

REPUBBLICA ITALIANA

BOLLETTINO UFFICIALE

DELLA



Regione Umbria

SERIE GENERALE

PERUGIA - 30 ottobre 2019

DIREZIONE REDAZIONE E AMMINISTRAZIONE PRESSO PRESIDENZA DELLA GIUNTA REGIONALE - P E R U G I A

PARTE PRIMA

Sezione II

ATTI DELLA REGIONE

DELIBERAZIONE DELLA GIUNTA REGIONALE 21 ottobre 2019, n. **1163**.

Indicazioni per studi di risposta sismica locale applicati alla valutazione dell'azione sismica di progetto. Adozione.

PARTE PRIMA

Sezione II

ATTI DELLA REGIONE

DELIBERAZIONE DELLA GIUNTA REGIONALE 21 ottobre 2019, n. **1163**.

Indicazioni per studi di risposta sismica locale applicati alla valutazione dell'azione sismica di progetto. Adozione.

LA GIUNTA REGIONALE

Visto il documento istruttorio concernente l'argomento in oggetto: **“Indicazioni per studi di risposta sismica locale applicati alla valutazione dell'azione sismica di progetto. Adozione”** e la conseguente proposta dell'assessore Giuseppe Chianella

Preso atto:

- a) del parere favorevole di regolarità tecnica e amministrativa reso dal responsabile del procedimento;
- b) del parere favorevole sotto il profilo della legittimità espresso dal dirigente competente;
- c) del parere favorevole del direttore in merito alla coerenza dell'atto proposto con gli indirizzi e gli obiettivi assegnati alla Direzione stessa;

Vista la legge regionale 1 febbraio 2005, n. 2 e la normativa attuativa della stessa;

Premesso che:

- la “pericolosità sismica di base”, o semplicemente pericolosità sismica, costituisce l'elemento di conoscenza primario per la determinazione delle azioni sismiche per le opere e sistemi geotecnici sul territorio nazionale;
- le vigenti Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC) prevedono che la definizione dell'azione sismica di progetto sia valutata mediante specifiche analisi di Risposta Sismica Locale ammettendo in via alternativa, per determinate condizioni stratigrafiche “standard”, un approccio semplificato basato sulla diretta classificazione in “*categorie di sottosuolo*” in funzione dei valori delle velocità di propagazione delle onde di taglio V_s ;
- le analisi di risposta sismica locale richiedono un'adeguata conoscenza delle proprietà geotecniche dei terreni, da determinare mediante specifiche indagini e prove;

Ricordato che la Regione Umbria con:

- D.G.R. n. 377 dell'8 marzo 2010 ha approvato i *criteri per l'esecuzione degli studi di microzonazione sismica*;
- D.G.R. n. 1232 dell'8 marzo 2010 ha approvato *Criteri per l'esecuzione degli studi di microzonazione sismica. Adozione delle linee guida per la gestione del territorio in aree interessate da faglie attive e capaci (FAC), da liquefazione (LQ), da instabilità di versante sismoindotte (FR)*;

Ricordato altresì che con l'Ordinanza n. 55 del 24 aprile 2018 del Commissario del Governo per la ricostruzione nei territori interessati dal sisma del 24 agosto 2016 sono stati approvati i *criteri per l'utilizzo degli studi di microzonazione sismica per la ricostruzione nei territori colpiti dagli eventi sismici a far data dal 24 agosto 2016*;

Vista la deliberazione di Giunta regionale n. 593 del 6 maggio 2019 recante “*Atto di indirizzo sulle nuove procedure sul rilascio dell'autorizzazione sismica, sulla vigilanza e sul controllo di opere e costruzioni in zone sismiche di cui alla D.G.R. 11 giugno 2018, n. 628. Aggiornamento a seguito dell'entrata in vigore del D.L. n. 32 del 18 aprile 2019 (cd “Sblocca Cantieri”).*”;

