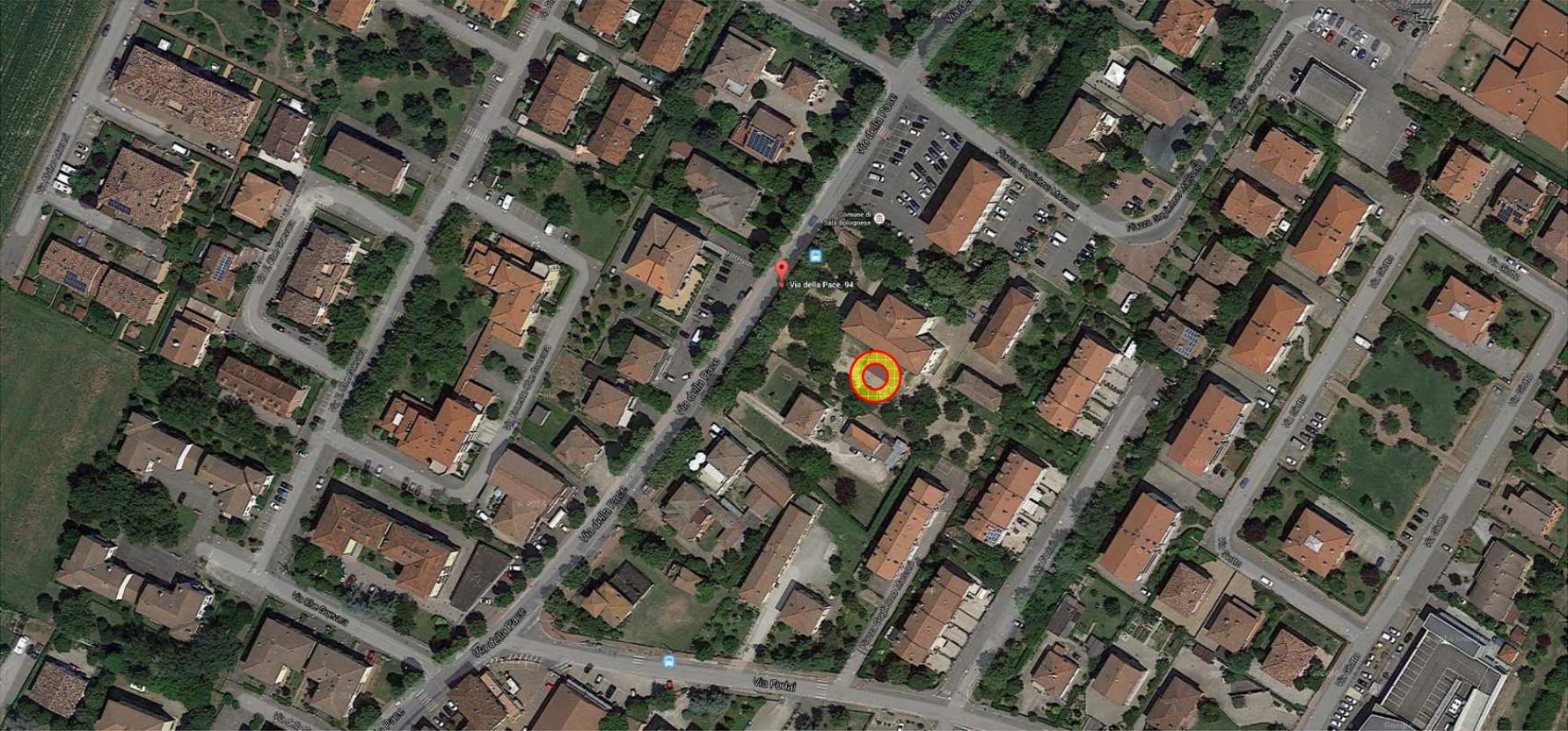
LOCALITÀ PADULLE, COMUNE DI SALA BOLOGNESE (BO)
Foglio n. 26 – Mappale n. 12

RELAZIONE GEOLOGICO-GEOTECNICA

Studio Geologico Geotecnico inerente il progetto di:

“Studio geologico geotecnico di un’area interessata dal progetto di ampliamento di una scuola, sita in località Padulle, angolo Via della Pace e Piazza G. Marconi, in Comune di Sala Bolognese (BO)”

Comune di Sala Bolognese – Località Padulle – Complesso Scolastico tra Via della Pace e Piazza Marconi



AREA D'INTERVENTO - AMPLIAMENTO

Comune di Sala Bolognese – Località Padulle – Complesso Scolastico tra Via della Pace e Piazza Marconi



AREA D'INTERVENTO - AMPLIAMENTO

AII. 02

UBICAZIONE E RISULTANZE INDAGINI PENETROMETRICHE STATICHE (CPT)

Protocollo n.: 14040/GEO

Data: Novembre 2014

REGIONE EMILIA ROMAGNA
Comune di Sala Bolognese
Provincia di Bologna

LOCALITÀ PADULLE, COMUNE DI SALA BOLOGNESE (BO)
Foglio n. 26 – Mappale n. 12

RELAZIONE GEOLOGICO-GEOTECNICA

Studio Geologico Geotecnico inerente il progetto di:

“Studio geologico geotecnico di un’area interessata dal progetto di ampliamento di una scuola, sita in località Padulle, angolo Via della Pace e Piazza G. Marconi, in Comune di Sala Bolognese (BO)”

Localizzazione Area e Ubicazione Indagini

Padulle Scuole via della Pace

	Latitudine	Longitudine	Altitudine	Azimut	Pendenza	Rotolare
S	N44,629097° ±8m	E11,276812° ±8m	63m±8	15°±1	-3°±1	0°±1



dott geol F Cevoli

cpt Scuola.pdf (1/1)

12/11/14 11:31

samsung GT-N7100 (t03g) 4.1.2 GeoCam 2.00.1315



PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA
LETTURE CAMPAGNA E VALORI TRASFORMATI

CPT

1

referimento

035-2014

Committente: **dott. geol. Francesco Cevoli**

U.M.: **kg/cm²**

Data esec.: **12/11/2014**

Cantiere:

Pagina: **1**

Località: **Padulle, via della Pace edificio scolastico**

Elaborato:

Falda: **-2,50 m da p.c.**

H	L1	L2	Lt	qc	fs	F	Rf	H	L1	L2	Lt	qc	fs	F	Rf
m	-	-	-	kg/cm ²	kg/cm ²	-	%	m	-	-	-	kg/cm ²	kg/cm ²	-	%
0,20	7,0	10,0	-	7,00	0,20	35	2,9	15,20	16,0	36,0	-	16,00	1,33	12	8,3
0,40	8,0	18,0	-	8,00	0,67	12	8,4	15,40	20,0	34,0	-	20,00	0,93	22	4,7
0,60	151,0	180,0	-	151,00	1,93	78	1,3	15,60	16,0	39,0	-	16,00	1,53	10	9,6
0,80	201,0	360,0	-	201,00	10,60	19	5,3								
1,00	45,0	104,0	-	45,00	3,93	11	8,7								
1,20	27,0	84,0	-	27,00	3,80	7	14,1								
1,40	18,0	57,0	-	18,00	2,60	7	14,4								
1,60	11,0	20,0	-	11,00	0,60	18	5,5								
1,80	14,0	35,0	-	14,00	1,40	10	10,0								
2,00	9,0	30,0	-	9,00	1,40	6	15,6								
2,20	11,0	19,0	-	11,00	0,53	21	4,8								
2,40	13,0	21,0	-	13,00	0,53	25	4,1								
2,60	8,0	19,0	-	8,00	0,73	11	9,1								
2,80	7,0	16,0	-	7,00	0,60	12	8,6								
3,00	8,0	16,0	-	8,00	0,53	15	6,6								
3,20	8,0	17,0	-	8,00	0,60	13	7,5								
3,40	10,0	17,0	-	10,00	0,47	21	4,7								
3,60	9,0	18,0	-	9,00	0,60	15	6,7								
3,80	8,0	18,0	-	8,00	0,67	12	8,4								
4,00	9,0	17,0	-	9,00	0,53	17	5,9								
4,20	8,0	21,0	-	8,00	0,87	9	10,9								
4,40	10,0	17,0	-	10,00	0,47	21	4,7								
4,60	10,0	19,0	-	10,00	0,60	17	6,0								
4,80	12,0	23,0	-	12,00	0,73	16	6,1								
5,00	8,0	19,0	-	8,00	0,73	11	9,1								
5,20	10,0	19,0	-	10,00	0,60	17	6,0								
5,40	8,0	16,0	-	8,00	0,53	15	6,6								
5,60	8,0	17,0	-	8,00	0,60	13	7,5								
5,80	9,0	19,0	-	9,00	0,67	13	7,4								
6,00	13,0	24,0	-	13,00	0,73	18	5,6								
6,20	15,0	28,0	-	15,00	0,87	17	5,8								
6,40	13,0	28,0	-	13,00	1,00	13	7,7								
6,60	5,0	14,0	-	5,00	0,60	8	12,0								
6,80	12,0	18,0	-	12,00	0,40	30	3,3								
7,00	13,0	22,0	-	13,00	0,60	22	4,6								
7,20	14,0	23,0	-	14,00	0,60	23	4,3								
7,40	12,0	22,0	-	12,00	0,67	18	5,6								
7,60	13,0	21,0	-	13,00	0,53	25	4,1								
7,80	13,0	24,0	-	13,00	0,73	18	5,6								
8,00	20,0	35,0	-	20,00	1,00	20	5,0								
8,20	19,0	36,0	-	19,00	1,13	17	5,9								
8,40	22,0	42,0	-	22,00	1,33	17	6,0								
8,60	23,0	34,0	-	23,00	0,73	32	3,2								
8,80	18,0	38,0	-	18,00	1,33	14	7,4								
9,00	17,0	22,0	-	17,00	0,33	52	1,9								
9,20	11,0	28,0	-	11,00	1,13	10	10,3								
9,40	14,0	27,0	-	14,00	0,87	16	6,2								
9,60	16,0	36,0	-	16,00	1,33	12	8,3								
9,80	18,0	33,0	-	18,00	1,00	18	5,6								
10,00	14,0	29,0	-	14,00	1,00	14	7,1								
10,20	14,0	26,0	-	14,00	0,80	18	5,7								
10,40	13,0	26,0	-	13,00	0,87	15	6,7								
10,60	12,0	24,0	-	12,00	0,80	15	6,7								
10,80	12,0	22,0	-	12,00	0,67	18	5,6								
11,00	7,0	21,0	-	7,00	0,93	8	13,3								
11,20	6,0	12,0	-	6,00	0,40	15	6,7								
11,40	10,0	21,0	-	10,00	0,73	14	7,3								
11,60	11,0	20,0	-	11,00	0,60	18	5,5								
11,80	21,0	33,0	-	21,00	0,80	26	3,8								
12,00	13,0	30,0	-	13,00	1,13	12	8,7								
12,20	8,0	24,0	-	8,00	1,07	7	13,4								
12,40	8,0	19,0	-	8,00	0,73	11	9,1								
12,60	10,0	20,0	-	10,00	0,67	15	6,7								
12,80	13,0	24,0	-	13,00	0,73	18	5,6								
13,00	17,0	30,0	-	17,00	0,87	20	5,1								
13,20	19,0	37,0	-	19,00	1,20	16	6,3								
13,40	14,0	32,0	-	14,00	1,20	12	8,6								
13,60	11,0	26,0	-	11,00	1,00	11	9,1								
13,80	10,0	17,0	-	10,00	0,47	21	4,7								
14,00	12,0	23,0	-	12,00	0,73	16	6,1								
14,20	13,0	25,0	-	13,00	0,80	16	6,2								
14,40	10,0	24,0	-	10,00	0,93	11	9,3								
14,60	14,0	25,0	-	14,00	0,73	19	5,2								
14,80	16,0	30,0	-	16,00	0,93	17	5,8								
15,00	21,0	37,0	-	21,00	1,07	20	5,1								

H = profondità

L1 = prima lettura (punta)

L2 = seconda lettura (punta + laterale)

Lt = terza lettura (totale)

CT = 10,00 costante di trasformazione

qc = resistenza di punta

fs = resistenza laterale calcolata

alla stessa quota di qc

F = rapporto Begemann (qc / fs)

Rf = rapporto Schmertmann (fs / qc)*100



PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA LETTURE CAMPAGNA E VALORI TRASFORMATI	CPT	2
	riferimento	035-2014

Committente: dott. geol. Francesco Cevoli	U.M.: kg/cm²	Data esec.: 12/11/2014
Cantiere:	Pagina: 1	
Località: Padulle, via della Pace edificio scolastico	Elaborato:	Falda: -2,40 m da p.c.

H	L1	L2	Lt	qc	fs	F	Rf	H	L1	L2	Lt	qc	fs	F	Rf
m	-	-	-	kg/cm ²	kg/cm ²	-	%	m	-	-	-	kg/cm ²	kg/cm ²	-	%
0,20	8,0	11,0		8,00	0,20	40	2,5								
0,40	34,0	53,0		34,00	1,27	27	3,7								
0,60	55,0	66,0		55,00	0,73	75	1,3								
0,80	300,0	320,0		300,00	1,33	226	0,4								
1,00	98,0	165,0		98,00	4,47	22	4,6								
1,20	43,0	115,0		43,00	4,80	9	11,2								
1,40	32,0	78,0		32,00	3,07	10	9,6								
1,60	26,0	69,0		26,00	2,87	9	11,0								
1,80	18,0	68,0		18,00	3,33	5	18,5								
2,00	16,0	51,0		16,00	2,33	7	14,6								
2,20	13,0	40,0		13,00	1,80	7	13,8								
2,40	13,0	37,0		13,00	1,60	8	12,3								
2,60	9,0	34,0		9,00	1,67	5	18,6								
2,80	6,0	17,0		6,00	0,73	8	12,2								
3,00	7,0	22,0		7,00	1,00	7	14,3								
3,20	9,0	24,0		9,00	1,00	9	11,1								
3,40	9,0	20,0		9,00	0,73	12	8,1								
3,60	9,0	18,0		9,00	0,60	15	6,7								
3,80	9,0	19,0		9,00	0,67	13	7,4								
4,00	8,0	18,0		8,00	0,67	12	8,4								
4,20	7,0	16,0		7,00	0,60	12	8,6								
4,40	9,0	18,0		9,00	0,60	15	6,7								
4,60	9,0	18,0		9,00	0,60	15	6,7								
4,80	7,0	16,0		7,00	0,60	12	8,6								
5,00	8,0	19,0		8,00	0,73	11	9,1								
5,20	6,0	15,0		6,00	0,60	10	10,0								
5,40	6,0	13,0		6,00	0,47	13	7,8								
5,60	7,0	15,0		7,00	0,53	13	7,6								
5,80	7,0	17,0		7,00	0,67	10	9,6								
6,00	10,0	21,0		10,00	0,73	14	7,3								
6,20	12,0	25,0		12,00	0,87	14	7,3								
6,40	11,0	23,0		11,00	0,80	14	7,3								
6,60	8,0	17,0		8,00	0,60	13	7,5								
6,80	19,0	35,0		19,00	1,07	18	5,6								
7,00	23,0	49,0		23,00	1,73	13	7,5								
7,20	21,0	33,0		21,00	0,80	26	3,8								
7,40	10,0	34,0		10,00	1,60	6	16,0								
7,60	15,0	29,0		15,00	0,93	16	6,2								
7,80	15,0	30,0		15,00	1,00	15	6,7								
8,00	13,0	28,0		13,00	1,00	13	7,7								
8,20	17,0	28,0		17,00	0,73	23	4,3								
8,40	16,0	27,0		16,00	0,73	22	4,6								
8,60	20,0	29,0		20,00	0,60	33	3,0								
8,80	24,0	40,0		24,00	1,07	22	4,5								
9,00	20,0	33,0		20,00	0,87	23	4,4								
9,20	17,0	27,0		17,00	0,67	25	3,9								
9,40	14,0	23,0		14,00	0,60	23	4,3								
9,60	12,0	22,0		12,00	0,67	18	5,6								
9,80	15,0	28,0		15,00	0,87	17	5,8								
10,00	13,0	25,0		13,00	0,80	16	6,2								
10,20	12,0	23,0		12,00	0,73	16	6,1								
10,40	13,0	23,0		13,00	0,67	19	5,2								
10,60	10,0	31,0		10,00	1,40	7	14,0								
10,80	12,0	33,0		12,00	1,40	9	11,7								
11,00	7,0	13,0		7,00	0,40	18	5,7								
11,20	13,0	28,0		13,00	1,00	13	7,7								
11,40	11,0	25,0		11,00	0,93	12	8,5								
11,60	8,0	18,0		8,00	0,67	12	8,4								
11,80	10,0	23,0		10,00	0,87	11	8,7								
12,00	11,0	29,0		11,00	1,20	9	10,9								
12,20	20,0	36,0		20,00	1,07	19	5,4								
12,40	25,0	35,0		25,00	0,67	37	2,7								
12,60	16,0	27,0		16,00	0,73	22	4,6								
12,80	12,0	28,0		12,00	1,07	11	8,9								
13,00	10,0	20,0		10,00	0,67	15	6,7								
13,20	9,0	18,0		9,00	0,60	15	6,7								
13,40	7,0	14,0		7,00	0,47	15	6,7								
13,60	7,0	13,0		7,00	0,40	18	5,7								
13,80	9,0	18,0		9,00	0,60	15	6,7								
14,00	12,0	21,0		12,00	0,60	20	5,0								
14,20	11,0	21,0		11,00	0,67	16	6,1								
14,40	12,0	21,0		12,00	0,60	20	5,0								
14,60	11,0	20,0		11,00	0,60	18	5,5								
14,80	12,0	23,0		12,00	0,73	16	6,1								
15,00	13,0	23,0		13,00	0,67	19	5,2								

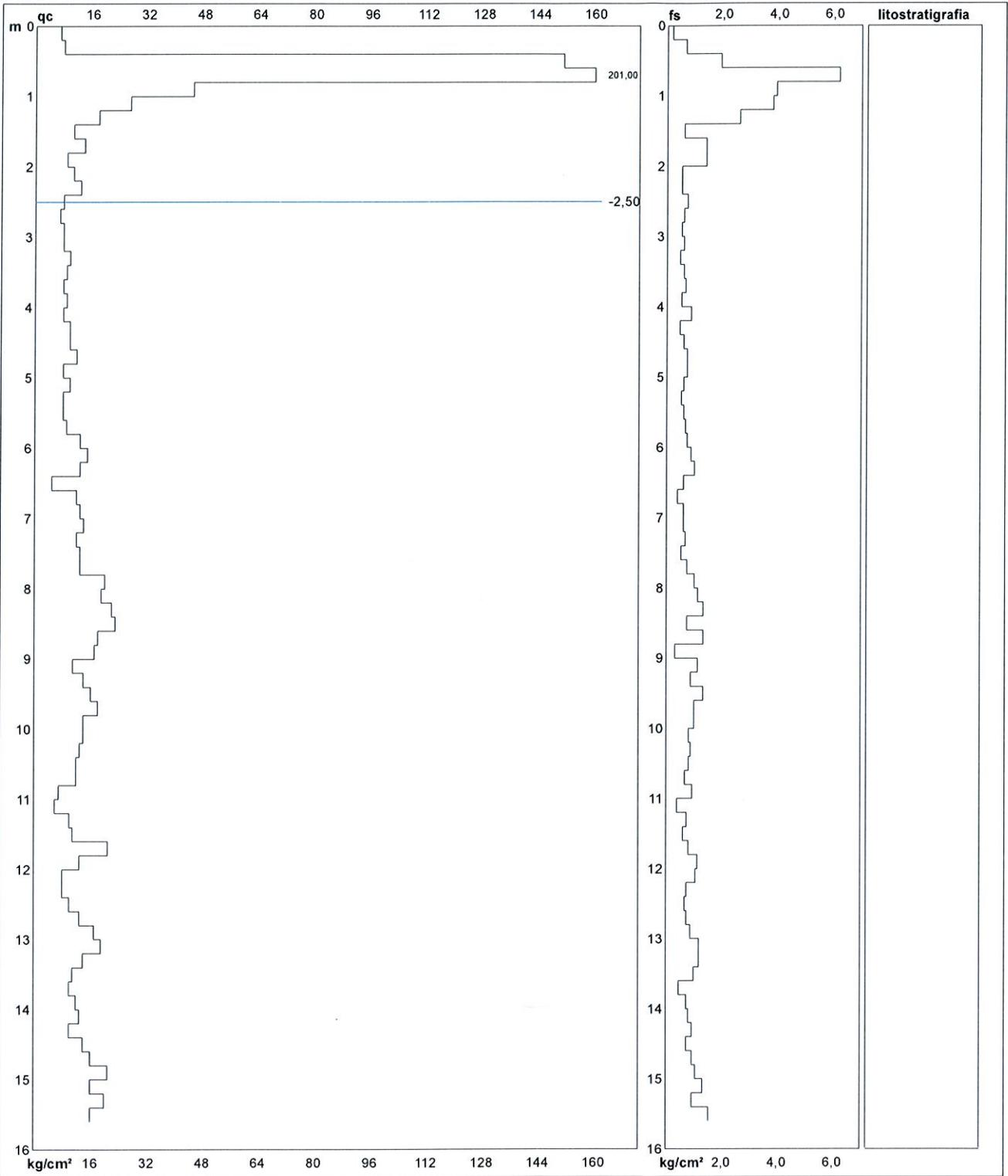
H = profondità
L1 = prima lettura (punta)
L2 = seconda lettura (punta + laterale)
Lt = terza lettura (totale)
CT = 10,00 costante di trasformazione

qc = resistenza di punta
fs = resistenza laterale calcolata alla stessa quota di qc
F = rapporto Begemann (qc / fs)
Rf = rapporto Schmertmann (fs / qc)*100



PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA DIAGRAMMI DI RESISTENZA E LITOLOGIA	CPT	1
	riferimento	035-2014

Committente: dott. geol. Francesco Cevoli	U.M.: kg/cm²	Data esec.: 12/11/2014
Cantiere:	Scala: 1:80	Quota inizio:
Località: Padulle, via della Pace edificio scolastico	Pagina: 1	Falda: -2,50 m da p.c.
	Elaborato:	

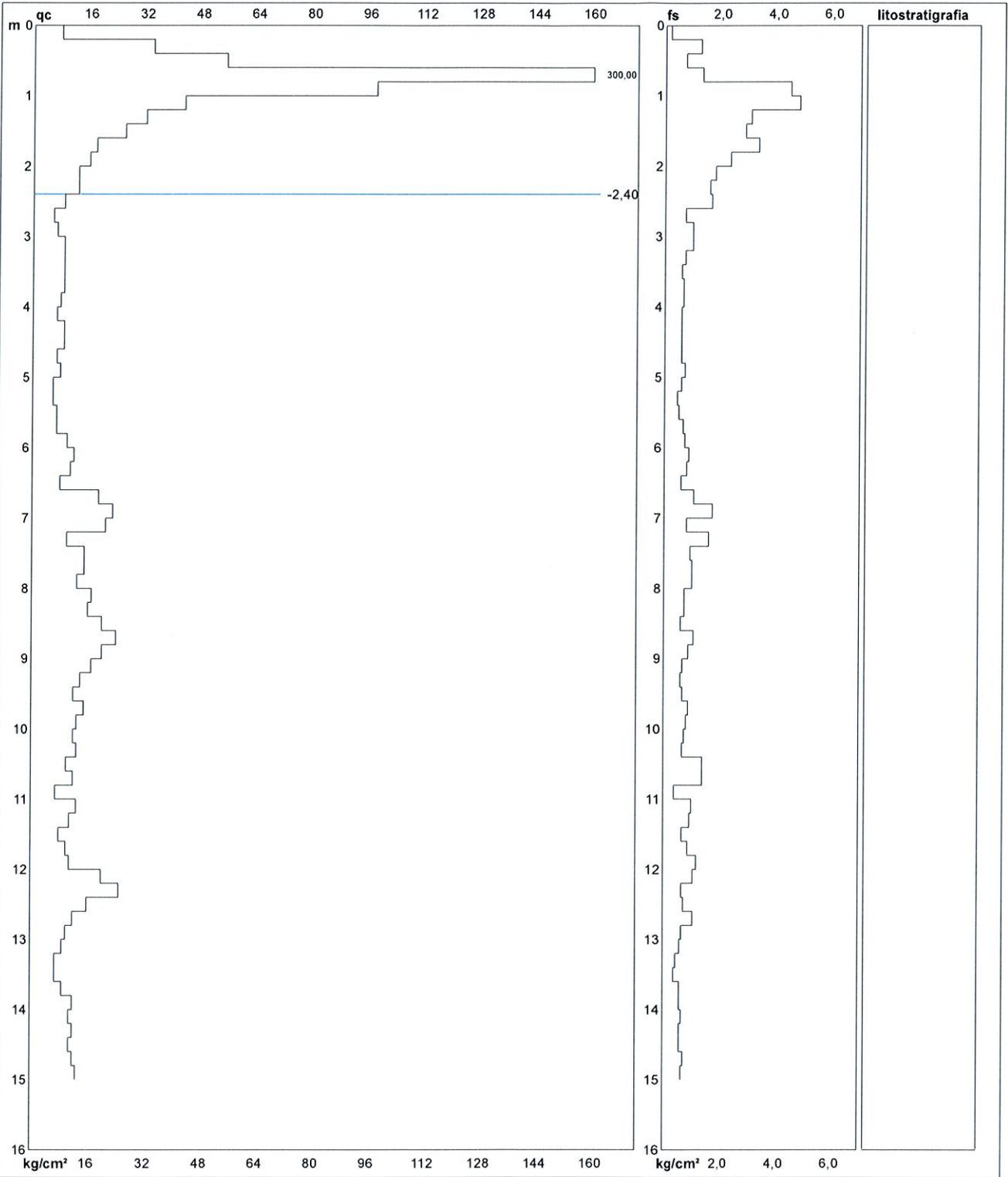


	Litologia: Personalizzata	Preforo: m
	Penetrometro: TG63-200	Corr.astine: kg/ml
	Responsabile:	
	Assistente:	



PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA DIAGRAMMI DI RESISTENZA E LITOLOGIA	CPT	2
	riferimento	035-2014

Committente: dott. geol. Francesco Cevoli	U.M.: kg/cm²	Data esec.: 12/11/2014
Cantiere:	Scala: 1:80	
Località: Padulle, via della Pace edificio scolastico	Pagina: 1	Quota inizio:
	Elaborato:	Falda: -2,40 m da p.c.



	Litologia: Personalizzata Penetrometro: TG63-200 Responsabile: Assistente:	Preforo: m Corr.astine: kg/ml
--	---	----------------------------------



PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA

DIAGRAMMI LITOLOGIA

CPT

1

riferimento

035-2014

Committente: **dott. geol. Francesco Cevoli**

Cantiere:

Località: **Padulle, via della Pace edificio scolastico**

U.M.: **kg/cm²**

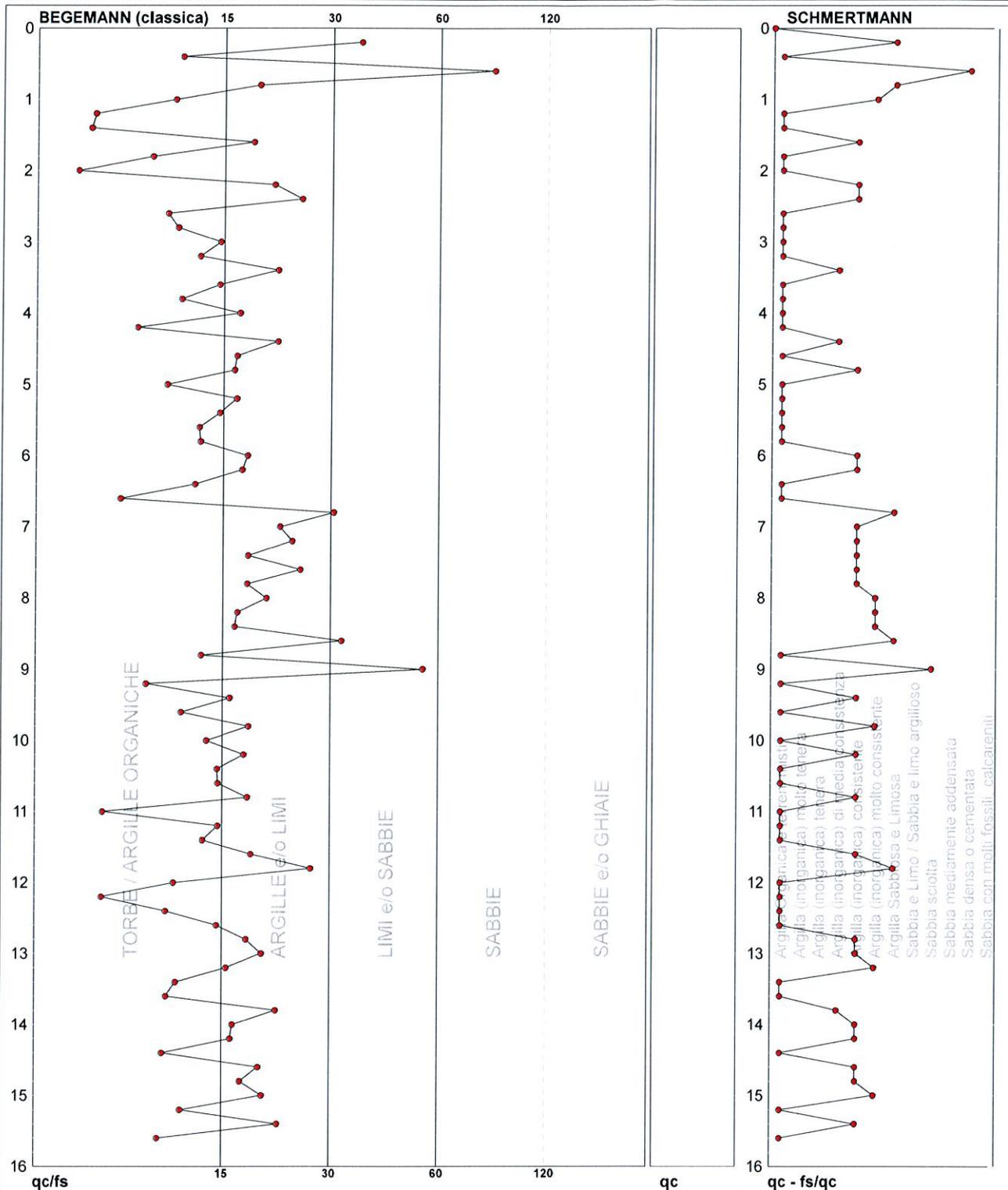
Scala: **1:80**

Pagina: **1**

Elaborato:

Data exec.: **12/11/2014**

Falda: **-2,50 m da p.c.**



Torbe / Argille org.:	37 punti, 46,84%
Argille e/o Limi :	39 punti, 49,37%
Limi e/o Sabbie :	3 punti, 3,80%
Sabbie:	1 punti, 1,27%

Argilla Organica e terreni misti:	39 punti, 49,37%
Argilla (inorganica) media consist.:	3 punti, 3,80%
Argilla (inorganica) consistente:	22 punti, 27,85%
Argilla (inorganica) molto consist.:	7 punti, 8,86%

Argilla Sabbiosa e Limosa:	5 punti, 6,33%
Sabbia sciolta:	1 punti, 1,27%
Sabbia densa o cementata:	1 punti, 1,27%



PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA

DIAGRAMMI LITOLOGIA

CPT

2

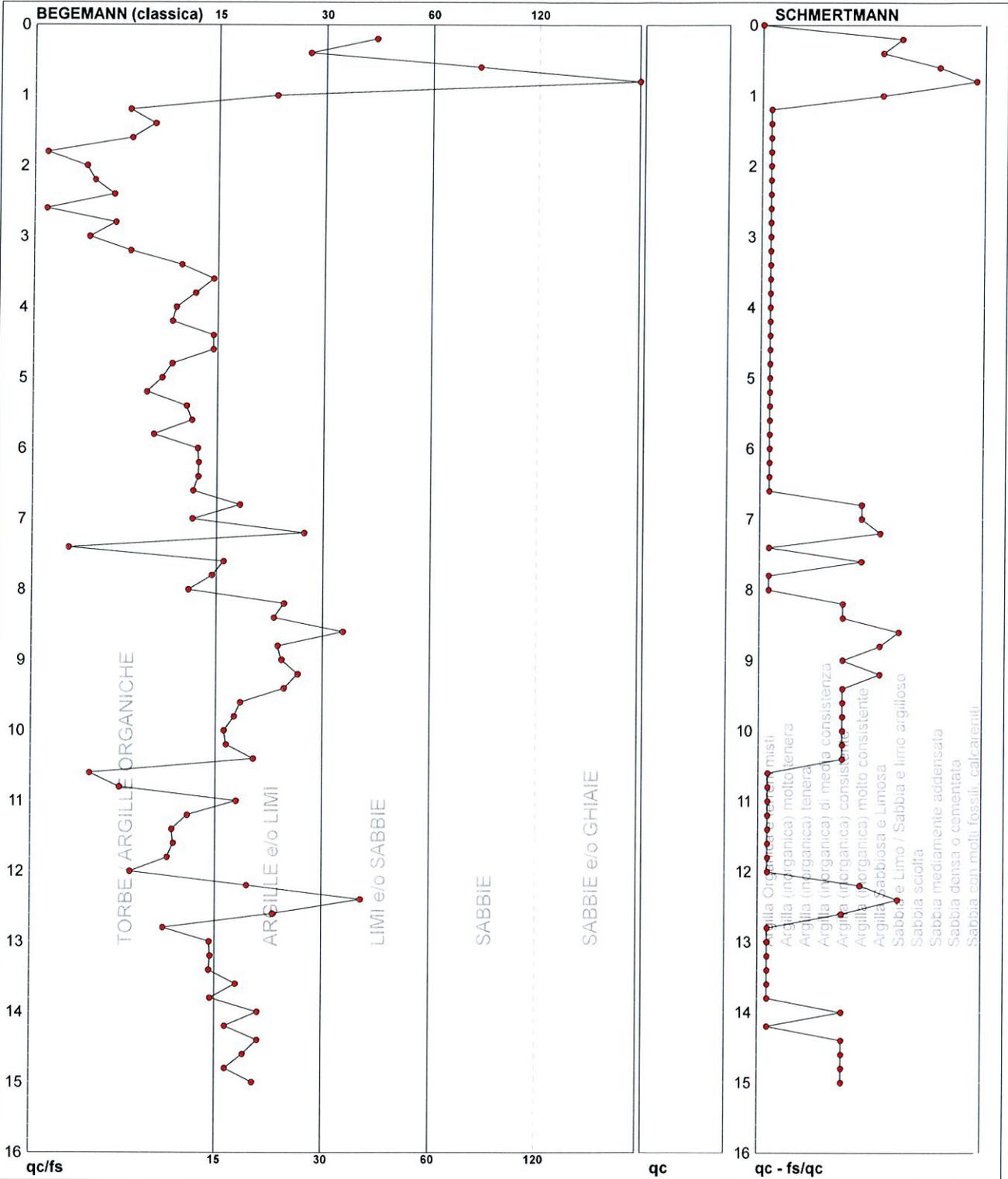
riferimento

035-2014

Committente: **dott. geol. Francesco Cevoli**
 Cantiere:
 Località: **Padulle, via della Pace edificio scolastico**

U.M.: **kg/cm²**
 Scala: **1:80**
 Pagina: **1**
 Elaborato:

Data esec.: **12/11/2014**
 Falda: **-2,40 m da p.c.**



Torbe / Argille org. :	49 punti, 62,03%
Argille e/o Limi :	26 punti, 32,91%
Limi e/o Sabbie :	3 punti, 3,80%
Sabbie:	1 punti, 1,27%
Sabbie e/o Ghiaie :	1 punti, 1,27%

Argilla Organica e terreni misti:	46 punti, 58,23%
Argilla (inorganica) consistente:	15 punti, 18,99%
Argilla (inorganica) molto consist.:	4 punti, 5,06%

Argilla Sabbiosa e Limosa:	5 punti, 6,33%
Sabbia e Limo / Sabbia e limo arg.:	3 punti, 3,80%
Sabbia mediamente addensata:	1 punti, 1,27%
Sabbia con molti fossili, calcareniti:	1 punti, 1,27%

PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA

PARAMETRI GEOTECNICI

CPT

1

Committente: **dott. geol. Francesco Cevoli**
 Cantiere:
 Località: **Padulle, via della Pace edificio scolastico**

U.M.: **kg/cm²** Data esec.: **12/11/2014**
 Pagina: **1**
 Elaborato: Falda: **-2,50 m da p.c.**

Prof. m	qc U.M.	qc/fs	zone	γ' t/m ³	α' vo U.M.	Vs m/s	NATURA COESIVA				NATURA GRANULARE							F.L.	E'50 U.M.	E'25 U.M.	Mo U.M.	
							Cu U.M.	OCR %	Eu50 U.M.	Eu25 U.M.	Mo U.M.	Dr %	σ Sc (°)	σ Ca (°)	σ Ko (°)	σ DB (°)	σ DM (°)					σ Me (°)
0.20	7.00	35.00	4	1.85	0.04	115	0.35	99.9	59.5	89.3	32.2	61	39	36	33	31	40	26	2.00	11.7	17.5	21.0
0.40	8.00	11.94	2	1.85	0.07	121	0.40	51.7	68.0	102.0	35.2	--	--	--	--	--	--	2.00	--	--	--	
0.60	151.00	78.24	3	1.85	0.11	367	--	--	--	--	--	100	43	46	43	40	45	36	2.00	251.7	377.5	453.0
0.80	201.00	18.96	4	1.85	0.15	408	6.70	99.9	1139.0	1708.5	603.0	100	43	46	43	40	45	38	2.00	335.0	502.5	603.0
1.00	45.00	11.45	4	1.85	0.19	232	1.50	85.9	255.0	382.5	135.0	86	42	37	34	32	41	31	2.00	75.0	112.5	135.0
1.20	27.00	7.11	4	1.85	0.22	192	0.95	38.5	161.1	241.6	81.0	64	39	34	31	29	38	28	2.00	45.0	67.5	81.0
1.40	18.00	6.92	2	1.85	0.26	164	0.75	23.7	127.5	191.3	56.2	--	--	--	--	--	--	--	2.00	--	--	--
1.60	11.00	18.33	2	1.85	0.30	137	0.54	13.2	91.2	136.8	42.5	--	--	--	--	--	--	--	2.00	--	--	--
1.80	14.00	10.00	2	1.85	0.33	150	0.64	14.1	108.2	132.3	37.8	--	--	--	--	--	--	--	2.00	--	--	--
2.00	9.00	6.43	2	1.85	0.37	127	0.45	8.0	88.8	132.2	37.8	--	--	--	--	--	--	--	2.00	--	--	--
2.20	11.00	20.75	2	1.85	0.41	137	0.54	8.9	96.4	144.6	42.5	--	--	--	--	--	--	--	2.00	--	--	--
2.40	13.00	24.52	2	1.85	0.44	145	0.60	9.2	105.7	158.6	46.5	--	--	--	--	--	--	--	2.00	--	--	--
2.60	8.00	10.96	2	0.86	0.46	121	0.40	5.3	126.2	189.3	35.2	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
2.80	7.00	11.67	1	0.46	0.47	115	0.35	4.3	23.5	35.3	10.5	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
3.00	8.00	15.09	2	0.86	0.49	121	0.40	4.9	134.9	202.4	35.2	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
3.20	8.00	13.33	2	0.86	0.50	121	0.40	4.7	140.4	210.5	35.2	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
3.40	10.00	21.28	2	0.90	0.52	132	0.50	5.9	138.8	208.2	40.0	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
3.60	9.00	15.00	2	0.88	0.54	127	0.45	5.0	149.2	223.7	37.8	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
3.80	8.00	11.94	2	0.86	0.56	121	0.40	4.1	155.7	233.6	35.2	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
4.00	9.00	16.98	2	0.88	0.58	127	0.45	4.6	160.2	240.2	37.8	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
4.20	8.00	9.20	2	0.86	0.59	121	0.40	3.8	166.6	249.9	35.2	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
4.40	10.00	21.28	2	0.90	0.61	132	0.50	4.9	169.0	253.4	40.0	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
4.60	10.00	16.67	2	0.90	0.63	132	0.50	4.7	174.7	262.0	40.0	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
4.80	12.00	16.44	2	0.92	0.65	141	0.57	5.4	176.2	264.2	44.6	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
5.00	8.00	10.96	2	0.86	0.66	121	0.40	3.3	186.1	279.2	35.2	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
5.20	10.00	16.67	2	0.90	0.68	132	0.50	4.3	190.5	285.7	40.0	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
5.40	8.00	15.09	2	0.86	0.70	121	0.40	3.1	193.3	289.9	35.2	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
5.60	8.00	13.33	2	0.86	0.72	121	0.40	3.0	196.4	294.5	35.2	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
5.80	9.00	13.43	2	0.88	0.73	127	0.45	3.4	206.4	309.6	37.8	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
6.00	13.00	17.81	2	0.93	0.75	145	0.60	4.8	208.9	313.4	46.5	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
6.20	15.00	17.24	2	0.95	0.77	154	0.67	5.2	211.3	317.0	49.5	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
6.40	13.00	13.00	2	0.93	0.79	145	0.60	4.5	220.4	330.6	46.5	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
6.60	5.00	8.33	1	0.46	0.80	101	0.25	1.5	31.6	47.5	7.5	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
6.80	12.00	30.00	4	0.88	0.82	141	0.57	4.0	227.9	341.8	44.6	4	32	23	20	19	26	26	--	20.0	30.0	36.0
7.00	13.00	21.67	2	0.93	0.84	145	0.60	4.2	233.3	350.0	46.5	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
7.20	14.00	23.33	2	0.94	0.85	150	0.64	4.3	238.6	357.8	48.2	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
7.40	12.00	17.91	2	0.92	0.87	141	0.57	3.7	246.3	369.4	44.6	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
7.60	13.00	24.53	2	0.93	0.89	145	0.60	3.9	250.4	375.6	46.5	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
7.80	13.00	17.81	2	0.93	0.91	145	0.60	3.8	256.5	384.7	46.5	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
8.00	20.00	20.00	4	0.93	0.93	171	0.80	5.2	254.4	381.7	60.0	18	33	25	22	21	28	27	--	33.3	50.0	60.0
8.20	19.00	16.81	2	0.99	0.95	168	0.78	4.9	262.5	393.8	58.1	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
8.40	22.00	16.54	4	0.93	0.97	177	0.85	5.3	264.0	396.0	66.0	21	34	25	22	21	29	28	--	36.7	55.0	66.0
8.60	23.00	31.51	3	0.86	0.98	180	--	--	--	--	--	22	34	25	22	21	29	28	--	38.3	57.5	69.0
8.80	18.00	13.53	2	0.98	1.00	164	0.75	4.4	280.3	420.4	56.2	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
9.00	17.00	51.52	4	0.91	1.02	161	0.72	4.1	285.2	427.8	54.1	11	33	24	20	19	27	27	--	28.3	42.5	51.0
9.20	11.00	9.73	2	0.91	1.04	137	0.54	2.7	275.2	412.8	42.5	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
9.40	14.00	16.09	2	0.94	1.06	150	0.64	3.3	296.6	445.0	48.2	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
9.60	16.00	12.03	2	0.96	1.08	157	0.70	3.6	304.4	456.5	51.8	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
9.80	18.00	18.00	2	0.98	1.10	164	0.75	3.9	307.9	461.8	56.2	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
10.00	14.00	14.00	2	0.94	1.12	150	0.64	3.1	308.3	462.4	48.2	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
10.20	14.00	17.50	2	0.94	1.14	150	0.64	3.0	311.6	467.4	48.2	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
10.40	13.00	14.94	2	0.93	1.15	145	0.60	2.8	307.7	461.5	46.5	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
10.60	12.00	15.00	2	0.92	1.17	141	0.57	2.6	300.6	451.0	44.6	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
10.80	12.00	17.91	2	0.92	1.19	141	0.57	2.5	302.6	453.8	44.6	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
11.00	7.00	7.53	1	0.46	1.20	115	0.35	1.3	44.7	67.0	10.5	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
11.20	6.00	15.00	1	0.46	1.21	109	0.30	1.1	38.8	58.3	9.0	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
11.40	10.00	13.70	2	0.90	1.23	132	0.50	2.0	278.8	418.2	40.0	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
11.60	11.00	18.33	2	0.91	1.25	137	0.54	2.2	294.7	442.1	42.5	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
11.80	21.00	26.25	4	0.93	1.26	174	0.82	3.7	356.7	535.1	63.0	13	33	24	20	19	27	27	--	35.0	52.5	63.0
12.00	13.00	11.50	2	0.93	1.28	145	0.60	2.5	322.3	483.5	46.5	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
12.20	8.00	7.48	2	0.86	1.30	121	0.40	1.4	234.3	351.4	35.2	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
12.40	8.00	10.96	2	0.86	1.32	121	0.40	1.4	234.6	352.0	35.2	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
12.60	10.00	14.93	2	0.90	1.33	132	0.50	1.8	284.1	426.1	40.0	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
12.80	13.00	17.81	2	0.93	1.35	145	0.60	2.3	328.5	492.7	46.5	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
13.00	17.00	19.54	2	0.97	1.37	161	0.72	2.8	367.1	550.6	54.1	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
13.20	19.00	15.83	2	0.99	1.39	168	0.78	3.0	381.3	572.0	58.1	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
13.40	14.00	11.67	2	0.94	1.41	150	0.64	2.3	344.7	517.0	48.2	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
13.60	11.00	11.00	2	0.91	1.43	137	0.54	1.8	304.8	457.1	4											