Vista la deliberazione di Giunta regionale n. 707 del 20 giugno 2017, con la quale si attiva la piattaforma telematica regionale delle pratiche sismiche “Umbria-SiS” attraverso cui gli interessati presentano, in conformità alle disposizioni del D.P.R. n. 380/01 sulle zone ad alta e media sismicità (Zone 1, 2 o 3), istanza di autorizzazione sismica o deposito sismico e la relativa documentazione amministrativa (istanza, ricevuta di versamento del rimborso forfettario, dichiarazioni ed asseverazioni, etc...) e tecnica (documentazione progettuale);

Vista la D.G.R. n. 347 del 25 marzo 2019 recante “*Linee guida sulle verifiche di accertamento di conformità delle opere e costruzioni in zona sismica alle norme tecniche sulle costruzioni*”;

Visto il D.L. n. 32 del 18 aprile 2019, che all'art. 3 detta disposizioni in materia di semplificazione della disciplina degli interventi strutturali in zone sismiche, intervenendo significativamente sul D.P.R. n. 380/2001, in particolare per quanto attiene le procedure tecnico amministrative cui sono assoggettate le pratiche sismiche;

Vista la D.G.R. n. 332 del 9 aprile 2018 recante “*Sisma del 24 agosto 2016 e successivi. Potenziamento dell'USR Umbria finalizzato all'istruttoria delle pratiche della ricostruzione 2016 per il rilascio delle autorizzazioni sismiche da parte del Servizio regionale Rischio sismico*”;

Considerata la necessità di definire delle procedure di elaborazione per studi di risposta sismica locale al fine di consentire un'omogenea e coordinata applicazione di tali studi ai fini progettuali;

Fatto presente che:

- in accordo con la Rete delle Professioni Tecniche (RTP) dell'Umbria nella riunione del 10 aprile 2019, promossa dal Servizio Rischio sismico, si è deciso di intraprendere un tavolo tecnico per la predisposizione di una linea guida per la redazione di studi di Risposta Sismica Locale (RSL) e per l'utilizzo dei risultati in ambito progettuale;
- su richiesta della RTP dell'Umbria, gli Ordini professionali hanno fornito i seguenti nominativi di professionisti competenti in tale settore: ing. Giovanni Moscato, ing. Andrea Trabattoni, ing. Luca Grassi, ing. Luca Leonardi, geol. Francesco Stortoni, geol. Michele Arcaleni, geol. Luciano Faralli (in qualità di membro supplente);
- la citata D.G.R. n. 332 del 9 aprile 2018 stabilisce al punto 5 che *“le istruttorie volte al rilascio delle autorizzazioni sismiche, riguardanti sia la ricostruzione privata che quella pubblica, saranno effettuate, sotto l'indirizzo tecnico, operativo e funzionale del dirigente del Servizio Rischio sismico, dal personale dall'USR Umbria”*;
- il dirigente del Servizio Rischio sismico individuava all'interno dello stesso Servizio i seguenti tecnici, per la partecipazione ai lavori del tavolo tecnico: geol. Francesco Savi come coordinatore del tavolo, ing. Marco Barluzzi, ing. Alessandro De Maria, geol. Maria Teresa Barba, geol. Lucia Sepicacchi, geol. Pier Luigi Betori (in servizio presso l'USR Umbria);
- nelle date 6 giugno 2019, 22 luglio 2019, 3 settembre 2019 si sono tenute riunioni tecniche per l'elaborazione dei documenti necessari alla predisposizione delle linee guida *“Indicazioni per studi di Risposta Sismica Locale (RSL) applicati alla valutazione dell'azione sismica di progetto”*;
- l'elaborazione del documento è avvenuta in stretta collaborazione con il Servizio Geologico della Regione Umbria;

Ritenuto che le presenti linee guida agevolino l'utilizzo di studi di RSL per una migliore definizione delle azioni sismiche di progetto calzante con le specifiche caratteristiche del sito di costruzione;