AII. 03

CALCOLO PARAMETRI GEOTECNICI (VALORI CARATTERISTICI E DI PROGETTO)

Protocollo n.: 14040/GEO

Data: Novembre 2014

REGIONE EMILIA ROMAGNA
Comune di Sala Bolognese
Provincia di Bologna

LOCALITÀ PADULLE, COMUNE DI SALA BOLOGNESE (BO)
Foglio n. 26 – Mappale n. 12

RELAZIONE GEOLOGICO-GEOTECNICA

Studio Geologico Geotecnico inerente il progetto di:

“Studio geologico geotecnico di un’area interessata dal progetto di ampliamento di una scuola, sita in località Padulle, angolo Via della Pace e Piazza G. Marconi, in Comune di Sala Bolognese (BO)”

AII. 04

VERIFICA ALLO STATO LIMITE ULTIMO (SLU) CALCOLO DI Rd

Protocollo n.: 14040/GEO

Data: Novembre 2014

REGIONE EMILIA ROMAGNA
Comune di Sala Bolognese
Provincia di Bologna

LOCALITÀ PADULLE, COMUNE DI SALA BOLOGNESE (BO)
Foglio n. 26 – Mappale n. 12

RELAZIONE GEOLOGICO-GEOTECNICA

Studio Geologico Geotecnico inerente il progetto di:

“Studio geologico geotecnico di un’area interessata dal progetto di ampliamento di una scuola, sita in località Padulle, angolo Via della Pace e Piazza G. Marconi, in Comune di Sala Bolognese (BO)”

VERIFICA ALLO STATO LIMITE ULTIMO (SLU)

D.M. 14 gennaio 2008 "Norme Tecniche per le Costruzioni" - [N.T.C. - § 6.2.3.1]

$$Q_{lim} = C_u N_c + \frac{1}{2} \gamma B N_\gamma + \sigma'_v N_q$$

Q_{lim} = carico di rottura

TERRENO DETRITICO			VALORE CARATTERISTICO 5°percentile	coefficienti parziali (γ_M)		VALORE DI PROGETTO kPa	
				(M1)	(M2)	(M1)	(M2)
Angolo di Attrito	gradi	(α) =	0	1,00	1,25	0	0
Coesione non drenata	kPa	(C_u) =	56,92	1,00	1,40	56,92	40,66
Peso di volume	kPa	(γ) =	18,14	1,00	1,00	18,14	18,14

$$Q_{lim} \text{ (kPa)} = \mathbf{229,07}$$

			coefficienti parziali (γ_R)	
Quota Fondazione	m	H =		1,00
Sovraccarico Fondazione	m	h =		1,00
Largh. Fondazione	m	B =	12,00	

Fattori di capacità portante (Vesic, 1975)		adim.	Nc =	5,17	(R1)	(R2)	(R3)				
			Nq =	1,01	1,00	1,80	2,30	capacità portante	229,07	127,26	99,59
			N γ =	0,01	1,00	1,10	1,10	scorrimento	229,07	208,24	208,24

R_d (kPa)		
(R1)	(R2)	(R3)
229,07	127,26	99,59
229,07	208,24	208,24

AII. 05

CALCOLO E STIMA DEI CEDIMENTI

Protocollo n.: **14040/GEO**

Data: **Novembre 2014**

REGIONE EMILIA ROMAGNA
Comune di Sala Bolognese

Provincia di Bologna

LOCALITÀ PADULLE, COMUNE DI SALA BOLOGNESE (BO)

Foglio n. 26 – Mappale n. 12

RELAZIONE **GEOLOGICO-GEOTECNICA**

Studio Geologico Geotecnico inerente il progetto di:

“Studio geologico geotecnico di un’area interessata dal progetto di ampliamento di una scuola, sita in località Padulle, angolo Via della Pace e Piazza G. Marconi, in Comune di Sala Bolognese (BO)”

STIMA DEI CEDIMENTI

COMUNE DI SALA BOLOGNESE
COPERTURA CAMPO CALCETTO in VIA DELLO SPORT

$$\text{Ced} = H_i \times \Delta p_i \times m_v$$

$$\Delta p_i = (Q_{\text{eff}} \times B) / (B + z_i) \quad \text{Kg/cmq}$$

$$m_v = 1 / (q_c^2 \times \alpha) \quad \text{cmq/Kg}$$

$$H_i = \text{spessore strato} \quad \text{cm}$$

$$\text{(Sovraccarico) } Q = 1,36 \quad \text{Kg/cmq}$$

$$\text{(Carico Efficace base fondazioni) } Q_{\text{eff}} = 1,18 \quad \text{Kg/cmq}$$

$$\text{(Larghezza fondazione) } B = 1.200 \quad \text{cm}$$

$$\text{(Lunghezza fondazione) } L = 1.600 \quad \text{cm}$$

**QUOTA BASE
FONDAZIONI** m. 1,00

**QUOTA BASE
CALCOLO CEDIMENTI** m. 15,00

CALCOLO CEDIMENTI m. -15,00

Prove Penetrometriche	n.	Cedimenti cm
STATICA CPT	1	2,53
STATICA CPT	2	2,76
CEDIMENTO DIFFERENZIALE	cm.	0,23
INTERASSE STRUTTURALE	cm.	600,00
MOMENTO ANGOLARE		0,000385
		3,85E-04

PENETROMETRIA n. 1

data esecuzione prove:	profondità:
12/11/14	m. 15,60

PENETROMETRIA n. 2

data esecuzione prove:	profondità:
12/11/14	m. 15,00

AII. 06

VERIFICA STABILITÀ DEL VERSANTE ALTEZZA CRITICA E AMMISSIBILE SCAVO

Protocollo n.: **14040/GEO**

Data: **Novembre 2014**

REGIONE EMILIA ROMAGNA
Comune di Sala Bolognese
Provincia di Bologna

LOCALITÀ PADULLE, COMUNE DI SALA BOLOGNESE (BO)
Foglio n. 26 – Mappale n. 12

RELAZIONE GEOLOGICO-GEOTECNICA

Studio Geologico Geotecnico inerente il progetto di:

“Studio geologico geotecnico di un’area interessata dal progetto di ampliamento di una scuola, sita in località Padulle, angolo Via della Pace e Piazza G. Marconi, in Comune di Sala Bolognese (BO)”

VERIFICA DI STABILITA' DEL VERSANTE

D.M. 14 gennaio 2008 "Norme Tecniche per le Costruzioni" - [N.T.C. - § 6.2.3.1]

Approccio 1:

Combinazione 2

(A2 + M2 + R2)

PARAMETRI GEO-MECCANICI DEL TERRENO	VALORE CARATTERISTICO [5°percentile]	coefficienti parziali (γ_M)		VALORE DI PROGETTO kPa	
		(M1)	(M2)	(M1)	(M2)

Peso di volume	kPa	γ	=	18,14	1,00	1,00	18,14	18,14
Angolo di Attrito	gradi	φ	=	21	1,00	1,25	21,00	17
Angolo di Attrito residuo	gradi	φ'	=	17	1,00	1,25	17,00	14
Coesione efficace	kPa	c'	=	0,00	1,00	1,25	0,00	0,00
Resistenza al taglio	kPa	C_u	=	56,92	1,00	1,40	56,92	40,66
inclinazione media del pendio	gradi	β	=	90				

categoria di suolo	=	C
coefficiente Topografico	=	T1

	coefficienti parziali (γ_R)		
	(R1)	(R2)	(R3)
capacità portante	1,00	1,80	2,30
scorrimento	1,00	1,10	1,10

		SLO		SLD		SLV		SLC		
		orizz.	vert.	orizz.	vert.	orizz.	vert.	orizz.	vert.	
accelerazione al suolo	a_g	=	0,079	0,03	0,101	0,043	0,244	0,163	0,299	0,220
accelerazione max attesa al sito	$[S_s \cdot S_t \cdot a_g] = a_{max}$	=	1,162	0,294	1,486	0,422	3,198	1,599	3,705	2,158
accelerazione di gravità	m/sec^2	g	=	9,81	9,81	9,81	9,81	9,81	9,81	9,81
coeff. Per tipo di suolo	S_s	=	1,50	1,00	1,50	1,00	1,34	1,00	1,26	1,00
coeff. di amplificazione topografica	S_t	=	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	S	=	1,50	1,00	1,50	1,00	1,34	1,00	1,26	1,00
coeff. di riduzione di a_{max}	β_s	=	0,20	0,20	0,24	0,20	0,28	0,24	0,28	0,28

			SLO		SLD		SLV		SLC	
			orizz.	vert.	orizz.	vert.	orizz.	vert.	orizz.	vert.
coefficiente sismico orizzontale	$k_h = a_g / (g \cdot \beta_s \cdot S_t \cdot S)$	k_h	=	2,68		2,86		6,65		8,62
coefficiente sismico verticale	$k_v = 0.50 \cdot k_h$	k_v	=		0,76		1,10		3,46	4,00

rapporto k_v/k_h	k_v/k_h	=	0,28	0,38	0,52	0,46
--------------------	-----------	---	------	------	------	------

VERIFICA DELL'ALTEZZA CRITICA DELLA SCARPATA (verticale) DI SCAVO

verifica eseguita con metodo pseudostatico (non sismico) e con metodo agli stati limite (sismico)

D.M. 14 gennaio 2008 "Norma Tecnica per le Costruzioni" N. 1.0 - § 8.2.5.1)

VALORI DI PROGETTO			
Angolo di scarpa	β	=	90 gradi
			1,57 radianti
Angolo di attrito	φ	=	0 gradi
			0,00 radianti
Coesione non Drenata	C_u	=	56,92 kPa
Peso di volume	γ	=	18,14 kPa
Grado di Saturazione	W_a	=	30%
Peso di volume acqua	γ_a	=	9,81 kPa
Peso di volume acqua	$\gamma_{a30\%}$	=	2,94 kPa
Fattore di stabilità	N_s	=	3,85 coeff.
Coef. di sic. pseudostatico	R_2	=	1,10 coeff.

Coefficiente di Sicurezza Sismico [CSS = k_v / k_h]							
SLO		SLD		SLV		SLC	
k_h	k_v	k_h	k_v	k_h	k_v	k_h	k_v
2,68	0,76	2,86	1,10	6,65	3,46	8,62	4,00
0,28		0,38		0,52		0,46	

METODO PSEUDOSTATICO

ALTEZZA CRITICA in condizione pseudostatica	H_{c_p}	$= \frac{N_s \times (C_u/2)}{(\gamma + \gamma_a)}$: R_2	$=$	5,20	: 1,10	$=$	4,72 metri
<p>Potrà essere eseguito uno scavo con parete verticale , senza la necessità di alcuna opera di sostegno provvisoriale, in condizioni pseudostatiche, per altezze di scavo H_{c_p} inferiori a</p>								
							$H_{c_p} <$	4,72 metri

METODO SISMICO (STATI LIMITE)

ALTEZZA CRITICA agli Stati Limite	$H_{c_s} = H_{c_p}$	- CSS = H_{c_s}		SLO	4,72	-	28%	=	3,38 metri
				SLD	4,72	-	38%	=	2,91 metri
				SLV	4,72	-	52%	=	2,27 metri
				SLC	4,72	-	46%	=	2,53 metri
<p>Potrà essere eseguito uno scavo con parete verticale , senza la necessità di alcuna opera di sostegno provvisoriale, in condizioni sismiche, per altezze di scavo H_{c_s} inferiori a</p>									
							H_{c_s}	<	3,38 metri
								<	2,91 metri
								<	2,27 metri
								<	2,53 metri

PRESCRIZIONI:

Il valore dell'Altezza Critica (H_{c_p} e H_{c_s}) sopra indicati sono riferibili e validi per tempi estremamente limitati, compatibili con l'immediata esecuzione delle opere in progetto inerenti agli scavi medesimi, in condizioni meteoriche non sfavorevoli.

Gli scavi eccedenti il limite sopra esposto dovranno essere dotati di opportune opere di sostegno, appositamente dimensionate, o essere eseguiti seguendo le specifiche indicazioni e modalità operative indicate dai tecnici predisposti.

La base dello scavo (fondo scavo), sarà dotata di un sistema di drenaggio per evitare indesiderati fenomeni di decadimento delle caratteristiche meccaniche del terreno per imbibizione del piede dello scavo stesso.

Il ciglio superiore dello scavo, per uno spazio almeno equivalente all'altezza dello scavo stesso, dovrà essere sgombro da macchine, attrezzature e da stoccaggio e deposito di materiali, al fine di preservare la stabilità della parete di scavo.

Nel caso siano presenti operai all'interno dello scavo, l'altezza della scarpata non potrà eccedere i 2,00 metri in verticale, senza che siano utilizzate misure previsionali, in accordo con le prescrizioni in merito alla sicurezza di cantieri (D.Lgs. 81/08 e s.m.i.).

AII. 07

STUDIO SISMICO

INDAGINI E RELAZIONE INTERPRETATIVA

Protocollo n.: **14040/GEO**

Data: **Novembre 2014**

REGIONE EMILIA ROMAGNA
Comune di Sala Bolognese
Provincia di Bologna

LOCALITÀ PADULLE, COMUNE DI SALA BOLOGNESE (BO)
Foglio n. 26 – Mappale n. 12

RELAZIONE

GEOLOGICO-GEOTECNICA

Studio Geologico Geotecnico inerente il progetto di:

“Studio geologico geotecnico di un’area interessata dal progetto di ampliamento di una scuola, sita in località Padulle, angolo Via della Pace e Piazza G. Marconi, in Comune di Sala Bolognese (BO)”

INDAGINE SISMICA SU SUOLO DI FONDAZIONE

**AMPLIAMENTO EDIFICIO SCOLASTICO
VIA DELLA PACE, PADULLE (BOLOGNA)**

Data esecuzione indagini:
12 novembre 2014

Sommario

INTRODUZIONE	3
DEFINIZIONI.....	4
STRUMENTAZIONE IMPIEGATA.....	4
UBICAZIONE DELLE MISURE	4
MASW e ReMi.....	5
MISURE IN CAMPO LIBERO A STAZIONE SINGOLA.....	7
PROCEDURA DI ANALISI DATI PER STAZIONI SINGOLE H/V.....	7
DISCUSSIONE E CONCLUSIONI.....	10
APPENDICE.....	11
Corredo fotografico.....	11
Oggetto della misura: il microtremore sismico ambientale.....	11
La tecnica impiegata. Cenni storici.....	12
Bibliografia dell'Appendice	13

INTRODUZIONE

Sul terreno destinato all'ampliamento dell'edificio scolastico sito in via della Pace presso Padulle (Bologna) è stata condotta un'indagine sismica passiva e attiva, a stazione singola e in array, consistente in:

- 1) una prova attiva MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves, Park *et al.*, 1999, *Geophys.*, 64, 800-808),
- 2) una prova passiva ReMi (Refraction Microtremor, Louie, 2001, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 91, 347-364),
- 3) 2 acquisizioni del microtremore ambientale a stazione singola in campo libero.

Le indagini effettuate permettono:

- a. di stimare la velocità delle onde di taglio (V_s) dei terreni a partire dalla velocità delle onde di superficie (Rayleigh nel caso del presente studio). La velocità delle onde di taglio è legata alla rigidità μ dei terreni tramite la formula: $\mu = \rho V_s^2$, dove ρ è la densità. Poiché la densità dei suoli varia relativamente poco con la profondità (almeno nelle prime decine di metri), dalla formula si evince che i valori di V_s sono i primi indicatori della rigidità di un terreno,
- b. di misurare le frequenze di risonanza dei terreni e, tramite opportuna modellazione vincolata, di ricostruire una stratigrafia sismica.

Le prove 1) e 2) permettono la ricostruzione di una stratigrafia sismica monodimensionale (1D) sotto la sezione indagata mentre la prova 3) dà una risposta maggiormente locale rispetto alla verticale di misura (sono indicativamente visibili riflettori/variazioni di dimensioni maggiori di λ , secondo la legge $\lambda f = V$, dove λ è la lunghezza d'onda esplorante e f la frequenza dell'onda esplorante il sottosuolo).

Le indagini sono state condotte in ottemperanza alle Norme Tecniche per le Costruzioni (2008).

DEFINIZIONI

Il tipo di stratigrafia che le tecniche sismiche possono restituire si basa sul concetto di *contrasto di impedenza*. Per *strato* si intende cioè un'unità distinta da quelle sopra e sottostanti per un contrasto di impedenza, ossia per il rapporto tra i prodotti di velocità delle onde sismiche nel mezzo e densità del mezzo stesso.

STRUMENTAZIONE IMPIEGATA

Per la sismica in array: si è impiegato un array digitale (*SoilSpy Rosina*, Micromed spa), collegato a geofoni verticali a frequenza propria di 4.5 Hz. La digitalizzazione del segnale avviene direttamente sui geofoni, il che elimina la possibilità di fenomeni di cross-talk lungo il cavo, migliorando il rapporto segnale-rumore. Le acquisizioni sono state condotte a frequenza di campionamento di 512 Hz.

Per la sismica passiva a stazione singola: la misura di microtremore ambientale è stata effettuata per mezzo di un tromografo digitale portatile progettato specificamente per l'acquisizione del rumore sismico. Lo strumento (*Tromino*[®], Micromed spa) è dotato di tre sensori elettrodinamici (velocimetri) ortogonali. I dati di microtremore ambientale, amplificati e digitalizzati a 24 bit equivalenti, sono stati acquisiti per 10 min in ciascun sito alla frequenza di campionamento di 128 Hz.

UBICAZIONE DELLE MISURE

In Figura 1 è illustrata l'ubicazione delle prove a stazione singola e in array. Tutte le misure sono state effettuate su terreno naturale.



Figura 1. Ubicazione delle prova a stazione singola (blu) e in array (rosso).

MASW e ReMi

Le due tecniche vengono presentate insieme, stanti le similitudini di processing dei dati e dei risultati che possono fornire.

Nel sito è stato possibile dispiegare uno stendimento di 13 geofoni verticali a distanze regolari di 4 m.

Per la prova MASW si è energizzato in testa allo stendimento, alla distanza di 5 m dai geofoni di testa e di coda. La sorgente sismica utilizzata è consistita nella caduta di un grave (salto dell'operatore) ed è stata ripetuta per 3 volte. La durata della registrazione è stata di 2 s a partire dal superamento del valore di soglia.