Ritenuto che le presenti linee guida forniscano un percorso tale da consentire un alleggerimento della documentazione progettuale, pur non rappresentando carattere obbligatorio per i progettisti;

Dato atto che:

- per quanto sopra esposto, l'adozione delle indicazioni per studi di risposta sismica locale applicati alla valutazione dell'azione sismica di progetto è da considerarsi urgente e indifferibile in quanto necessaria alla migliore definizione delle azioni sismiche per i progetti ordinari e per quelli inerenti la ricostruzione post sisma del 2016-17, a vantaggio di una maggiore sicurezza delle costruzioni, e nello stesso tempo allo snellimento e alla semplificazione dell'attività istruttoria per le autorizzazioni sismiche;
- il presente atto riveste carattere di ordinaria amministrazione in quanto trattasi di percorso già avviato come atto di indirizzo sulle nuove procedure sul rilascio delle autorizzazioni sismiche;

Visto il regolamento interno di questa Giunta;

A voti unanimi espressi nei modi di legge,

DELIBERA

per le motivazioni contenute nel documento istruttorio che è parte integrante e sostanziale della presente deliberazione

1) di adottare le linee guida denominate *“indicazioni per studi di risposta sismica locale (RSL) applicati alla valutazione dell'azione sismica di progetto”*, allegate al presente atto;

2) di dare atto che il presente provvedimento è soggetto a pubblicazione nel *Bollettino Ufficiale* della Regione Umbria e sul sito istituzionale all'indirizzo <http://www.regione.umbria.it/paesaggio-urbanistica/vigilanza>.

Il Presidente
PAPARELLI

(su proposta dell'assessore Chianella)

DOCUMENTO ISTRUTTORIO

Oggetto: Indicazioni per studi di risposta sismica locale applicati alla valutazione dell'azione sismica di progetto. Adozione.

Le Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC) prevedono che la definizione dell'azione sismica di progetto sia valutata mediante specifiche analisi di Risposta Sismica Locale, ammettendo in via alternativa, per determinate condizioni stratigrafiche *“standard”*, un approccio semplificato basato sulla diretta classificazione in *“categorie di sottosuolo”* in funzione dei valori delle velocità di propagazione delle onde di taglio V_S .

Gli eventi sismici del 2016-17 con la loro severità, estensione temporale ed effetti riscontrati sugli edifici hanno veicolato una maggiore attenzione sui fenomeni connessi alla risposta sismica locale. Gli studi di Microzonazione di Livello 3 estesi a molti centri abitati hanno mostrato, in molti casi, spettri con valori di accelerazione diversificati in base alla successione sismostratigrafica locale e a volte superiori a quelli dell'approccio semplificato.

Questa presa di coscienza ha portato numerosi professionisti ad effettuare ed utilizzare, sempre con maggiore diffusione, studi di RSL nei progetti di ricostruzione e di nuove costruzioni, al fine di avere una definizione dell'azione sismica aderente alle specifiche caratteristiche sismostratigrafiche locali e quindi, un progetto correttamente dimensionato rispetto alle reali azioni sismiche attese.

Premesso che la "pericolosità sismica di base", o semplicemente pericolosità sismica, costituisce l'elemento di conoscenza primario per la determinazione delle azioni sismiche per le opere e sistemi geotecnici sul territorio nazionale. Che le analisi di risposta sismica locale richiedono un'adeguata conoscenza delle proprietà geotecniche dei terreni, da determinare mediante specifiche indagini e prove.

Considerata la necessità di definire delle procedure di elaborazione per studi di risposta sismica locale al fine di consentire un'omogenea e coordinata applicazione di tali studi ai fini progettuali. In accordo con la Rete delle Professioni Tecniche (RTP) dell'Umbria nella riunione del 10 aprile 2019, promossa dal Servizio Rischio sismico, si è deciso di avviare un tavolo tecnico per la predisposizione di una linea guida per la redazione di studi di Risposta Sismica Locale (RSL) e per l'utilizzo dei risultati in ambito progettuale.

Su richiesta della RTP dell'Umbria, gli Ordini professionali hanno fornito i seguenti nominativi di professionisti competenti in tale settore: ing. Giovanni Moscato, ing. Andrea Trabattoni, ing. Luca Grassi, ing. Luca Leonardi, geol. Francesco Stortoni, geol. Michele Arcaleni, geol. Luciano Faralli (in qualità di membro supplente). Il dirigente del Servizio Rischio sismico individuava all'interno dello stesso Servizio i seguenti tecnici, per la partecipazione ai lavori del tavolo tecnico: geol. Francesco Savi come coordinatore del tavolo, ing. Marco Barluzzi, ing. Alessandro De Maria, geol. Maria Teresa Barba, geol. Lucia Sepicacchi, geol. Pier Luigi Betori (in servizio presso l'USR Umbria, nominato in virtù di quanto previsto dal punto 5 della D.G.R. n. 332 del 9 aprile 2018 che attribuisce al dirigente del Servizio Rischio sismico la funzione di svolgere l'indirizzo tecnico, operativo e funzionale del personale USR che svolge le istruttorie volte al rilascio delle autorizzazioni sismiche).

Nelle date 6 giugno 2019, 22 luglio 2019, 3 settembre 2019 si sono tenute riunioni tecniche per l'elaborazione dei documenti necessari alla predisposizione delle linee guida "Indicazioni per studi di Risposta Sismica Locale (RSL) applicati alla valutazione dell'azione sismica di progetto". L'elaborazione del documento è avvenuta in stretta collaborazione con il Servizio Geologico della Regione Umbria.

Le linee guida sullo svolgimento ed utilizzo in ambito progettuale di studi di risposta sismica locale sono state sviluppate alla luce delle esperienze già intraprese dalla Regione Umbria su argomenti affini a quello in oggetto con le D.G.R. n. 377 dell'8 marzo 2010 "Criteri per l'esecuzione degli studi di microzonazione sismica" e D.G.R. n. 1232 dell'8 marzo 2010 "Criteri per l'esecuzione degli studi di microzonazione sismica. Adozione delle linee guida per la gestione del territorio in aree interessate da faglie attive e capaci (FAC), da liquefazione (LQ), da instabilità di versante sismoindotte (FR)". Considerato anche che l'Ordinanza n. 55 del 24 aprile 2018 del Commissario del Governo per la ricostruzione nei territori interessati dal sisma del 24 agosto 2016 sono stati approvati i criteri per l'utilizzo degli studi di microzonazione sismica per la ricostruzione nei territori colpiti dagli eventi sismici a far data dal 24 agosto 2016, prevede per i progetti relativi alla ricostruzione studi di risposta sismica locale. Ricordando inoltre che con D.G.R. n. 593 del 6 maggio 2019 recante "Atto di indirizzo sulle nuove procedure sul rilascio dell'autorizzazione sismica, sulla vigilanza e sul controllo di opere e costruzioni in zone sismiche di cui alla D.G.R. 11 giugno 2018, n. 628. Aggiornamento a seguito dell'entrata in vigore del D.L. n. 32 del 18 aprile 2019 (cd "Sblocca Cantieri")" sono state ridefinite le procedure per i depositi e le richieste di autorizzazione sismica.

Per quanto esposto, il gruppo di lavoro ha considerato la necessità di definire urgentemente, le procedure di elaborazione per studi di risposta sismica locale al fine di consentire un'omogenea e coordinata applicazione di tali studi ai fini progettuali, anche per la prevista mole di progetti riguardanti la ricostruzione post sisma 2016-17. Inoltre, le presenti linee guida forniscano un percorso tale da consentire un alleggerimento della documentazione progettuale, per i progettisti e lo snellimento e la semplificazione dell'attività istruttoria degli Uffici.