Per la prova ReMi il microtremore sismico ambientale è stato acquisito per 10 min consecutivi. L'analisi è stata condotta su segmenti di 10 s di durata.

Le serie temporali multicanale ottenute dalle tre tecniche sono state elaborate nel dominio frequenza-velocità di fase al fine di discriminare l'energia associata alle onde di Rayleigh.

Le curve di dispersione ottenute sono rappresentate in Figura 3 e Figura 4 rispettivamente dal grafico a contouring (MASW e ReMi).

La curva di dispersione teorica che meglio approssima la curva sperimentale è rappresentata in azzurro in Figura 3 ed è stata ottenuta per il modello di sottosuolo illustrato in Figura 6.

A partire dalla legge fisica $\lambda f = V$ (ove λ è la lunghezza d'onda, f la frequenza e V la velocità) e considerato che la capacità di penetrazione nel sottosuolo di questi metodi in array è all'incirca $\lambda / 2$, si ottiene che in questo caso l'array attivo può dare informazioni fino a circa $240 \text{ m/s} / 5 \text{ Hz} / 2 < 24 \text{ m}$.

La restante parte del modello di sottosuolo è stata pertanto derivata sia da questi che dal fit congiunto di prova H/V e prove in array.

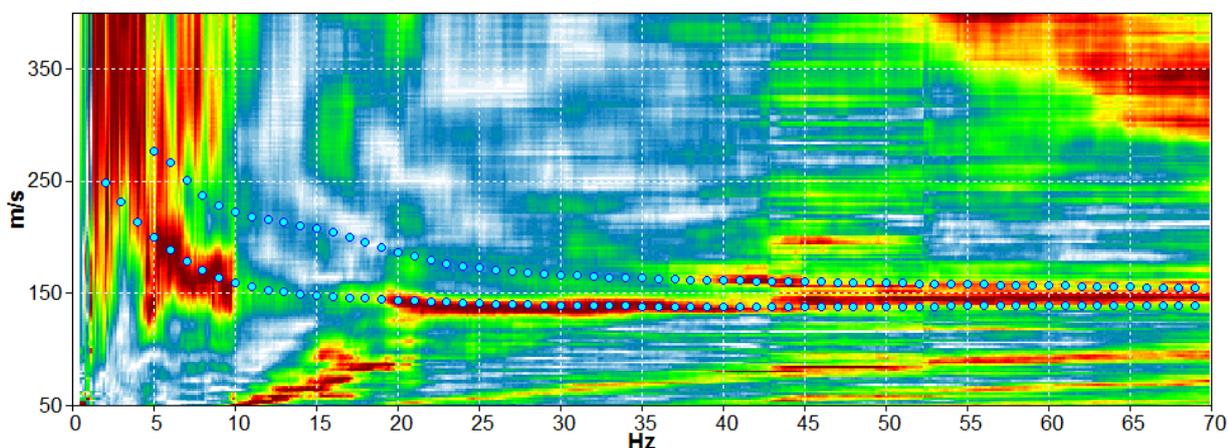


Figura 2. Grafico a contour: spettri di velocità di fase dell'onda di Rayleigh per lo stendimento MASW. Cerchi azzurri: primi 2 modi della curva di dispersione della velocità di fase dell'onda di Rayleigh secondo il modello teorico proposto per il sito. Il limite inferiore della leggibilità di questa prova è 5 Hz a cui corrisponde una profondità di circa 24 m. Il modello di sottosuolo a frequenze minori (maggiori profondità) è derivato dal fit congiunto delle prove in array e delle prove H/V.

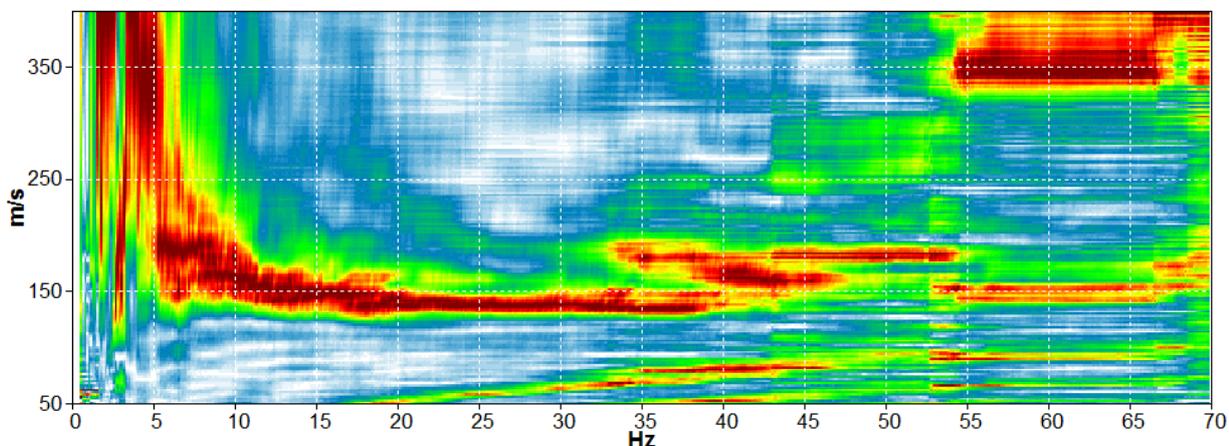


Figura 3. Grafico a contour: spettri di velocità di fase dell'onda di Rayleigh per lo stendimento ReMi.

MISURE IN CAMPO LIBERO A STAZIONE SINGOLA

PROCEDURA DI ANALISI DATI PER STAZIONI SINGOLE H/V

La tecnica H/V (cfr. Appendice) è la tecnica dedicata quando si vogliono mettere in luce le frequenze di risonanza dei terreni. Dalle registrazioni del rumore sismico ambientale su terreno sono state ricavate le curve H/V, secondo la procedura classica, descritta per esempio in SESAME (2005), con parametri:

- ⇒ larghezza delle finestre d'analisi 30 s,
- ⇒ lisciamento secondo finestra triangolare con ampiezza pari al 10% della frequenza centrale,
- ⇒ rimozione dei transienti sulla serie temporale degli H/V.

In Figura 4 sono riportate le curve H/V registrate nel sito di Figura 1. Le curve mostrano un assetto stratigrafico omogeneo, caratterizzato da due risonanze a 0.25 e 0.8-1 Hz. Tali amplificazioni, ben note nell'intera Pianura Padana orientale, sono associate a due orizzonti rigidi collocati rispettivamente a molte centinaia e circa un centinaio di metri di profondità.

Il modello elaborato dal fit congiunto di prove in array e H/V è dato in Figura 6. La curva H/V teorica discendente da questo modello è illustrata in azzurro in Figura 5, dove è messa a confronto con quella sperimentale.

Nella stessa figura sono mostrati gli spettri di ampiezza (in velocità) delle singole componenti del moto: da questi è possibile distinguere la natura (stratigrafica o antropica) dei diversi picchi H/V. Infatti, una risonanza di origine stratigrafica è sempre rappresentata da un minimo locale della componente verticale mentre un picco H/V di origine artefattuale presenterebbe un massimo stretto, anche con ampiezza diversa, su tutte e tre le componenti.

Il modello di sottosuolo in termini di profilo di Vs è ottenuto dal fit congiunto della curva H/V e delle curve di dispersione dalle indagini in array. Questo permette di calcolare il valore di velocità delle onde di taglio nello strato omogeneo equivalente ai primi 30 m di profondità (Vs30, Norme Tecniche per le Costruzioni , 2008) come:

$$Vs30 = \frac{30}{\sum \frac{h_i}{Vs_i}}$$

dove h_i e Vs_i sono spessori e velocità dei singoli strati. Risulta $Vs30_{[0-30m]} = 190 \pm 30$ m/s (incertezza 2σ dell'ordine del 20%, cfr. Mulargia e Castellaro, 2009, *Seism. Res. Lett.*, 80, 985-989).

Secondo l'approccio semplificato di normativa e considerate le risultanze della prova H/V il sito si può collocare nella categoria di suolo di fondazione C.

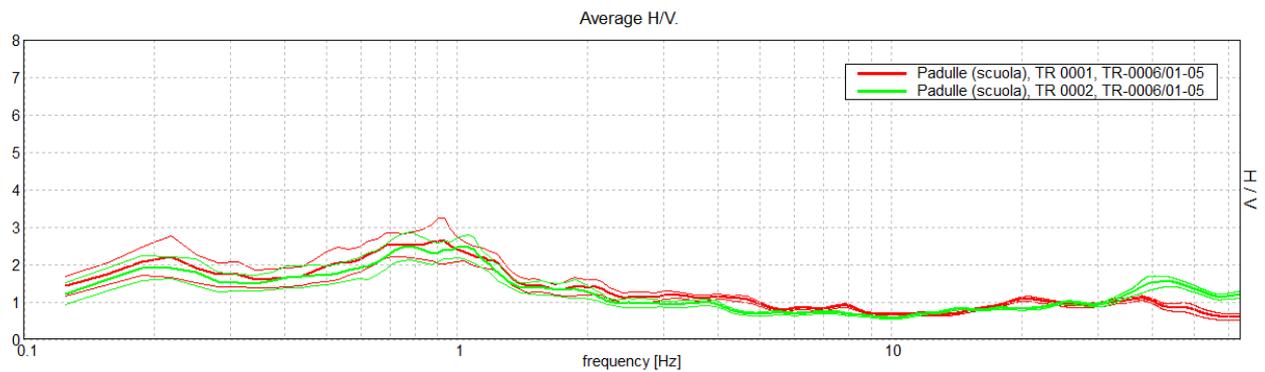


Figura 4. Confronto tra le curve H/V registrate nel sito.

Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Rapporto di Poisson
1.00	1.00	150	0.49
3.00	2.00	140	0.49
10.00	7.00	160	0.49
30.00	20.00	220	0.49
inf.	inf.	280	0.48

$$Vs_{30[0-30m]} = 190 \text{ m/s} \pm 30 \text{ m/s}$$

Tabella 1. Modello di sottosuolo medio sotto l'area indagata ottenuto dal fit congiunto delle prove in array e H/V. Si noti che le prove effettuate forniscono una stima delle sole Vs. Il rapporto di Poisson indicato è quello adottato nella modellazione ma le prove geofisiche basate su onde di superficie non possono fornire misure affidabili di questo parametro.

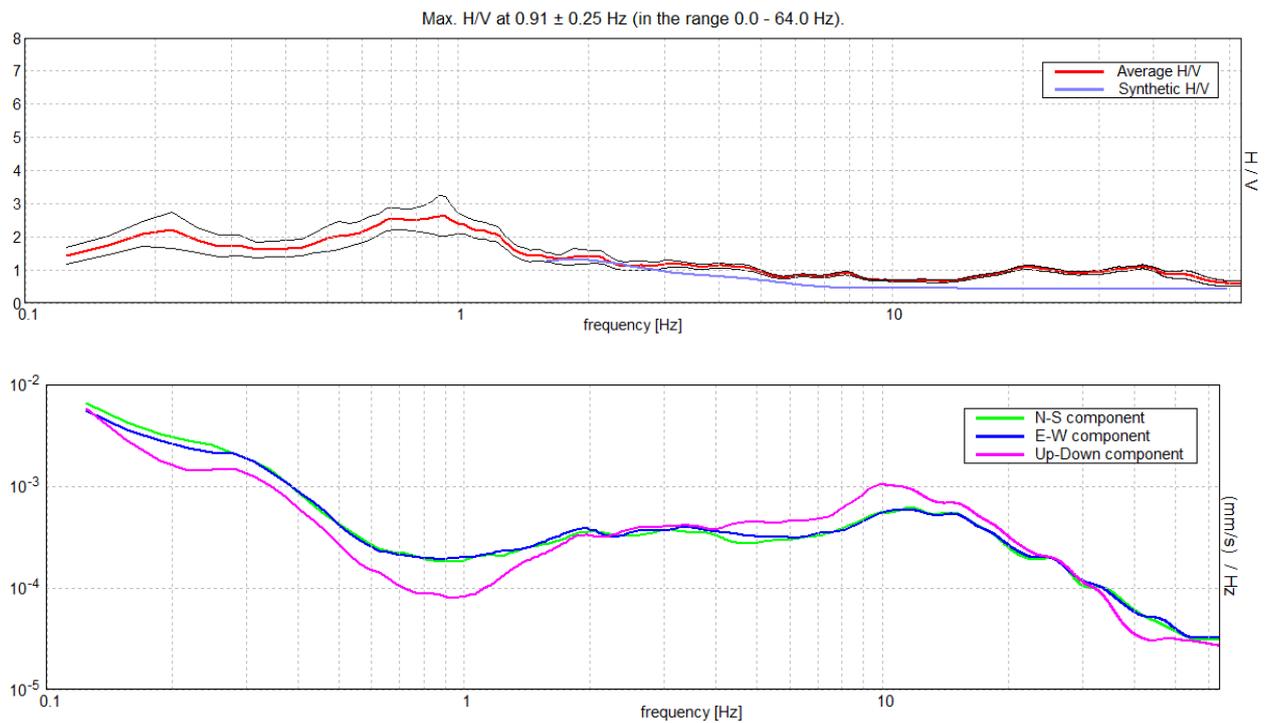


Figura 5. *Alto*: curva H/V sperimentale (rosso) e teorica (blu) per il modello di sottosuolo proposto per il sito 1. *Basso*: spettri di ampiezza in velocità delle componenti del moto relativi alla curva H/V mostrata sopra.

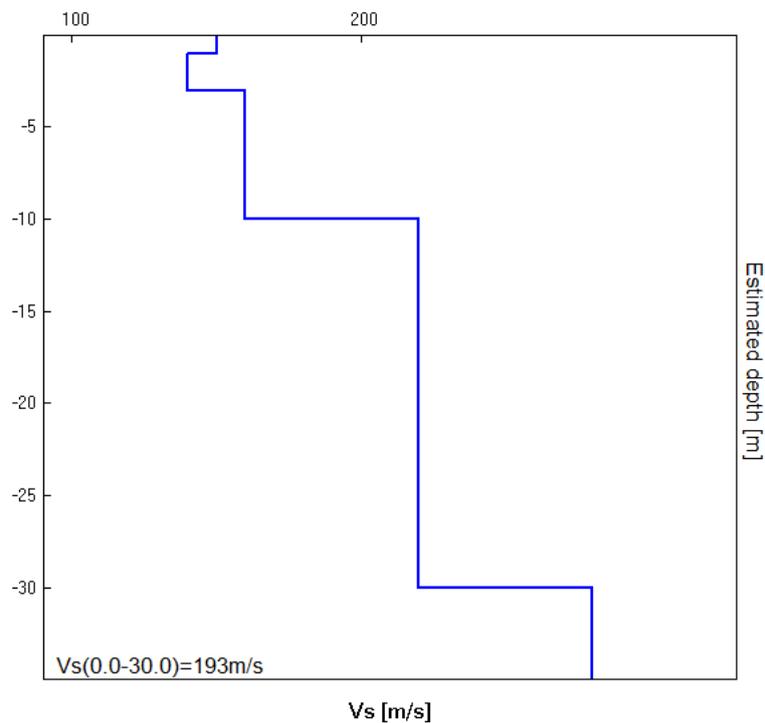


Figura 6. Modello di velocità delle onde di taglio (V_s) medio sotto l'area indagata ottenuto dal fit congiunto di prove in array e H/V.

DISCUSSIONE E CONCLUSIONI

Sul terreno destinato all'ampliamento dell'edificio scolastico di via della Pace presso Padulle (Bologna) è stata condotta un'indagine sismica passiva e attiva, a stazione singola e in array, al fine di caratterizzare le proprietà del terreno (frequenze di risonanza, stratigrafia sismica relativa, profilo di Vs del sottosuolo).

Il sottosuolo indagato si presenta sismicamente omogeneo e caratterizzato da amplificazione moderata a bassa frequenza (0.25 e 0.8 Hz), imputabile alla presenza di riflettori sismici rigidi oltre i 100 m di profondità, ben noti nella Pianura Padana.

Il sito presenta una velocità delle onde di taglio nello strato omogeneo equivalente assimilabile ai primi 30 m di profondità pari a 190 ± 30 m/s a partire dall'attuale piano campagna e si colloca pertanto nella categoria di suolo di fondazione C secondo l'approccio semplificato di normativa (NTC, 2008).

14 novembre 2014

Silvio Castellani

APPENDICE

Corredo fotografico



Figura 7. Immagine relativa all'acquisizione degli array e dell'H/V.

Oggetto della misura: il microtremore sismico ambientale

Il rumore sismico ambientale, presente ovunque sulla superficie terrestre, è generato, oltre che dall'attività dinamica terrestre, dai fenomeni atmosferici (onde oceaniche, vento) e dall'attività antropica. Si chiama anche microtremore poiché riguarda oscillazioni molto più piccole di quelle indotte dai terremoti nel campo vicino. I metodi che si basano sulla sua acquisizione si dicono passivi in quanto il rumore non è generato *ad hoc*, come ad esempio le esplosioni della sismica attiva. Nelle zone in cui non è presente alcuna sorgente di rumore locale e in assenza di vento, lo spettro in frequenza del rumore di fondo in un terreno roccioso e pianeggiante presenta l'andamento illustrato in Figura 8. A tale andamento generale, che è sempre presente, si sovrappongono le sorgenti locali, antropiche (traffico, industrie o anche il semplice passeggiare di una persona) e naturali che però si attenuano fortemente a frequenze superiori a 20 Hz, a causa dell'assorbimento anelastico originato dall'attrito interno delle rocce.

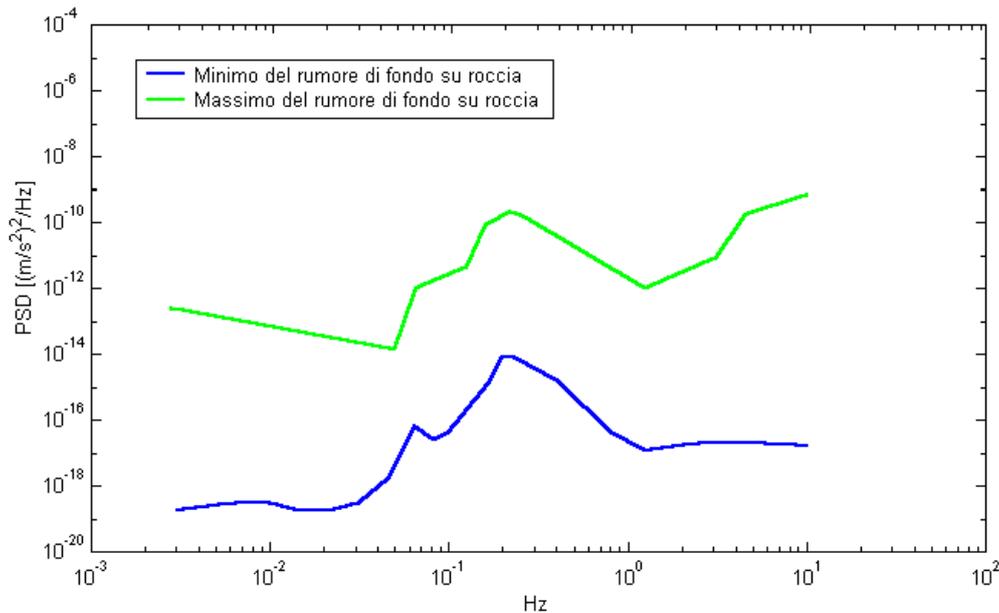


Figura 8. Modelli standard del rumore sismico massimo (in verde) e minimo (in blu) per la Terra secondo il servizio geologico statunitense (USGS). Gli spettri di potenza sono espressi in termini di accelerazione e sono relativi alla componente verticale del moto.

La tecnica impiegata. Cenni storici.

Dai primi studi di Kanai (1957) in poi, diversi metodi sono stati proposti per estrarre l'informazione relativa al sottosuolo a partire dagli spettri del rumore sismico registrati in un sito. Tra questi, la tecnica che si è maggiormente consolidata nell'uso è la tecnica dei rapporti spettrali tra le componenti del moto orizzontale e quella verticale (Horizontal to Vertical Spectral Ratio, HVSR o H/V), applicata da Nogoshi e Igarashi (1970). Il metodo fu in seguito reso popolare principalmente da Nakamura (1989) come strumento per la determinazione dell'amplificazione sismica locale. Mentre su questo punto non è ancora stato raggiunto consenso, è invece ampiamente riconosciuto che la curva H/V è in grado di fornire stime affidabili delle frequenze principali di risonanza dei sottosuoli e, tramite opportuna inversione, delle profondità dei substrati rocciosi sotto le coperture sedimentarie.

Studi recenti hanno dimostrato che ulteriori picchi a frequenza maggiori di quelle del bedrock sono riconducibili a contrasti di impedenza interni alla copertura sedimentaria e picchi a frequenze minori di quella del bedrock sono invece riconducibili a contrasti di impedenza interni al bedrock stesso. Riconosciuta questa capacità e dato che, se è disponibile una stima delle velocità delle onde elastiche, le frequenze di risonanza possono essere convertite in stratigrafia, ne risulta che il metodo H/V può essere usato come strumento stratigrafico.

Le basi teoriche dell'H/V sono relativamente semplici in un sistema bistrato del tipo sedimenti + bedrock in cui i parametri variano solo con la profondità (1-D). In questi casi la profondità h della discontinuità sismica viene ricavata tramite la formula semplice della risonanza $h = V / (4 f_r)$ o, al più, tramite la formula [1] in cui V_0 è la velocità al tetto dello strato, x un fattore che dipende dalle caratteristiche del sedimento (granulometria, coesione ecc.) e f_r la frequenza fondamentale di risonanza (cf. ad esempio Ibs-Von Seht e Wohlenberg, 1999).

$$h = \left[\frac{V_0(1-x)}{4f_r} + 1 \right]^{\frac{1}{1-x}} - 1 \quad [1]$$

Nei sistemi multistrato, teoricamente l'effetto di risonanza è sommabile, ma non in modo lineare e senza una corrispondenza 1:1. Ciò significa che la curva H/V relativa ad un sistema a più strati contiene l'informazione

relativa alle frequenze di risonanza (e quindi allo spessore) di ciascuno di essi, ma non è interpretabile semplicemente applicando l'equazione [1]. L'inversione richiede l'analisi delle singole componenti e del rapporto H/V, che fornisce un'importante normalizzazione del segnale per a) il contenuto in frequenza, b) la risposta strumentale e c) l'ampiezza del segnale quando le registrazioni vengono effettuate in momenti con rumore di fondo più o meno alto.

L'inversione delle misure di tremore a fini stratigrafici, nei casi reali, sfrutta la tecnica del confronto degli spettri singoli e dei rapporti H/V misurati con quelli 'sintetici', cioè con quelli calcolati relativamente ad un modello. L'interpretazione è tanto più soddisfacente, e il modello tanto più vicino alla realtà, quanto più i dati misurati e quelli sintetici sono vicini. I modelli sintetici di inversione impiegati in questo lavoro partono dalla modellizzazione del campo d'onde superficiali (onde di Rayleigh e Love) in sistemi multistrato (Aki, 1964; Ben-Menahem e Singh, 1981). L'inversione delle curve H/V per ottenere un profilo di Vs è possibile a patto di disporre di un punto di taratura (es. penetrometria o sondaggio) che fornisca la profondità di un riflettore - anche molto superficiale - riconoscibile nella curva H/V oppure a patto di conoscere la Vs del primo strato a partire da tecniche indipendenti (Castellaro e Mulargia, 2007).

Bibliografia dell'Appendice

- Aki K., 1964. A note on the use of microseisms in determining the shallow structures of the earth's crust, *Geophysics*, **29**, 665-666.
- Ben-Menahem A., Singh S.J., 1981. *Seismic Waves and Sources*, Springer-Verlag, New York.
- Castellaro S., Mulargia F. e Bianconi L., 2005. Stratigrafia sismica passiva: una nuova tecnica accurata, rapida ed economica, *J. Geotech. Environm. Geol.*, **3**, 51-77.
- Castellaro S. e Mulargia F., 2007. Vs30 estimates using constrained H/V measurements, *Bull. Seism. Soc. Am.*, **99**, 761-773.
- Castellaro S. e Mulargia F., 2008. The effect of velocity inversions on H/V, *Pure Appl. Geophys.*, **166**, 567-592.
- Ibs-von Seht M. e Wohlenberg J., 1999. Microtremor measurements used to map thickness of soft sediments, *Bull. Seismol. Soc. America*, **89**, 250-259.
- Kanai K., 1957. The requisite conditions for predominant vibration of round, *Bull. Earthquake Res. Inst. Tokyo Univ.*, **31**, 457.
- Nakamura Y., 1989. A method for dynamic characteristics estimates of subsurface using microtremor on the round surface, *QR of RTRI*, **30**, 25-33.

AII. 08

SPETTRI DI RISPOSTA SISMICA

Protocollo n.: **14040/GEO**

Data: **Novembre 2014**

REGIONE EMILIA ROMAGNA
Comune di Sala Bolognese
Provincia di Bologna

LOCALITÀ PADULLE, COMUNE DI SALA BOLOGNESE (BO)
Foglio n. 26 – Mappale n. 12

RELAZIONE GEOLOGICO-GEOTECNICA

Studio Geologico Geotecnico inerente il progetto di:

“Studio geologico geotecnico di un’area interessata dal progetto di ampliamento di una scuola, sita in località Padulle, angolo Via della Pace e Piazza G. Marconi, in Comune di Sala Bolognese (BO)”

Regione:

REGIONE EMILIA ROMAGNA

Comune di Sala Bolognese

Provincia di Bologna

Committente:

Comune di Sala Bolognese

Studio Geologico Geotecnico inerente il progetto di:

“Studio geologico geotecnico di un’area interessata dal progetto di ampliamento di una scuola sita all’angolo tra Via della Pace e Piazza G. Marconi, in località Padulle, Comune di Sala Bolognese (BO)”

FOGLIO N°26 – MAPPALE N°12

Tecnico:

Ing. Maria Luisa Tempesta

INGEGNERE

sede legale: Via Francioni, 4 - 40137 Bologna

C.F. TMPMLS54L69G479Y - P.IVA 03218801201

sede operativa: Via Pietralata, 18/a – 40122 Bologna

tel. +39 051 6492110 - fax +39 051 6492112 - mob. +39 335 5985356

mail marialuisa.tempesta@gmail.com

pec marialuisa.tempesta@ingpec.eu

CARATTERIZZAZIONE SISMICA SPETTRI DI RISPOSTA

Data:

Novembre 2014

Dr. Geol. Francesco Cevoli

STUDIO TECNICO PROFESSIONALE

ORDINE DEI GEOLOGI

Regione Emilia-Romagna

ISCR. ALBO N. 475

Protocollo n.:

14040/CS (Ampliamento Scuola – Sala Bolognese)

dott. Geol. Francesco Cevoli

Via Marco Polo 14, 40131 Bologna - ☎ +39 335 280693 – Cod. Fisc.: CVLFNC62T25H294D – Part. IVA: 02039721200
Mail certificata: francesco.cevoli@epap.sicurezza postale.it – Mail: f.cevoli@ceur.it

Norme Tecniche per le Costruzioni

[classificazione del sito ai sensi del D.M. 14 gennaio 2008]

(pubblicate nella G.U. n.29 del 04-02-2008 Supplemento Ordinario n.30)

Spettri di Risposta

[Elaborazioni eseguite con "Spettri-NTC ver. 1.0.3"]

Nel presente documento, allegato alla Relazione Geologico-Geotecnica, sono definiti gli Spettri di Risposta rappresentativi delle componenti (orizzontali e verticali) delle azioni sismiche di progetto per il generico sito del territorio nazionale e gli Spettri di Risposta relativi agli Stati Limite: SLE (Stato Limite di Esercizio - SLO e SLD), SLU (Stato Limite Ultimo – SLV e SLC)

Spettri di Risposta

ai sensi del D.M. 14 gennaio 2008

[elaborazioni eseguite con "Spettri-NTC ver. 1.0.3"]

INDICE

FASE 1 PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE

- 01 pericolosità del sito
- 02 spettri di risposta elastici per periodi di ritorno T_R di riferimento
- 03 valore dei parametri a_g , F_0 , T_C^* : variabilità col periodo di ritorno T_R
- 04 variabilità dei parametri a_g , F_0 , T_C^* per i periodi DI RITORNO T_R di riferimento

FASE 2 STRATEGIA DI PROGETTO

00a Riferimenti Normativi – Vita Nominale $[V_N]$ – Classi D'Uso $[C_U]$ – Vita di Riferimento $[V_R]$

00b Riferimenti Normativi – Stati Limite $[SLO - SLD - SLV - SLC]$

- 01 scelta della Strategia di Progettazione
- 02 valore di progetto dei parametri a_g , F_0 , T_C^* in funzione del periodo di ritorno T_R
- 03 spettri di risposta elastici per i diversi stati limite
- 04 valori dei parametri a_g , F_0 , T_C^* per i periodi di ritorno T_R associati a ciascun SL

FASE 3 AZIONE DI PROGETTO (Risposta Sismica Locale)

00a Riferimenti Normativi – Spettri di Progetto per SLE e SLU

00b Riferimenti Normativi – Categorie del Sottosuolo e Condizioni Topografiche

00c Riferimenti Normativi – Amplificazione Stratigrafica e Topografica

00d Riferimenti Normativi – Fattore di Struttura

- 01a Determinazione dell'azione di progetto [SLO]
- 01b Spettri di risposta (componenti orizzontali e verticali) per lo stato limite: SLO
- 01c Parametri e punti dello spettro di risposta orizzontale per lo stato limite: SLO
- 01d Parametri e punti dello spettro di risposta verticale per lo stato limite: SLO
- 02a determinazione dell'azione di progetto [SLD]
- 02b Spettri di risposta (componenti orizzontali e verticali) per lo stato limite: SLD
- 02c Parametri e punti dello spettro di risposta orizzontale per lo stato limite: SLD
- 02d Parametri e punti dello spettro di risposta verticale per lo stato limite: SLD
- 03a determinazione dell'azione di progetto [SLV]
- 03b Spettri di risposta (componenti orizzontali e verticali) per lo stato limite: SLV
- 03c Parametri e punti dello spettro di risposta orizzontale per lo stato limite: SLV
- 03d Parametri e punti dello spettro di risposta verticale per lo stato limite: SLV
- 04a determinazione dell'azione di progetto [SLC]
- 04b Spettri di risposta (componenti orizzontali e verticali) per lo stato limite: SLC
- 04c Parametri e punti dello spettro di risposta orizzontale per lo stato limite: SLC
- 04d Parametri e punti dello spettro di risposta verticale per lo stato limite: SLC

Spettri di Risposta

ai sensi del D.M. 14 gennaio 2008

[elaborazioni eseguite con "Spettri-NTC ver. 1.0.3"]

FASE 1 PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE

- 01 pericolosità del sito
- 02 spettri di risposta elastici per periodi di ritorno T_R di riferimento
- 03 valore dei parametri a_g , F_0 , T_C^* : variabilità col periodo di ritorno T_R
- 04 variabilità dei parametri a_g , F_0 , T_C^* per i periodi DI RITORNO T_R di riferimento

FASE 1. INDIVIDUAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DEL SITO

Ricerca per coordinate LONGITUDINE: LATITUDINE:

Ricerca per comune REGIONE: PROVINCIA: COMUNE:

Elaborazioni grafiche
Grafici spettri di risposta
Variabilità dei parametri

Elaborazioni numeriche
Tabella parametri

Nodi del reticolo intorno al sito

Reticolo di riferimento

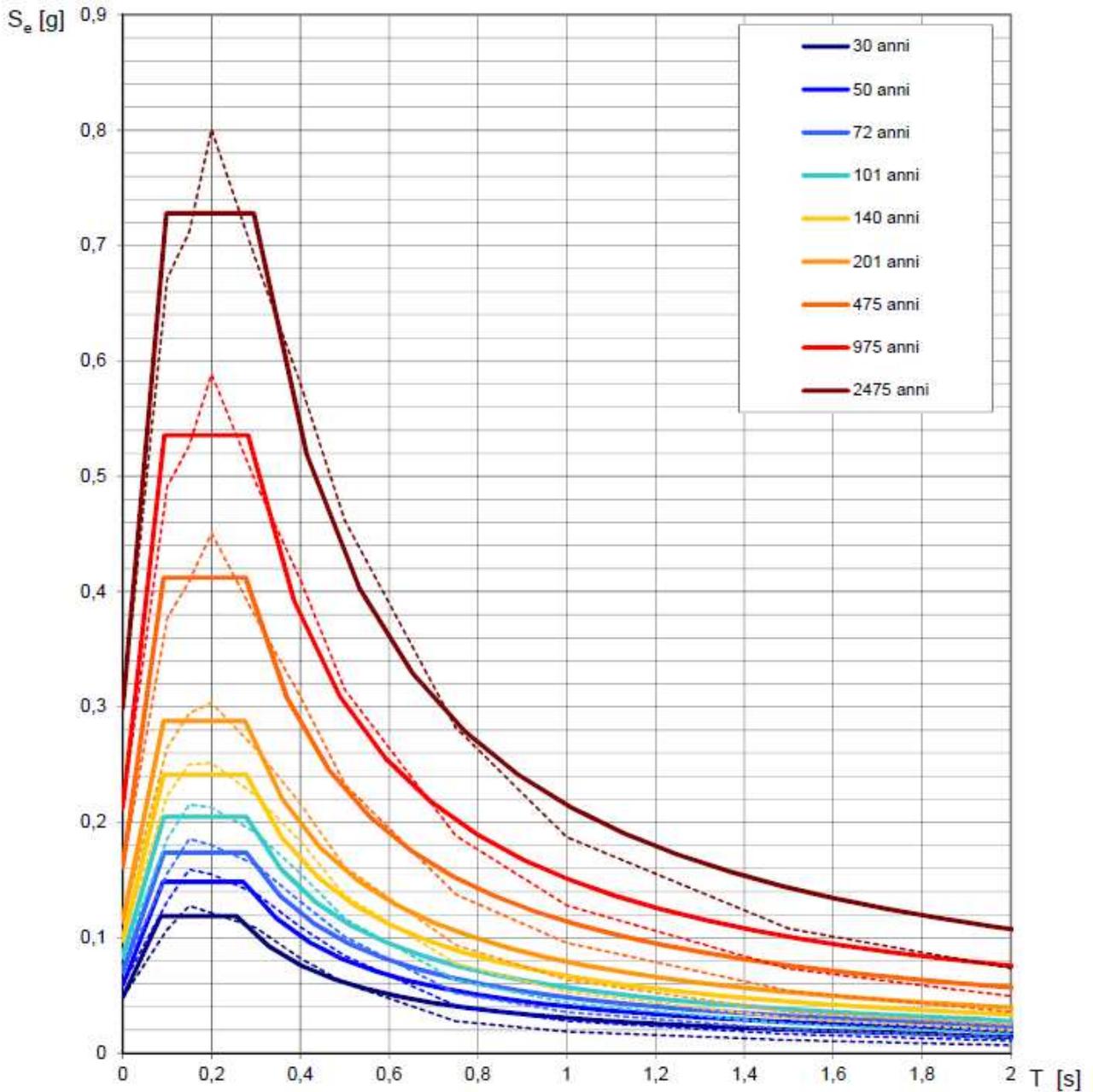
Controllo sul reticolo
 Sito esterno al reticolo
 Interpolazione su 3 nodi
 Interpolazione corretta

Interpolazione
media ponderata

a le per che le sare così i la ate".

INTRO **FASE 1** **FASE 2** **FASE 3**

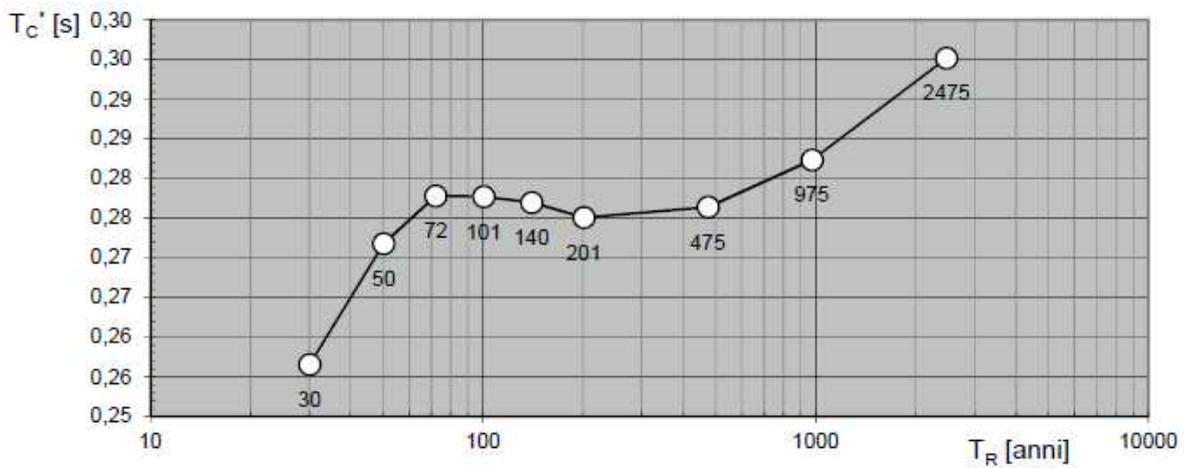
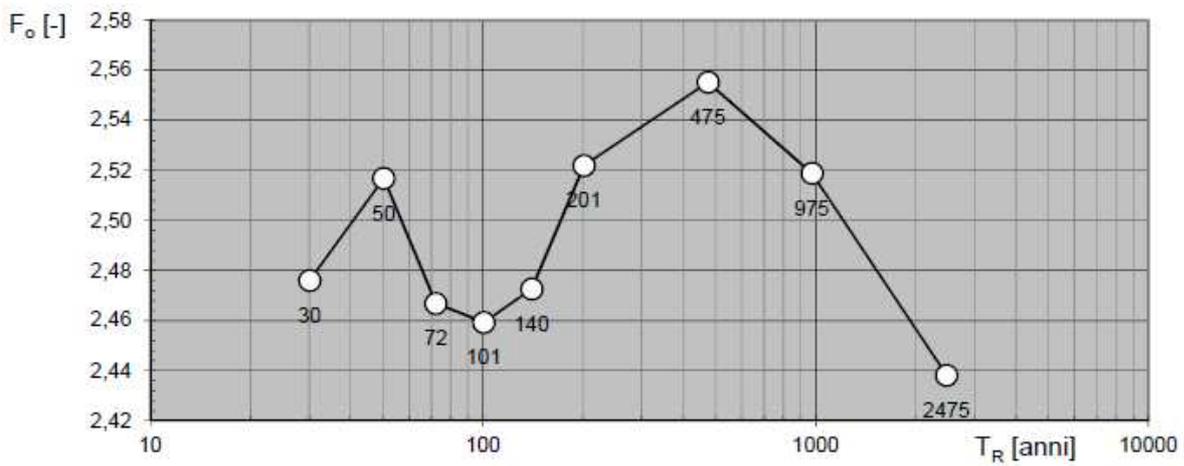
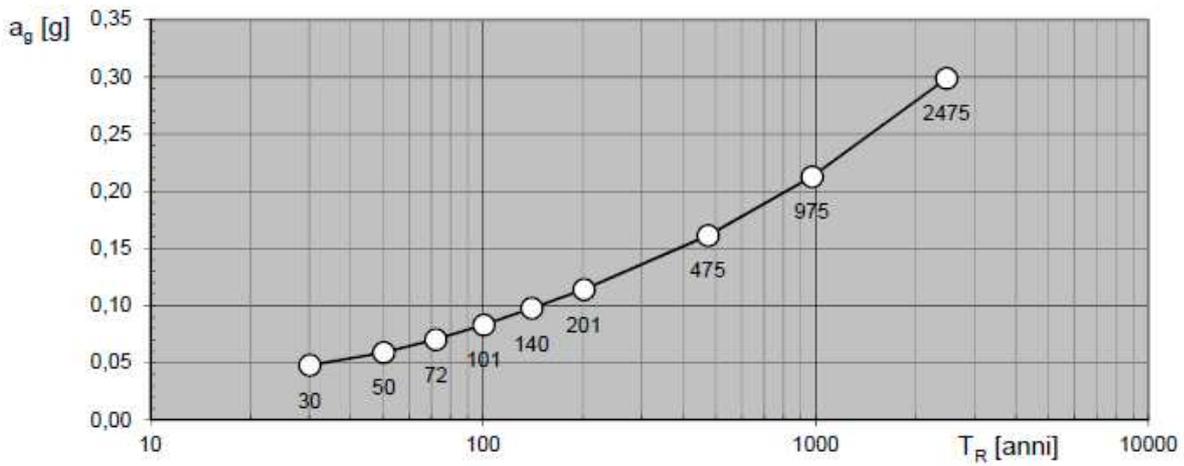
Spettri di risposta elastici per i periodi di ritorno T_R di riferimento



NOTA:

Con linea continua si rappresentano gli spettri di Normativa, con linea tratteggiata gli spettri del progetto S1-INGV da cui sono derivati.

Valori dei parametri a_g , F_o , T_C^* : variabilità col periodo di ritorno T_R



Valori dei parametri a_g , F_o , T_C^* per i periodi di ritorno T_R di riferimento

T_R [anni]	a_g [g]	F_o [-]	T_C^* [s]
30	0,048	2,476	0,257
50	0,059	2,517	0,272
72	0,070	2,467	0,278
101	0,083	2,459	0,278
140	0,098	2,473	0,277
201	0,114	2,522	0,275
475	0,161	2,555	0,276
975	0,213	2,519	0,282
2475	0,299	2,438	0,295

Spettri di Risposta

ai sensi del D.M. 14 gennaio 2008

[elaborazioni eseguite con "Spettri-NTC ver. 1.0.3"]

FASE 2 STRATEGIA DI PROGETTO

00a Riferimenti Normativi – Vita Nominale [V_N] – Classi D'Uso [C_U] – Vita di Riferimento [V_R]

00b Riferimenti Normativi – Stati Limite [SLO – SLD – SLV – SLC]

Riferimenti normativi

Vita nominale (§ 2.4.1 NTC-08)

La vita nominale di un'opera strutturale V_N è intesa come il numero di anni nel quale l'opera, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, deve potere essere usata per lo scopo al quale è destinata. La vita nominale dei diversi tipi di opere è quella riportata nella **Tab. 2.4.1** delle NTC-08 e deve essere precisata nei documenti di progetto.