Per quanto sopra esposto si ribadisce che, l'adozione delle indicazioni per studi di risposta sismica locale applicati alla valutazione dell'azione sismica di progetto è da considerarsi urgente e indifferibile in quanto necessaria alla migliore definizione delle azioni sismiche per i progetti ordinari e per quelli inerenti la ricostruzione post sisma del 2016-17, a vantaggio di una maggiore sicurezza delle costruzioni, e nello stesso tempo allo snellimento e alla semplificazione dell'attività istruttoria per le autorizzazioni sismiche.

Inoltre, il presente atto riveste carattere di ordinaria amministrazione in quanto trattasi di percorso già avviato come atto di indirizzo sulle nuove procedure sul rilascio delle autorizzazioni sismiche.

Tutto ciò premesso si propone alla Giunta regionale:

Omissis

(Vedasi dispositivo deliberazione)



Regione Umbria

Giunta Regionale

DIREZIONE REGIONALE: GOVERNO DEL TERRITORIO E PAESAGGIO. PROTEZIONE CIVILE. INFRASTRUTTURE E MOBILITÀ



SERVIZIO RISCHIO SISMICO

Indicazioni per studi di Risposta Sismica Locale (RSL) applicati alla valutazione dell'azione sismica di progetto

Ottobre 2019

Indice

1.	CONSIDERAZIONI INTRODUTTIVE	
1.1.	Cosa è la RSL	
1.2.	Ambito e finalità della linea guida per l'analisi di RSL	
2.	LA VALUTAZIONE DELL'AZIONE SISMICA DI PROGETTO	
2.1.	Approccio normativo	
2.2.	Tipologie di modellazione e ambiti di applicabilità	
2.3.	Sceita della schematizzazione geometrica e definizione del modello geotecnico del sottosuolo	
2.4.	Definizione delle caratteristiche sismologiche dell'area e approccio progettuale	
2.5.	Definizione delle azioni sismiche di input	
2.6.	Accelerogrammi disponibili per i 92 comuni umbri	
2.7.	Controllo sulla qualità e attendibilità dell'analisi RSL	
2.8.	Definizione dei parametri di output (risultati)	
2.9.	Regolarizzazione dello spettro	
2.10.	Studi di Microzonazione Sismica di Livello 2 e di Livello 3	
3.	UTILIZZO DELLO SPETTRO DI RISPOSTA	
3.1.	Interpolazione ed estrapolazione spettri di risposta	
3.2.	Condizioni di applicabilità della procedura illustrata e spettri di risposta necessari in funzione della classe d'uso	
4.	RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI	

Allegato 1. PERCORSO PER LA VALUTAZIONE DI UN'ANALISI DI RISPOSTA SISMICA
LOCALE PER VALUTAZIONE AZIONE SISMICA DI PROGETTO

1. CONSIDERAZIONI INTRODUTTIVE

1.1. Cosa è la RSL

Le analisi di Risposta Sismica Locale (RSL) consentono la caratterizzazione rigorosa dell'azione sismica per la progettazione o per la valutazione di sicurezza alla scala del singolo edificio.

La suddetta analisi studia le modifiche in ampiezza, frequenza e durata dello scuotimento sismico dovute alle specifiche condizioni litostratigrafiche e morfologiche di un sito. Si può quantificare mediante il rapporto tra il moto sismico alla superficie del sito e quello che si osserverebbe per lo stesso evento sismico su un ipotetico affioramento di roccia rigida con morfologia orizzontale (DGR n. 377 del 08/03/10 BUR n. 15 del 31/03/10 S.O. n. 1 “*Criteri per l'esecuzione degli studi di microzonazione sismica*”).

1.2. Ambito e finalità della linea guida per l'analisi di RSL

Le Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC) prevedono che la definizione dell'azione sismica di progetto sia valutata mediante specifiche analisi di Risposta Sismica Locale, ammettendo in via alternativa, per determinate condizioni stratigrafiche “standard”, un approccio semplificato basato sulla diretta classificazione in “*categorie di sottosuolo*” in funzione dei valori delle velocità di propagazione delle onde di taglio V_s .