Tabella 2.4.1 – Vita nominale V_N per diversi tipi di opere

Tipi di costruzione		Vita Nominale V_N (in anni)
1	Opere provvisorie – Opere provvisionali - Strutture in fase costruttiva	≤ 10
2	Opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali e dighe di dimensioni contenute o di importanza normale	≥ 50
3	Grandi opere, ponti, opere infrastrutturali e dighe di grandi dimensioni o di importanza strategica	≥ 100

Classi d'uso (§ 2.4.2 NTC-08)

In presenza di azioni sismiche, con riferimento alle conseguenze di una interruzione di operatività o di un eventuale collasso, le costruzioni sono suddivise in classi d'uso così definite:

Classe I:	Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli.
Classe II:	Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III o in Classe d'uso IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.
Classe III:	Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe d'uso IV. Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso.
Classe IV:	Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente. Reti viarie di tipo A o B, di cui al D.M. 5 novembre 2001, n. 6792, "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade", e di tipo C quando appartenenti ad itinerari di collegamento tra capoluoghi di provincia non altresì serviti da strade di tipo A o B. Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico. Dighe connesse al funzionamento di acquedotti e a impianti di produzione di energia elettrica.

Vita di riferimento (§ 2.4.3 NTC-08)

Le azioni sismiche su ciascuna costruzione vengono valutate in relazione ad un periodo di riferimento V_R che si ricava, per ciascun tipo di costruzione, moltiplicandone la vita nominale V_N per il coefficiente d'uso C_U

$$V_R = V_N \cdot C_U \quad \text{(NTC-08 Eq. 2.4.1)}$$

Il valore del coefficiente d'uso C_U è definito, al variare della classe d'uso, come mostrato nella **Tab. 2.4.II** delle NTC-08.

Tabella 2.4.II – Valori del coefficiente d'uso C_U

CLASSE D'USO	I	II	III	IV
COEFFICIENTE C_U	0,7	1	1,5	2

Se $V_R \leq 35$ anni si pone comunque $V_R = 35$ anni.

Stati limite e relative probabilità di superamento (§ 3.2.1 NTC-08)

Nei confronti delle azioni sismiche gli stati limite, sia di esercizio che ultimi, sono individuati riferendosi alle prestazioni della costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali e gli impianti.

Gli stati limite di esercizio sono:

Stato Limite di Operatività (SLO): a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, non deve subire danni ed interruzioni d'uso significativi;

Stato Limite di Danno (SLD): a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, subisce danni tali da non mettere a rischio gli utenti e da non compromettere significativamente la capacità di resistenza e di rigidità nei confronti delle azioni verticali ed orizzontali, mantenendosi immediatamente utilizzabile pur nell'interruzione d'uso di parte delle apparecchiature.

Gli stati limite ultimi sono:

Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV): a seguito del terremoto la costruzione subisce rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e significativi danni dei componenti strutturali cui si associa una perdita significativa di rigidità nei confronti delle azioni orizzontali; la costruzione conserva invece una parte della resistenza e rigidità per azioni verticali e un margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni sismiche orizzontali;

Stato Limite di prevenzione del Collasso (SLC): a seguito del terremoto la costruzione subisce gravi rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e danni molto gravi dei componenti strutturali; la costruzione conserva ancora un margine di sicurezza per azioni verticali ed un esiguo margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni orizzontali.

Le probabilità di superamento nel periodo di riferimento P_{VR} , cui riferirsi per individuare l'azione sismica agente in ciascuno degli stati limite considerati, sono riportate nella **Tab. 3.2.I delle NTC-08**.

Tabella 3.2.I – Probabilità di superamento P_{VR} al variare dello stato limite considerato

Stati Limite	P_{VR} : Probabilità di superamento nel periodo di riferimento V_R	
Stati limite di esercizio	SLO	81%
	SLD	63%
Stati limite ultimi	SLV	10%
	SLC	5%

Qualora la protezione nei confronti degli stati limite di esercizio sia di prioritaria importanza, i valori di P_{VR} forniti in tabella devono essere ridotti in funzione del grado di protezione che si vuole raggiungere.

Spettri di Risposta

ai sensi del D.M. 14 gennaio 2008

[elaborazioni eseguite con "Spettri-NTC ver. 1.0.3"]

FASE 2 STRATEGIA DI PROGETTO

- 01 scelta della Strategia di Progettazione
- 02 valore di progetto dei parametri a_g , F_0 , T_C^* in funzione del periodo di ritorno T_R
- 03 spettri di risposta elastici per i diversi stati limite
- 04 valori dei parametri a_g , F_0 , T_C^* per i periodi di ritorno T_R associati a ciascun SL

FASE 2. SCELTA DELLA STRATEGIA DI PROGETTAZIONE

Vita nominale della costruzione (in anni) - V_N info

Coefficiente d'uso della costruzione - C_U info

Valori di progetto

Periodo di riferimento per la costruzione (in anni) - V_R info

Periodi di ritorno per la definizione dell'azione sismica (in anni) - T_R info

Stati limite di esercizio - SLE	{	SLO - $P_{VR} = 81\%$ <input style="width: 100px;" type="text" value="90"/>	90
		SLD - $P_{VR} = 63\%$ <input style="width: 100px;" type="text" value="151"/>	151
Stati limite ultimi - SLU	{	SLV - $P_{VR} = 10\%$ <input style="width: 100px;" type="text" value="1424"/>	1424
		SLC - $P_{VR} = 5\%$ <input style="width: 100px;" type="text" value="2475"/>	2475

Elaborazioni

- Grafici parametri azione ▶▶▶
- Grafici spettri di risposta ▶▶▶
- Tabella parametri azione ▶▶▶

Strategia di progettazione

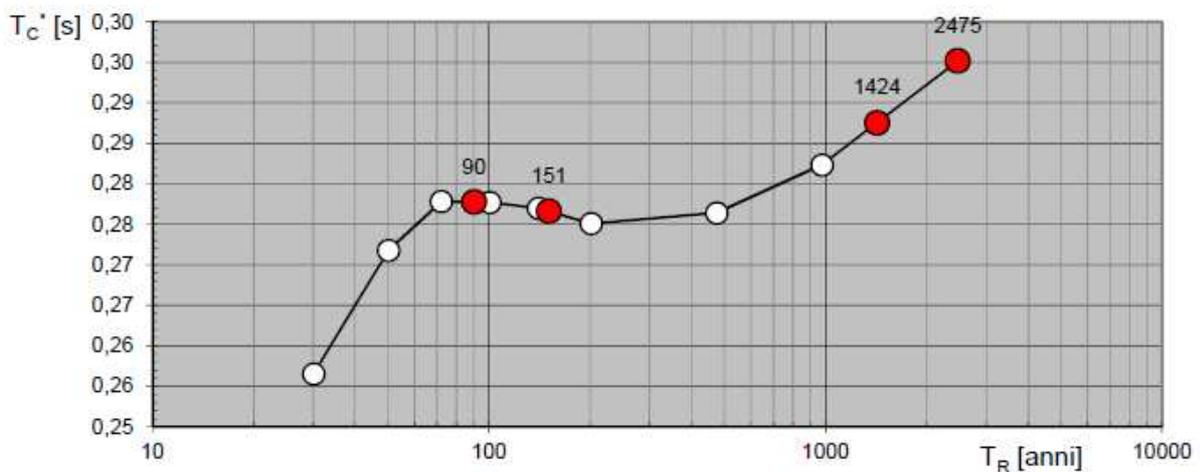
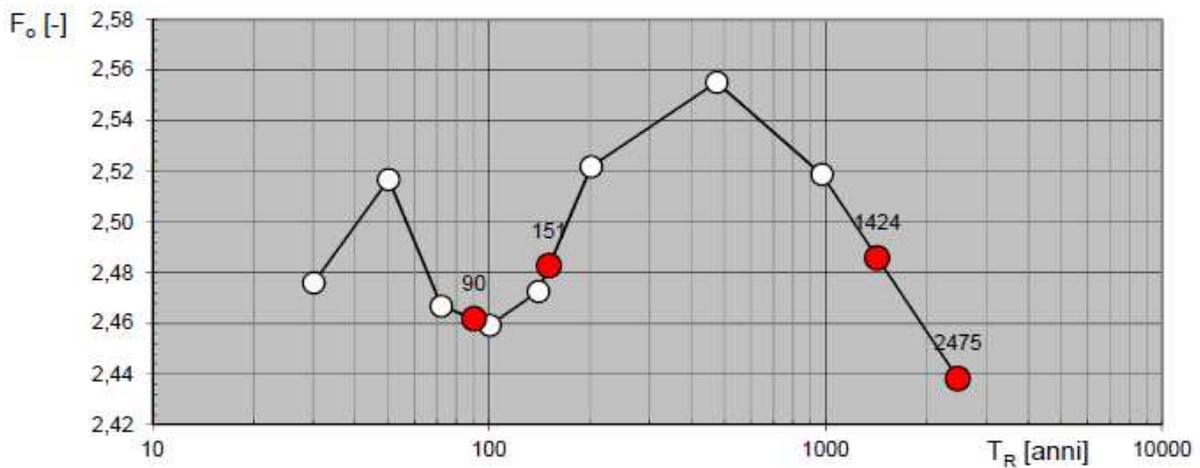
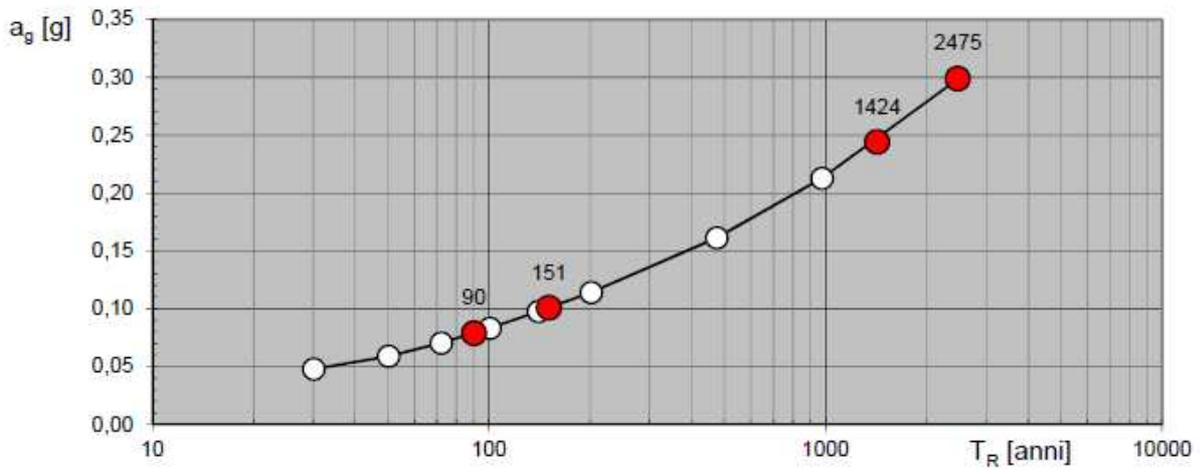
Stato Limite	Strategia per costruzioni ordinarie	Strategia scelta
SLO	90	90
SLD	151	151
SLV	~100	1424
SLC	~1000	2475

LEGENDA GRAFICO

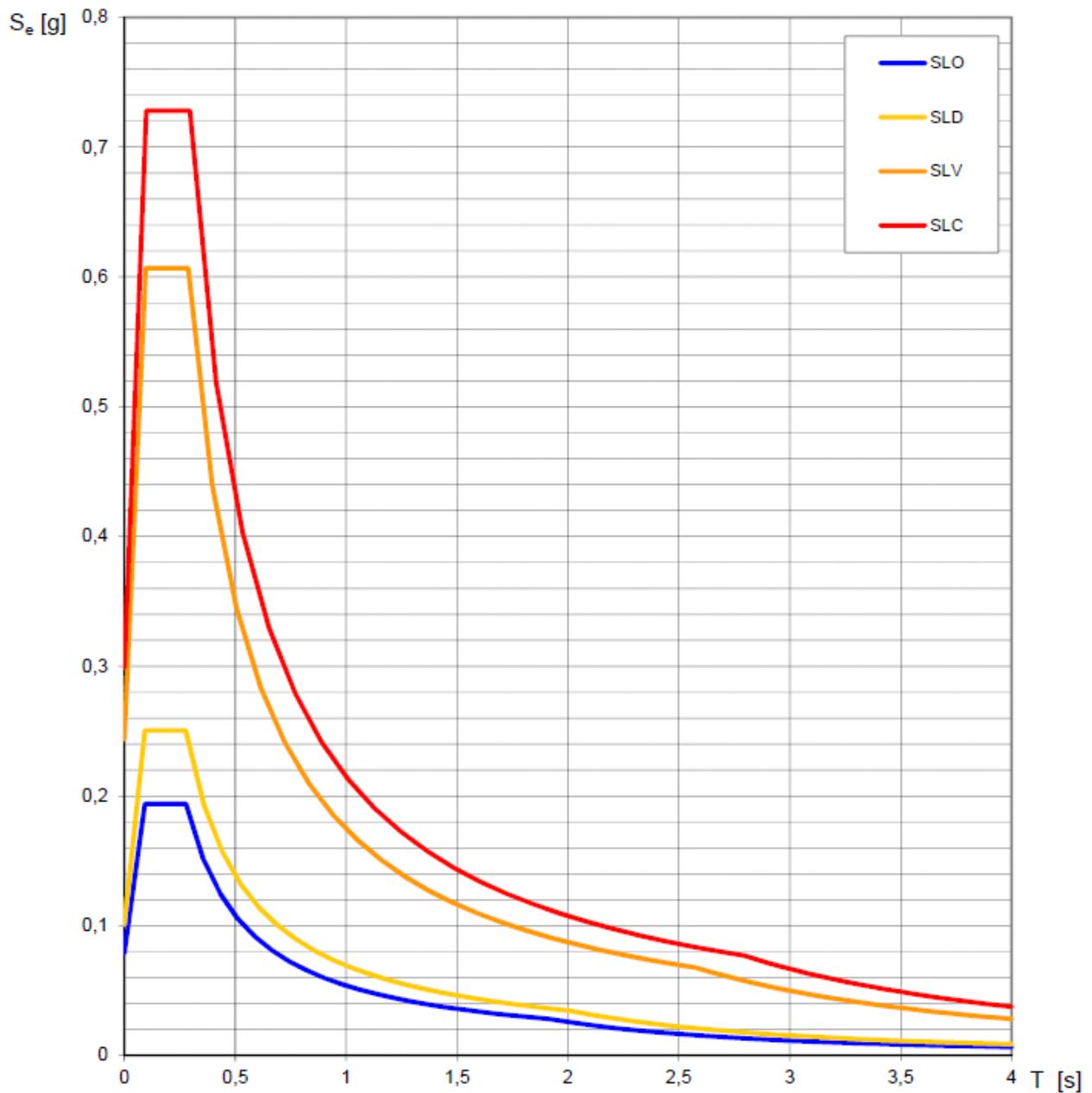
- Strategia per costruzioni ordinarie
- Strategia scelta

INTROFASE 1FASE 2FASE 3

Valori di progetto dei parametri a_g , F_o , T_C^* in funzione del periodo di ritorno T_R



Spettri di risposta elastici per i diversi Stati Limite



Valori dei parametri a_g , F_o , T_C^* per i periodi di ritorno T_R associati a ciascuno SL

SLATO LIMITE	T_R [anni]	a_g [g]	F_o [-]	T_C^* [s]
SLO	90	0,079	2,462	0,278
SLD	151	0,101	2,483	0,277
SLV	1424	0,244	2,486	0,287
SLC	2475	0,299	2,438	0,295

Spettri di Risposta

ai sensi del D.M. 14 gennaio 2008

[elaborazioni eseguite con "Spettri-NTC ver. 1.0.3"]

FASE 3 AZIONE DI PROGETTO (Risposta Sismica Locale)

00a Riferimenti Normativi – Spettri di Progetto per SLE e SLU

00b Riferimenti Normativi – Categorie del Sottosuolo e Condizioni Topografiche

00c Riferimenti Normativi – Amplificazione Stratigrafica e Topografica

00d Riferimenti Normativi – Fattore di Struttura

Riferimenti normativi

Spettri di progetto per gli stati limite di esercizio (§§ 3.2.3.4 e 7.3.7.1 NTC-08)

Per gli stati limite di esercizio lo spettro di progetto $S_d(T)$ da utilizzare, sia per le componenti orizzontali che per la componente verticale, è lo spettro elastico corrispondente, riferito alla probabilità di superamento nel periodo di riferimento P_{VR} considerata.

Per costruzioni di Classe III e IV, se si vogliono limitare i danneggiamenti strutturali, per tutti gli elementi strutturali, inclusi nodi e connessioni tra elementi, deve essere verificato che il valore di progetto di ciascuna sollecitazione calcolato in presenza delle azioni sismiche corrispondenti allo SLD ed attribuendo ad η il valore di 2/3 (corrispondente ad un valore $\xi = 17.5\%$) sia inferiore al corrispondente valore della resistenza di progetto.

Spettri di progetto per gli stati limite ultimi (§ 3.2.3.5 NTC-08)

Qualora le verifiche agli stati limite ultimi non vengano effettuate tramite l'uso di opportuni accelerogrammi ed analisi dinamiche al passo, ai fini del progetto o della verifica delle strutture le capacità dissipative delle strutture possono essere messe in conto attraverso una riduzione delle forze elastiche che tiene conto in modo semplificato della capacità dissipativa anelastica della struttura, della sua sovrarresistenza, dell'incremento del suo periodo proprio a seguito delle plasticizzazioni. In tal caso lo spettro di progetto $S_d(T)$ da utilizzare, sia per le componenti orizzontali che per la componente verticale, è lo spettro elastico corrispondente riferito alla probabilità di superamento nel periodo di riferimento P_{VR} considerata, con le ordinate ridotte sostituendo η con $1/q$, dove q è il fattore di struttura. Si assumerà comunque $S_d(T) \geq 0.2a_g$.

Fattore di struttura (§ 7.3.1 NTC-08)

Il valore del fattore di struttura q da utilizzare per ciascuna direzione della azione sismica, dipende dalla tipologia strutturale, dal suo grado di iperstaticità e dai criteri di progettazione adottati e prende in conto le non linearità di materiale. Esso può essere calcolato tramite la seguente espressione:

$$q = q_0 \cdot K_R \quad (\text{NTC-08 Eq. 7.3.1})$$

dove:

q_0 è il valore massimo del fattore di struttura che dipende dal livello di duttilità attesa, dalla tipologia strutturale e dal rapporto α_u/α_1 tra il valore dell'azione sismica per il quale si verifica la formazione di un numero di cerniere plastiche tali da rendere la struttura labile e quello per il quale il primo elemento strutturale raggiunge la plasticizzazione a flessione;

K_R è un fattore riduttivo che dipende dalle caratteristiche di regolarità in altezza della costruzione, con valore pari ad 1 per costruzioni regolari in altezza e pari a 0,8 per costruzioni non regolari in altezza.

Per le costruzioni regolari in pianta, qualora non si proceda ad un'analisi non lineare finalizzata alla valutazione del rapporto α_u/α_1 , per esso possono essere adottati i valori indicati nei paragrafi successivi per le diverse tipologie costruttive.

Per le costruzioni non regolari in pianta, si possono adottare valori di α_u/α_1 pari alla media tra 1,0 ed i valori di volta in volta forniti per le diverse tipologie costruttive.

Riferimenti normativi

Categorie di sottosuolo (§ 3.2.2 NTC-08)

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, si rende necessario valutare l'effetto della risposta sismica locale mediante specifiche analisi, come indicato nel § 7.11.5 delle NTC-08. In assenza di tali analisi, per la definizione dell'azione sismica si può fare riferimento a un approccio semplificato, che si basa sull'individuazione di categorie di sottosuolo di riferimento (**Tab. 3.2.II** delle NTC-08).

Tabella 3.2.II – Categorie di sottosuolo

Categoria	Descrizione
A	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m.
B	Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $N_{SP,T,30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina).
C	Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < N_{SP,T,30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < c_{u,30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina).
D	Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 180 m/s (ovvero $N_{SP,T,30} < 15$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} < 70$ kPa nei terreni a grana fina).
E	Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m, posti sul substrato di riferimento (con $V_s > 800$ m/s).

Condizioni topografiche (§ 3.2.2 NTC-08)

Per condizioni topografiche complesse è necessario predisporre specifiche analisi di risposta sismica locale. Per configurazioni superficiali semplici si può adottare la seguente classificazione (Tab. 3.2.IV delle NTC-08):

Tabella 3.2.IV – Categorie topografiche

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$

Riferimenti normativi

Amplificazione stratigrafica (§ 3.2.3.2.1 NTC-08)

Per sottosuolo di categoria A i coefficienti S_S e C_C valgono 1. Per le categorie di sottosuolo B,C,D ed E i coefficienti S_S e C_C possono essere calcolati, in funzione dei valori di a_g , F_0 e T_C^* relativi al sottosuolo di categoria A, mediante le espressioni fornite nella Tab. 3.2.V delle NTC-08, nelle quali g è l'accelerazione di gravità ed il tempo è espresso in secondi.

Tabella 3.2.V – Espressioni di S_S e di C_C

Categoria sottosuolo	S_S	C_C
A	1,00	1,00
B	$1,00 \leq 1,40 - 0,40 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,20$	$1,10 \cdot (T_C^*)^{-0,20}$
C	$1,00 \leq 1,70 - 0,60 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,50$	$1,05 \cdot (T_C^*)^{-0,33}$
D	$0,90 \leq 2,40 - 1,50 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,80$	$1,25 \cdot (T_C^*)^{-0,50}$
E	$1,00 \leq 2,00 - 1,10 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,60$	$1,15 \cdot (T_C^*)^{-0,40}$

Amplificazione topografica (§ 3.2.3.2.1 NTC-08)

Per tener conto delle condizioni topografiche e in assenza di specifiche analisi di risposta sismica locale, si utilizzano i valori del coefficiente topografico S_T riportati nella **Tab. 3.2.VI** delle NTC-08, in funzione delle categorie topografiche e dell'ubicazione dell'opera o dell'intervento.

Tabella 3.2.VI – Valori del coefficiente di amplificazione topografica S_T

Categoria topografica	Ubicazione dell'opera o dell'intervento	S_T
T1	-	1,00
T2	In corrispondenza della sommità del pendio	1,20
T3	In corrispondenza della cresta del rilievo	1,20
T4	In corrispondenza della cresta del rilievo	1,40

La variazione spaziale del coefficiente di amplificazione topografica è definita da un decremento lineare con l'altezza del pendio o rilievo, dalla sommità fino alla base dove S_T assume valore unitario.

Riferimenti normativi

Criteri generali (§ 7.2.1 NTC-08)

La componente verticale deve essere considerata solo in presenza di elementi pressoché orizzontali con luce superiore a 20 m, elementi precompressi (con l'esclusione dei solai di luce inferiore a 8 m), elementi a mensola di luce superiore a 4 m, strutture di tipo spingente, pilastri in falso, edifici con piani sospesi, ponti, costruzioni con isolamento nei casi specificati in § 7.10.5.3.2 e purché il sito nel quale la costruzione sorge non ricada in zona 3 o 4.

Fattore di struttura (§ 7.3.1 NTC-08)

Per la componente verticale dell'azione sismica il valore di q utilizzato, a meno di adeguate analisi giustificative, è $q = 1,5$ per qualunque tipologia strutturale e di materiale, tranne che per i ponti per i quali è $q = 1$.

Spettri di Risposta

ai sensi del D.M. 14 gennaio 2008

[elaborazioni eseguite con "Spettri-NTC ver. 1.0.3"]

FASE 3 AZIONE DI PROGETTO (Risposta Sismica Locale)

01a Determinazione dell'azione di progetto [SLO]

01b Spettri di risposta (componenti orizzontali e verticali) per lo strato limite: SLO

01c Parametri e punti dello spettro di risposta orizzontale per lo strato limite: SLO

01d Parametri e punti dello spettro di risposta verticale per lo strato limite: SLO

FASE 3. DETERMINAZIONE DELL'AZIONE DI PROGETTO

Stato Limite
Stato Limite considerato **SLO** info

Risposta sismica locale
Categoria di sottosuolo **C** info
Categoria topografica **T1** info
 $S_s = 1,500$ $C_c = 1,602$ info
 $h/H = 0,000$ $S_T = 1,000$ info
(h=quota sito, H=altezza rilievo topografico)

Compon. orizzontale
 Spettro di progetto elastico (SLE) $\zeta = 5$ info
 Spettro di progetto inelastico (SLU) $q_0 = 3$ $\eta = 1,000$ info
Fattore $q_0 = 3$ Regol. in altezza **no** info

Compon. verticale
Spettro di progetto $q = 1,5$ $\eta = 0,667$ info

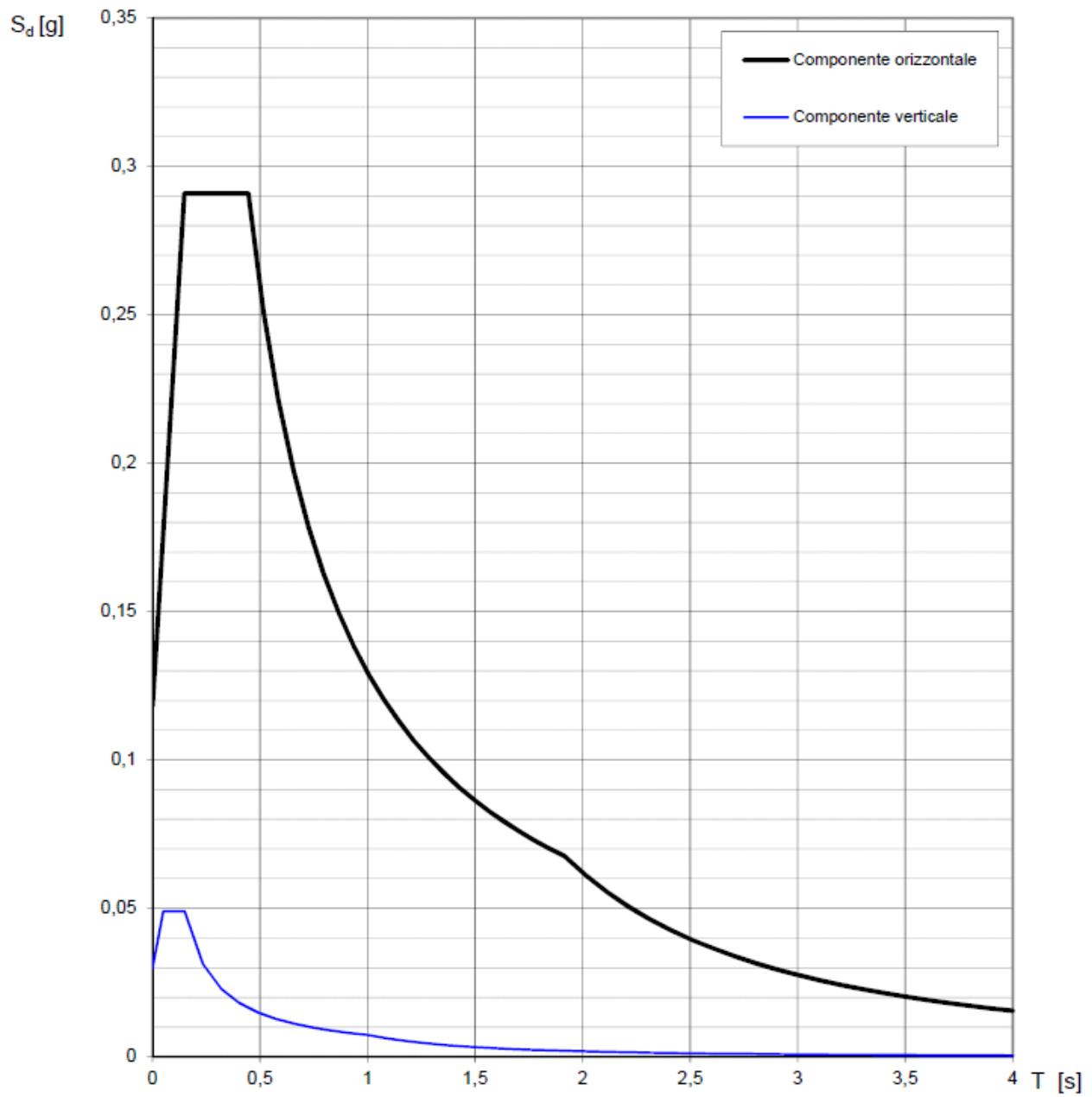
Elaborazioni
Grafici spettri di risposta
Parametri e punti spettri di risposta

Spettri di risposta

— Spettro di progetto - componente orizzontale
— Spettro di progetto - componente verticale
— Spettro elastico di riferimento (Cat. A-T1, $\xi = 5\%$)

INTRO FASE 1 FASE 2 **FASE 3**

Spettri di risposta (componenti orizz. e vert.) per lo stato limite: SLO



Parametri e punti dello spettro di risposta orizzontale per lo stato limite: SLO

Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLO
a_g	0,079 g
F_o	2,462
T_c	0,278 s
S_s	1,500
C_c	1,602
S_T	1,000
q	1,000

Parametri dipendenti

S	1,500
η	1,000
T_B	0,148 s
T_C	0,445 s
T_D	1,915 s

Espressioni dei parametri dipendenti

$$S = S_s \cdot S_T \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.5})$$

$$\eta = \sqrt{10/(5 + \xi)} \geq 0,55; \eta = 1/q \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.6; §. 3.2.3.5})$$

$$T_B = T_C / 3 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.8})$$

$$T_C = C_c \cdot T_c^* \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.7})$$

$$T_D = 4,0 \cdot a_g / g + 1,6 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.9})$$

Espressioni dello spettro di risposta (NTC-08 Eq. 3.2.4)

$$0 \leq T < T_B \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left[\frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_o} \left(1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$$

$$T_B \leq T < T_C \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o$$

$$T_C \leq T < T_D \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left(\frac{T_C}{T} \right)$$

$$T_D \leq T \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left(\frac{T_C T_D}{T^2} \right)$$

Lo spettro di progetto $S_d(T)$ per le verifiche agli Stati Limite Ultimi è ottenuto dalle espressioni dello spettro elastico $S_e(T)$ sostituendo η con $1/q$, dove q è il fattore di struttura. (NTC-08 § 3.2.3.5)

Punti dello spettro di risposta

	T [s]	Se [g]
	0,000	0,118
$T_B \leftarrow$	0,148	0,291
$T_C \leftarrow$	0,445	0,291
	0,515	0,251
	0,585	0,221
	0,655	0,198
	0,725	0,179
	0,795	0,163
	0,865	0,150
	0,935	0,138
	1,005	0,129
	1,075	0,120
	1,145	0,113
	1,215	0,107
	1,285	0,101
	1,355	0,096
	1,425	0,091
	1,495	0,087
	1,565	0,083
	1,635	0,079
	1,705	0,076
	1,775	0,073
	1,845	0,070
$T_D \leftarrow$	1,915	0,068
	2,014	0,061
	2,114	0,056
	2,213	0,051
	2,312	0,046
	2,412	0,043
	2,511	0,039
	2,610	0,036
	2,709	0,034
	2,809	0,031
	2,908	0,029
	3,007	0,027
	3,106	0,026
	3,206	0,024
	3,305	0,023
	3,404	0,021
	3,504	0,020
	3,603	0,019
	3,702	0,018
	3,801	0,017
	3,901	0,016
	4,000	0,015

Parametri e punti dello spettro di risposta verticale per lo stato limite: SLO

Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLO
a_{gv}	0,030 g
S_S	1,000
S_T	1,000
q	1,500
T_B	0,050 s
T_C	0,150 s
T_D	1,000 s

Parametri dipendenti

F_v	0,933
S	1,000
η	0,667

Espressioni dei parametri dipendenti

$$S = S_S \cdot S_T \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.5})$$

$$\eta = 1/q \quad (\text{NTC-08 §. 3.2.3.5})$$

$$F_v = 1,35 \cdot F_0 \cdot \left(\frac{a_g}{g} \right)^{0,5} \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.11})$$

Espressioni dello spettro di risposta (NTC-08 Eq. 3.2.10)

$$0 \leq T < T_B \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left[\frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_0} \left(1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$$

$$T_B \leq T < T_C \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v$$

$$T_C \leq T < T_D \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left(\frac{T_C}{T} \right)$$

$$T_D \leq T \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left(\frac{T_C \cdot T_D}{T^2} \right)$$

Punti dello spettro di risposta

	T [s]	Se [g]
	0,000	0,030
$T_B \leftarrow$	0,050	0,049
$T_C \leftarrow$	0,150	0,049
	0,235	0,031
	0,320	0,023
	0,405	0,018
	0,490	0,015
	0,575	0,013
	0,660	0,011
	0,745	0,010
	0,830	0,009
	0,915	0,008
$T_D \leftarrow$	1,000	0,007
	1,094	0,006
	1,188	0,005
	1,281	0,004
	1,375	0,004
	1,469	0,003
	1,563	0,003
	1,656	0,003
	1,750	0,002
	1,844	0,002
	1,938	0,002
	2,031	0,002
	2,125	0,002
	2,219	0,001
	2,313	0,001
	2,406	0,001
	2,500	0,001
	2,594	0,001
	2,688	0,001
	2,781	0,001
	2,875	0,001
	2,969	0,001
	3,063	0,001
	3,156	0,001
	3,250	0,001
	3,344	0,001
	3,438	0,001
	3,531	0,001
	3,625	0,001
	3,719	0,001
	3,813	0,001
	3,906	0,000
	4,000	0,000

Spettri di Risposta

ai sensi del D.M. 14 gennaio 2008

[elaborazioni eseguite con "Spettri-NTC ver. 1.0.3"]

FASE 3 AZIONE DI PROGETTO (Risposta Sismica Locale)

02a Determinazione dell'azione di progetto [SLD]

02b Spettri di risposta (componenti orizzontali e verticali) per lo strato limite: SLD

02c Parametri e punti dello spettro di risposta orizzontale per lo strato limite: SLD

02d Parametri e punti dello spettro di risposta verticale per lo strato limite: SLD

FASE 3. DETERMINAZIONE DELL'AZIONE DI PROGETTO

Stato Limite
Stato Limite considerato **SLD**

Risposta sismica locale
Categoria di sottosuolo **C** $S_S = 1,500$ $C_C = 1,605$
Categoria topografica **T1** $h/H = 0,000$ $S_T = 1,000$
(h=quota sito, H=altezza rilievo topografico)

Compon. orizzontale
 Spettro di progetto elastico (SLE) $\xi = 5\%$ $\eta = 1,000$
 Spettro di progetto inelastico (SLU) $q_0 = 3$ $\eta =$

Compon. verticale
Spettro di progetto $q = 1,5$ $\eta = 0,667$

Elaborazioni
Grafici spettri di risposta
Parametri e punti spettri di risposta

Spettri di risposta

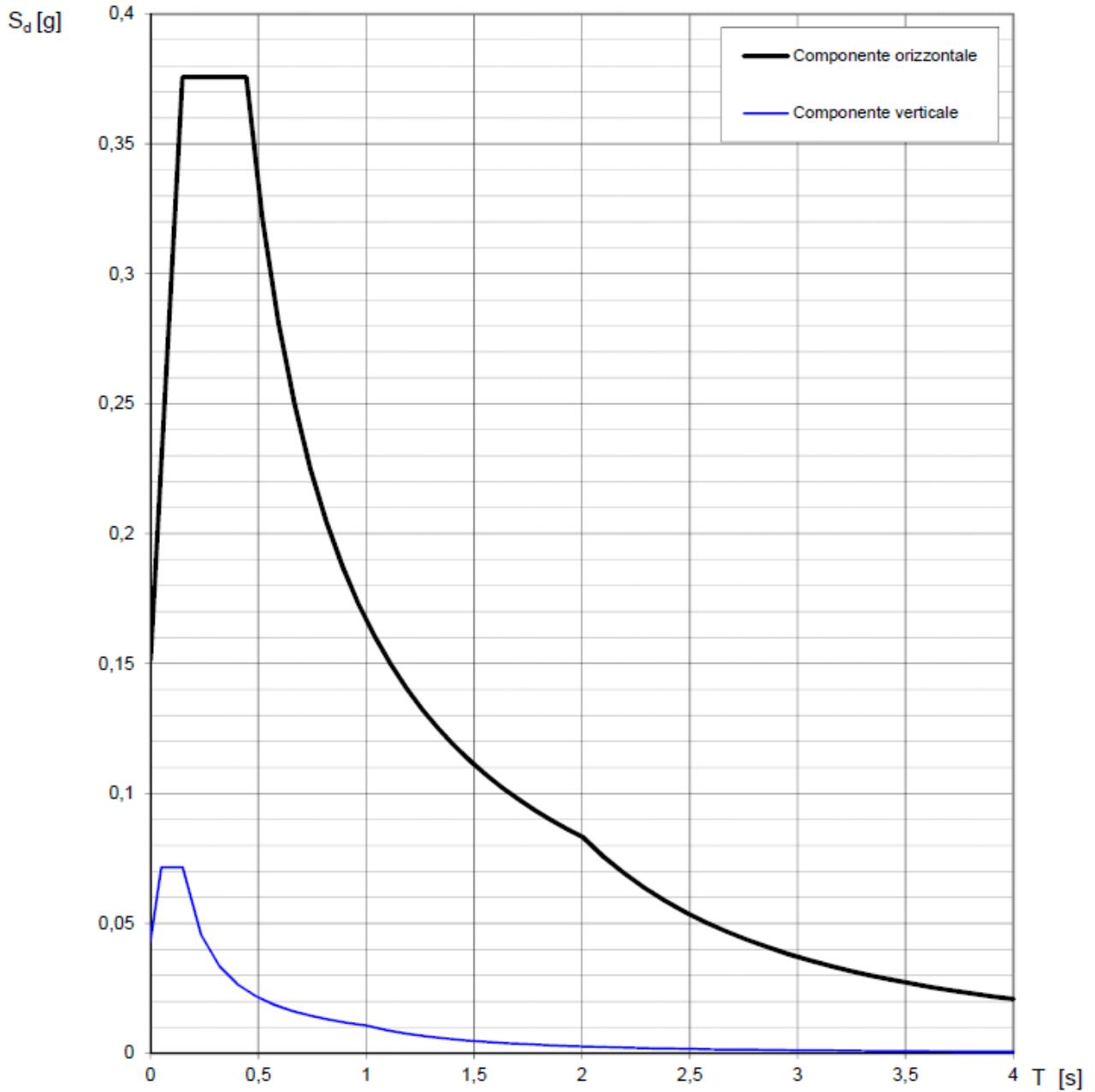
$S_{d,o}$ [g]
 $S_{d,v}$ [g]
 S_e [g]

— Spettro di progetto - componente orizzontale
— Spettro di progetto - componente verticale
— Spettro elastico di riferimento (Cat. A-T1, $\xi = 5\%$)

0 0,5 1 1,5 2 2,5 3 3,5 T [s] 4

INTRO **FASE 1** **FASE 2** **FASE 3**

Spettri di risposta (componenti orizz. e vert.) per lo stato limite: SLD



Parametri e punti dello spettro di risposta orizzontale per lo stato limite: SLD

Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLD
a_g	0,101 g
F_o	2,483
T_C	0,277 s
S_S	1,500
C_C	1,605
S_T	1,000
q	1,000

Parametri dipendenti

S	1,500
η	1,000
T_B	0,148 s
T_C	0,444 s
T_D	2,004 s

Espressioni dei parametri dipendenti

$$S = S_S \cdot S_T \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.5})$$

$$\eta = \sqrt{10/(5 + \xi)} \geq 0,55; \eta = 1/q \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.6; §. 3.2.3.5})$$

$$T_B = T_C / 3 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.8})$$

$$T_C = C_C \cdot T_C^* \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.7})$$

$$T_D = 4,0 \cdot a_g / g + 1,6 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.9})$$

Espressioni dello spettro di risposta (NTC-08 Eq. 3.2.4)

$$0 \leq T < T_B \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left[\frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_o} \left(1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$$

$$T_B \leq T < T_C \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o$$

$$T_C \leq T < T_D \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left(\frac{T_C}{T} \right)$$

$$T_D \leq T \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left(\frac{T_C \cdot T_D}{T^2} \right)$$

Lo spettro di progetto $S_d(T)$ per le verifiche agli Stati Limite Ultimi è ottenuto dalle espressioni dello spettro elastico $S_e(T)$ sostituendo η con $1/q$, dove q è il fattore di struttura. (NTC-08 § 3.2.3.5)

Punti dello spettro di risposta

	T [s]	Se [g]
	0,000	0,151
T_B ←	0,148	0,376
T_C ←	0,444	0,376
	0,518	0,322
	0,592	0,281
	0,667	0,250
	0,741	0,225
	0,815	0,205
	0,889	0,187
	0,964	0,173
	1,038	0,161
	1,112	0,150
	1,187	0,141
	1,261	0,132
	1,335	0,125
	1,409	0,118
	1,484	0,112
	1,558	0,107
	1,632	0,102
	1,706	0,098
	1,781	0,094
	1,855	0,090
	1,929	0,086
T_D ←	2,004	0,083
	2,099	0,076
	2,194	0,069
	2,289	0,064
	2,384	0,059
	2,479	0,054
	2,574	0,050
	2,669	0,047
	2,764	0,044
	2,859	0,041
	2,954	0,038
	3,049	0,036
	3,144	0,034
	3,239	0,032
	3,335	0,030
	3,430	0,028
	3,525	0,027
	3,620	0,025
	3,715	0,024
	3,810	0,023
	3,905	0,022
	4,000	0,021

Parametri e punti dello spettro di risposta verticale per lo stato limite: SLD

Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLD
a_{gv}	0,043 g
S_S	1,000
S_T	1,000
q	1,500
T_B	0,050 s
T_C	0,150 s
T_D	1,000 s

Parametri dipendenti

F_v	1,065
S	1,000
η	0,667

Espressioni dei parametri dipendenti

$$S = S_S \cdot S_T \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.5})$$

$$\eta = 1/q \quad (\text{NTC-08 §. 3.2.3.5})$$

$$F_v = 1,35 \cdot F_0 \cdot \left(\frac{a_g}{g}\right)^{0,5} \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.11})$$

Espressioni dello spettro di risposta (NTC-08 Eq. 3.2.10)

$$0 \leq T < T_B \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left[\frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_0} \left(1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$$

$$T_B \leq T < T_C \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v$$

$$T_C \leq T < T_D \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left(\frac{T_C}{T} \right)$$

$$T_D \leq T \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left(\frac{T_C T_D}{T^2} \right)$$