Gli eventi sismici del 2016-17 con la loro severità, estensione temporale ed effetti riscontrati sugli edifici hanno veicolato una maggiore attenzione sui fenomeni connessi alla risposta sismica locale. Gli studi di Microzonazione di Livello 3 estesi a molti centri abitati hanno mostrato, in molti casi, spettri con valori di accelerazione diversificati in base alla successione sismostratigrafica locale e a volte superiori a quelli dell'approccio semplificato.

Questa presa di coscienza ha portato numerosi professionisti ad effettuare ed utilizzare, sempre con maggiore diffusione, studi di RSL nei progetti di ricostruzione e di nuove costruzioni, al fine di avere una definizione dell'azione sismica aderente alle specifiche caratteristiche sismostratigrafiche locali e quindi, un progetto correttamente dimensionato rispetto alle reali azioni sismiche attese.

Considerata la difficoltà delle procedure di elaborazione di tali studi e del loro utilizzo nell'ambito della progettazione, manifestata anche dai Professionisti operanti nel settore, anche attraverso un proficuo confronto con la Rete delle Professioni Tecniche, il Servizio Rischio Sismico in collaborazione con il Servizio Geologico, ha voluto predisporre delle indicazioni per studi di Risposta Sismica Locale (RSL) applicati alla valutazione dell'azione sismica di progetto.

La finalità del presente documento è quella agevolare l'utilizzo di studi di RSL per una migliore definizione delle azioni sismiche per la progettazione e di fornire un percorso che, pur non rappresentando carattere obbligatorio per i Progettisti, permetta un alleggerimento della documentazione di progetto e nello stesso tempo, comporti lo snellimento e la semplificazione dell'attività istruttoria.

2. LA VALUTAZIONE DELL'AZIONE SISMICA DI PROGETTO

2.1. Approccio normativo

La “pericolosità sismica di base”, o semplicemente pericolosità sismica, costituisce l'elemento di conoscenza primario per la determinazione delle azioni sismiche per le opere e sistemi geotecnici sul territorio nazionale.

La valutazione dell'azione sismica di progetto, ai sensi di quanto riportato nelle NTC 2018, deve essere svolta in maniera rigorosa. La norma, infatti, lo prescrive al § 3.2.2 *“l'effetto della risposta sismica locale si valuta mediante specifiche analisi, da eseguire con le modalità indicate nel § 7.11.3”*. Tale paragrafo 7.11.3 della Norma chiarisce lo scopo della analisi di RSL: *“il moto generato da un terremoto in un sito dipende dalle particolari condizioni locali, cioè dalle caratteristiche topografiche e stratigrafiche del sottosuolo e dalle proprietà fisiche e meccaniche dei terreni e degli ammassi rocciosi di cui è costituito. Alla scala della singola opera o del singolo sistema geotecnico, l'analisi della risposta sismica locale consente quindi di definire le modifiche che il segnale sismico di ingresso subisce, a causa dei suddetti fattori locali”*.

Le analisi di risposta sismica locale richiedono un'adeguata conoscenza delle proprietà geotecniche dei terreni, da determinare mediante specifiche indagini e prove.

Lo studio va condotto all'interno del volume di terreno significativo dal punto di vista sismostratigrafico, cioè la parte di sottosuolo che per le sue condizioni sismostratigrafiche può influenzare le caratteristiche del moto sismico, che si estende comunque fino al raggiungimento del substrato sismico con $V_s \geq 800$ m/s.

2.2. Tipologie di modellazione e ambiti di applicabilità

Le condizioni locali assumono un'importanza determinante nei confronti delle amplificazioni sismiche. L'assetto geologico-tecnico e sismostratigrafico, le geometrie sepolte, gli effetti di bordo, le condizioni topografiche, sono solo alcune delle variabili di maggior rilievo, oltre a una serie di condizioni al contorno da valutare caso per caso.