Punti dello spettro di risposta

	T [s]	Se [g]
	0,000	0,043
$T_B \leftarrow$	0,050	0,072
$T_C \leftarrow$	0,150	0,072
	0,235	0,046
	0,320	0,034
	0,405	0,027
	0,490	0,022
	0,575	0,019
	0,660	0,016
	0,745	0,014
	0,830	0,013
	0,915	0,012
$T_D \leftarrow$	1,000	0,011
	1,094	0,009
	1,188	0,008
	1,281	0,007
	1,375	0,006
	1,469	0,005
	1,563	0,004
	1,656	0,004
	1,750	0,004
	1,844	0,003
	1,938	0,003
	2,031	0,003
	2,125	0,002
	2,219	0,002
	2,313	0,002
	2,406	0,002
	2,500	0,002
	2,594	0,002
	2,688	0,001
	2,781	0,001
	2,875	0,001
	2,969	0,001
	3,063	0,001
	3,156	0,001
	3,250	0,001
	3,344	0,001
	3,438	0,001
	3,531	0,001
	3,625	0,001
	3,719	0,001
	3,813	0,001
	3,906	0,001
	4,000	0,001

Spettri di Risposta

ai sensi del D.M. 14 gennaio 2008

[elaborazioni eseguite con "Spettri-NTC ver. 1.0.3"]

FASE 3 AZIONE DI PROGETTO (Risposta Sismica Locale)

03a Determinazione dell'azione di progetto [SLV]

03b Spettri di risposta (componenti orizzontali e verticali) per lo strato limite: SLV

03c Parametri e punti dello spettro di risposta orizzontale per lo strato limite: SLV

03d Parametri e punti dello spettro di risposta verticale per lo strato limite: SLV

FASE 3. DETERMINAZIONE DELL'AZIONE DI PROGETTO

Stato Limite
Stato Limite considerato **SLV** info

Risposta sismica locale
Categoria di sottosuolo **C** info
Categoria topografica **T1** info
 $S_S = 1,336$ $C_C = 1,584$ info
 $h/H = 0,000$ $S_T = 1,000$ info
(h=quota sito, H=altezza rilievo topografico)

Compon. orizzontale
 Spettro di progetto elastico (SLE)
 Spettro di progetto inelastico (SLU)
Smorzamento ξ (%) **5** $\eta = 1,000$ info
Fattore q_0 **3** Regol. in altezza **no** info

Compon. verticale
Spettro di progetto
Fattore q **1,5** $\eta = 0,667$ info

Elaborazioni
Grafici spettri di risposta
Parametri e punti spettri di risposta

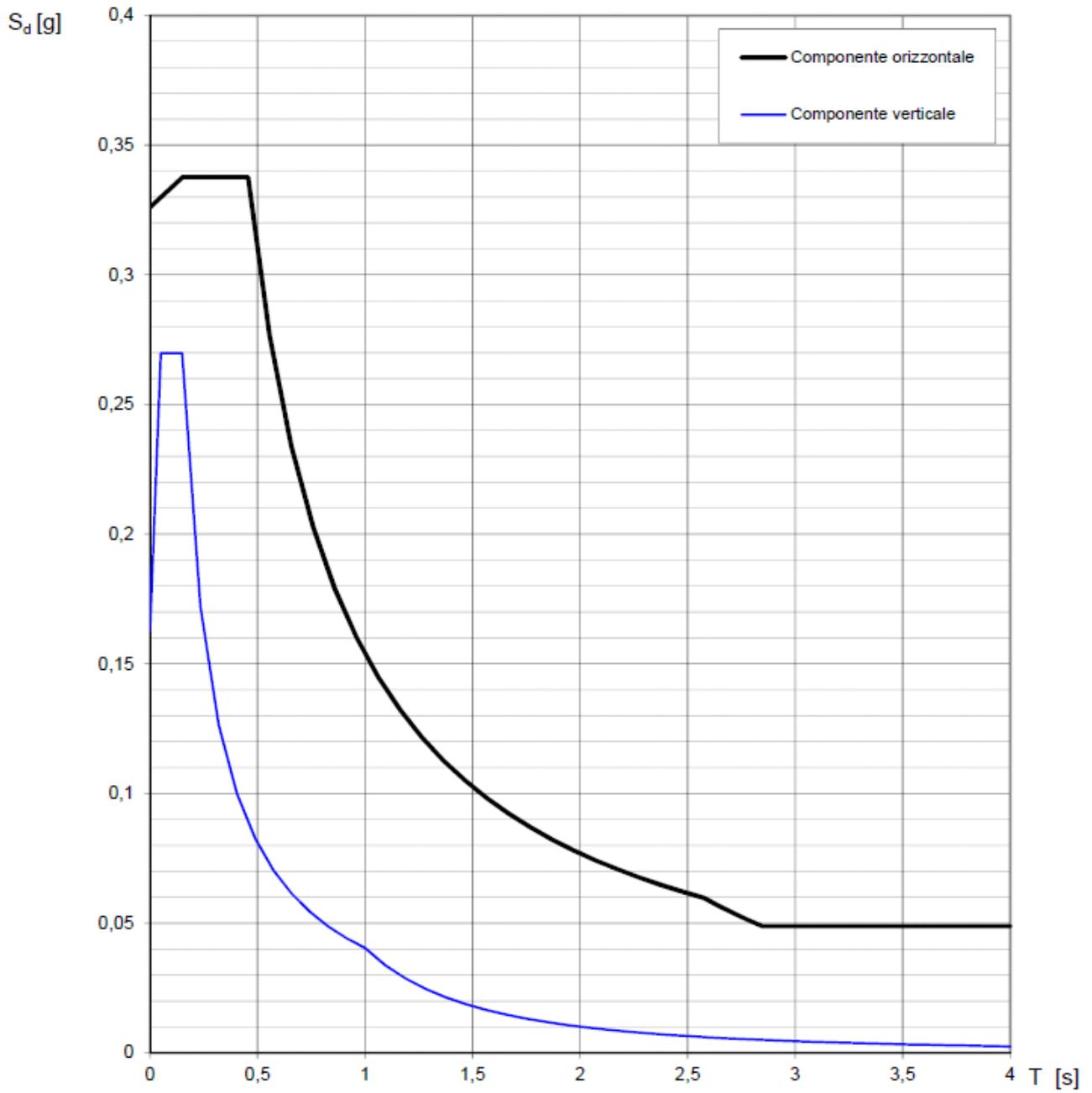
Spettri di risposta

— Spettro di progetto - componente orizzontale
— Spettro di progetto - componente verticale
— Spettro elastico di riferimento (Cat. A-T1, $\xi = 5\%$)

— $S_{d,o}$ [g]
— $S_{d,v}$ [g]
— S_e [g]

INTRO FASE 1 FASE 2 **FASE 3**

Spettri di risposta (componenti orizz. e vert.) per lo stato limite: SLV



Parametri e punti dello spettro di risposta orizzontale per lo stato limite: SLV

Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLV
a_g	0,244 g
F_0	2,486
T_C	0,287 s
S_S	1,336
C_C	1,584
S_T	1,000
q	2,400

Parametri dipendenti

S	1,336
η	0,417
T_B	0,152 s
T_C	0,455 s
T_D	2,576 s

Espressioni dei parametri dipendenti

$$S = S_S \cdot S_T \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.5})$$

$$\eta = \sqrt{10 / (5 + \xi)} \geq 0,55; \eta = 1/q \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.6; §. 3.2.3.5})$$

$$T_B = T_C / 3 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.8})$$

$$T_C = C_C \cdot T_C^* \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.7})$$

$$T_D = 4,0 \cdot a_g / g + 1,6 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.9})$$

Espressioni dello spettro di risposta (NTC-08 Eq. 3.2.4)

$$0 \leq T < T_B \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left[\frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_0} \left(1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$$

$$T_B \leq T < T_C \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0$$

$$T_C \leq T < T_D \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left(\frac{T_C}{T} \right)$$

$$T_D \leq T \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left(\frac{T_C T_D}{T^2} \right)$$

Lo spettro di progetto $S_d(T)$ per le verifiche agli Stati Limite Ultimi è ottenuto dalle espressioni dello spettro elastico $S_e(T)$ sostituendo η con $1/q$, dove q è il fattore di struttura. (NTC-08 § 3.2.3.5)

Punti dello spettro di risposta

	T [s]	Se [g]
	0,000	0,326
$T_B \leftarrow$	0,152	0,338
$T_C \leftarrow$	0,455	0,338
	0,556	0,276
	0,657	0,234
	0,758	0,203
	0,859	0,179
	0,960	0,160
	1,061	0,145
	1,162	0,132
	1,263	0,122
	1,364	0,113
	1,465	0,105
	1,566	0,098
	1,667	0,092
	1,768	0,087
	1,869	0,082
	1,970	0,078
	2,071	0,074
	2,172	0,071
	2,273	0,068
	2,374	0,065
	2,475	0,062
$T_D \leftarrow$	2,576	0,060
	2,644	0,057
	2,712	0,054
	2,780	0,051
	2,847	0,049
	2,915	0,049
	2,983	0,049
	3,051	0,049
	3,119	0,049
	3,186	0,049
	3,254	0,049
	3,322	0,049
	3,390	0,049
	3,458	0,049
	3,525	0,049
	3,593	0,049
	3,661	0,049
	3,729	0,049
	3,797	0,049
	3,864	0,049
	3,932	0,049
	4,000	0,049

Parametri e punti dello spettro di risposta verticale per lo stato limite: SLV

Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLV
a_{gv}	0,163 g
S_S	1,000
S_T	1,000
q	1,500
T_B	0,050 s
T_C	0,150 s
T_D	1,000 s

Parametri dipendenti

F_v	1,658
S	1,000
η	0,667

Espressioni dei parametri dipendenti

$$S = S_S \cdot S_T \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.5})$$

$$\eta = 1/q \quad (\text{NTC-08 §. 3.2.3.5})$$

$$F_v = 1,35 \cdot F_0 \cdot \left(\frac{a_g}{g} \right)^{0,5} \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.11})$$

Espressioni dello spettro di risposta (NTC-08 Eq. 3.2.10)

$$0 \leq T < T_B \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left[\frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_0} \left(1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$$

$$T_B \leq T < T_C \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v$$

$$T_C \leq T < T_D \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left(\frac{T_C}{T} \right)$$

$$T_D \leq T \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left(\frac{T_C T_D}{T^2} \right)$$

Punti dello spettro di risposta

	T [s]	Se [g]
	0,000	0,163
$T_B \leftarrow$	0,050	0,270
$T_C \leftarrow$	0,150	0,270
	0,235	0,172
	0,320	0,126
	0,405	0,100
	0,490	0,083
	0,575	0,070
	0,660	0,061
	0,745	0,054
	0,830	0,049
	0,915	0,044
$T_D \leftarrow$	1,000	0,040
	1,094	0,034
	1,188	0,029
	1,281	0,025
	1,375	0,021
	1,469	0,019
	1,563	0,017
	1,656	0,015
	1,750	0,013
	1,844	0,012
	1,938	0,011
	2,031	0,010
	2,125	0,009
	2,219	0,008
	2,313	0,008
	2,406	0,007
	2,500	0,006
	2,594	0,006
	2,688	0,006
	2,781	0,005
	2,875	0,005
	2,969	0,005
	3,063	0,004
	3,156	0,004
	3,250	0,004
	3,344	0,004
	3,438	0,003
	3,531	0,003
	3,625	0,003
	3,719	0,003
	3,813	0,003
	3,906	0,003
	4,000	0,003

Spettri di Risposta

ai sensi del D.M. 14 gennaio 2008

[elaborazioni eseguite con "Spettri-NTC ver. 1.0.3"]

FASE 3 AZIONE DI PROGETTO (Risposta Sismica Locale)

04a Determinazione dell'azione di progetto [SLC]

04b Spettri di risposta (componenti orizzontali e verticali) per lo stato limite: SLC

04c Parametri e punti dello spettro di risposta orizzontale per lo stato limite: SLC

04d Parametri e punti dello spettro di risposta verticale per lo stato limite: SLC

FASE 3. DETERMINAZIONE DELL'AZIONE DI PROGETTO

Stato Limite
Stato Limite considerato **SLC** info

Risposta sismica locale
Categoria di sottosuolo **C** info $S_s = 1,263$ $C_c = 1,571$ info
Categoria topografica **T1** info $h/H = 0,000$ $S_T = 1,000$ info
(h=quota sito, H=altezza rilievo topografico)

Compon. orizzontale
 Spettro di progetto elastico (SLE) Smorzamento ξ (%) **5** $\eta = 1,000$ info
 Spettro di progetto inelastico (SLU) Fattore q_o **3** Regol. in altezza **no** info

Compon. verticale
Spettro di progetto Fattore q **1,5** $\eta = 0,667$ info

Elaborazioni
Grafici spettri di risposta
Parametri e punti spettri di risposta

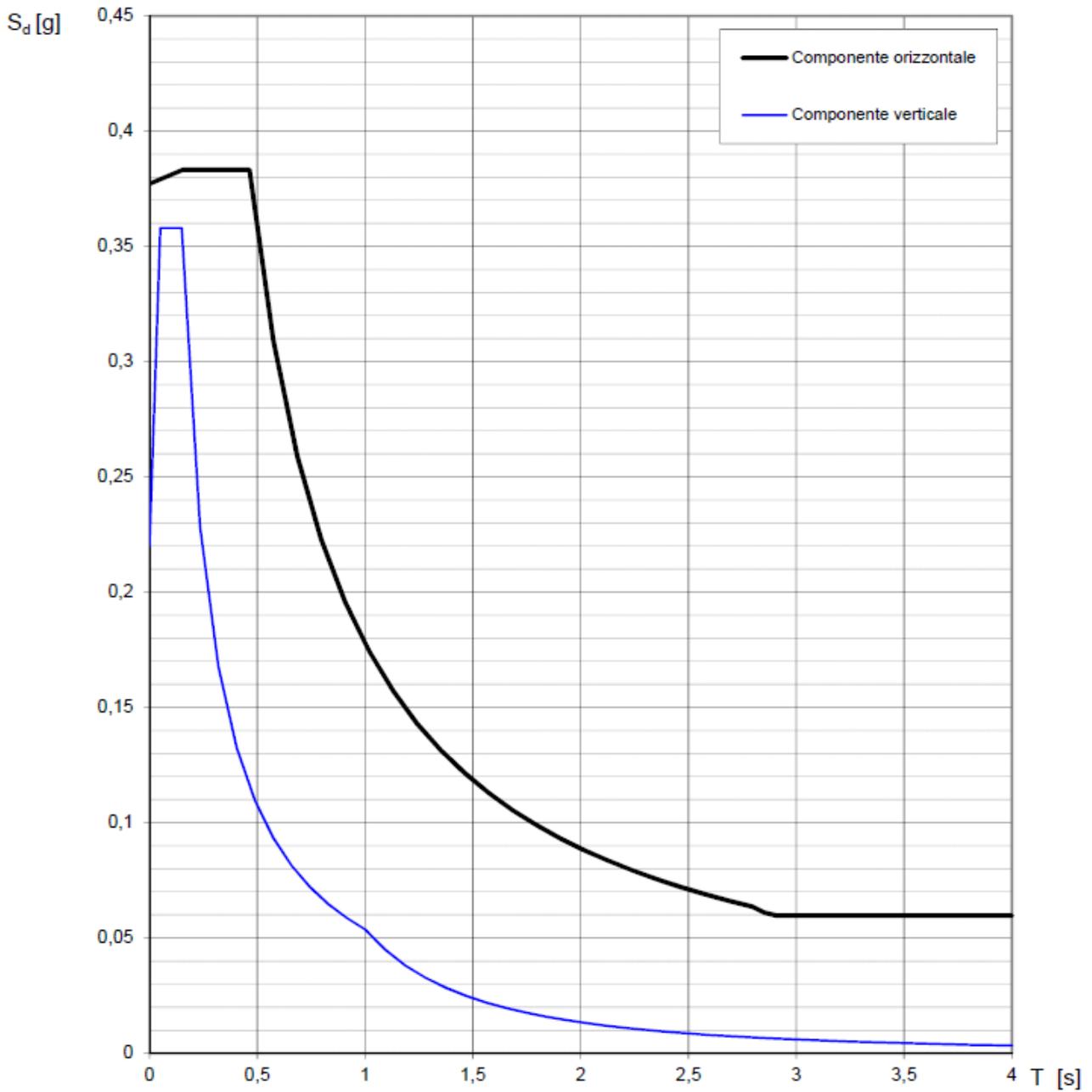
Spettri di risposta

$S_{d,o}$ [g]
 $S_{d,v}$ [g]
 S_e [g]

— Spettro di progetto - componente orizzontale
— Spettro di progetto - componente verticale
— Spettro elastico di riferimento (Cat. A-T1, $\xi = 5\%$)

INTRO FASE 1 FASE 2 **FASE 3**

Spettri di risposta (componenti orizz. e vert.) per lo stato limite: SLC



Parametri e punti dello spettro di risposta orizzontale per lo stato limite: SLC

Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLC
a_g	0,299 g
F_o	2,438
T_c^*	0,295 s
S_s	1,263
C_c	1,571
S_T	1,000
q	2,400

Parametri dipendenti

S	1,263
η	0,417
T_B	0,155 s
T_C	0,464 s
T_D	2,794 s

Espressioni dei parametri dipendenti

$$S = S_s \cdot S_T \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.5})$$

$$\eta = \sqrt{10/(5 + \xi)} \geq 0,55; \eta = 1/q \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.6; §. 3.2.3.5})$$

$$T_B = T_C / 3 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.8})$$

$$T_C = C_c \cdot T_c^* \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.7})$$

$$T_D = 4,0 \cdot a_g / g + 1,6 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.9})$$

Espressioni dello spettro di risposta (NTC-08 Eq. 3.2.4)

$$0 \leq T < T_B \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left[\frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_o} \left(1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$$

$$T_B \leq T < T_C \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o$$

$$T_C \leq T < T_D \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left(\frac{T_C}{T} \right)$$

$$T_D \leq T \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left(\frac{T_C \cdot T_D}{T^2} \right)$$

Lo spettro di progetto $S_d(T)$ per le verifiche agli Stati Limite Ultimi è ottenuto dalle espressioni dello spettro elastico $S_e(T)$ sostituendo η con $1/q$, dove q è il fattore di struttura. (NTC-08 § 3.2.3.5)

Punti dello spettro di risposta

	T [s]	Se [g]
	0,000	0,377
$T_B \leftarrow$	0,155	0,383
$T_C \leftarrow$	0,464	0,383
	0,575	0,309
	0,686	0,259
	0,797	0,223
	0,908	0,196
	1,019	0,174
	1,130	0,157
	1,241	0,143
	1,351	0,131
	1,462	0,121
	1,573	0,113
	1,684	0,105
	1,795	0,099
	1,906	0,093
	2,017	0,088
	2,128	0,083
	2,239	0,079
	2,350	0,076
	2,461	0,072
	2,572	0,069
	2,683	0,066
$T_D \leftarrow$	2,794	0,064
	2,852	0,061
	2,909	0,060
	2,967	0,060
	3,024	0,060
	3,081	0,060
	3,139	0,060
	3,196	0,060
	3,254	0,060
	3,311	0,060
	3,368	0,060
	3,426	0,060
	3,483	0,060
	3,541	0,060
	3,598	0,060
	3,656	0,060
	3,713	0,060
	3,770	0,060
	3,828	0,060
	3,885	0,060
	3,943	0,060
	4,000	0,060

Parametri e punti dello spettro di risposta verticale per lo stato limite: SLC

Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLC
a_{gv}	0,220 g
S_S	1,000
S_T	1,000
q	1,500
T_B	0,050 s
T_C	0,150 s
T_D	1,000 s

Parametri dipendenti

F_v	1,799
S	1,000
η	0,667

Espressioni dei parametri dipendenti

$$S = S_S \cdot S_T \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.5})$$

$$\eta = 1/q \quad (\text{NTC-08 §. 3.2.3.5})$$

$$F_v = 1,35 \cdot F_0 \cdot \left(\frac{a_g}{g} \right)^{0,5} \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.11})$$

Espressioni dello spettro di risposta (NTC-08 Eq. 3.2.10)

$$0 \leq T < T_B \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left[\frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_0} \left(1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$$

$$T_B \leq T < T_C \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v$$

$$T_C \leq T < T_D \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left(\frac{T_C}{T} \right)$$

$$T_D \leq T \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left(\frac{T_C \cdot T_D}{T^2} \right)$$

Punti dello spettro di risposta

	T [s]	Se [g]
	0,000	0,220
$T_B \leftarrow$	0,050	0,358
$T_C \leftarrow$	0,150	0,358
	0,235	0,229
	0,320	0,168
	0,405	0,133
	0,490	0,110
	0,575	0,093
	0,660	0,081
	0,745	0,072
	0,830	0,065
	0,915	0,059
$T_D \leftarrow$	1,000	0,054
	1,094	0,045
	1,188	0,038
	1,281	0,033
	1,375	0,028
	1,469	0,025
	1,563	0,022
	1,656	0,020
	1,750	0,018
	1,844	0,016
	1,938	0,014
	2,031	0,013
	2,125	0,012
	2,219	0,011
	2,313	0,010
	2,406	0,009
	2,500	0,009
	2,594	0,008
	2,688	0,007
	2,781	0,007
	2,875	0,006
	2,969	0,006
	3,063	0,006
	3,156	0,005
	3,250	0,005
	3,344	0,005
	3,438	0,005
	3,531	0,004
	3,625	0,004
	3,719	0,004
	3,813	0,004
	3,906	0,004
	4,000	0,003