Tali situazioni possono essere studiate con modellazioni specifiche mediante software di calcolo monodimensionali 1D o bidimensionali 2D. I codici di calcolo di uso commerciale si limitano a fornire uno spettro elastico in accelerazione riferito alla sola componente orizzontale del moto del terreno.

Nelle analisi monodimensionali è possibile tenere conto soltanto degli effetti derivanti dall'amplificazione stratigrafica ipotizzando la presenza di un assetto sismostratigrafico piano-

parallelo. Nelle analisi bidimensionali è possibile implementare, congiuntamente, sia l'amplificazione dovuta a contrasti di impedenza sismica sismostratigrafica, sia quella dovuta a geometrie topografiche superficiali o sepolte così come indicato al §C7.11.3.1 delle NTC2018.

Le analisi di RSL sia in ambito progettuale che di pianificazione territoriale (con studi di Microzonazione sismica) sono circoscritte alle “*zone stabili suscettibili di amplificazione sismica*”. Non si applicano alle “*zone suscettibili di instabilità*” soggette a fenomeni di elevate deformazioni permanenti del terreno indotti o innescati dal sisma (instabilità di versante, fagliazione superficiale, collassi di cavità, liquefazioni, ecc...). Quest'ultime dovranno essere oggetto di ulteriori studi specialistici per la completa valutazione dell'instabilità.

Di seguito si riporta un elenco a titolo esemplificativo e non esaustivo, dei fenomeni fisici responsabili delle modificazioni del moto sismico in condizioni mono e bidimensionali:

- effetti topografici - si manifestano in prossimità di strutture morfologiche superficiali (rilievi collinari e montuosi, creste, cucuzzoli, ecc...);
- effetti stratigrafici – in corrispondenza di coltri detritico/alluvionali soffici poggianti su un basamento rigido, oppure di strutture sepolte a differenti caratteristiche;
- effetti di valle o di bordo - ove la morfologia del contatto tra substrato e terreni di copertura soffici, assume andamenti articolati caratterizzati da geometrie complesse (terminazione stratigrafica a *pinch out*), oppure nel caso di valli strette o di valli larghe con superficie sepolta piatta.

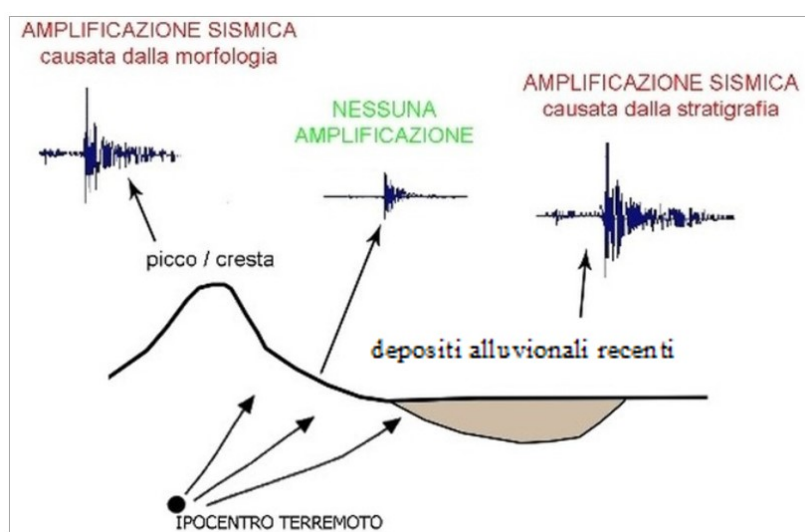


Figura 1. Esempio di effetti di sito che comportano un'amplificazione dell'azione sismica imputabili a fattori morfologici e stratigrafici.

In linea di principio i metodi di calcolo monodimensionali 1D si basano su una serie di ipotesi e di semplificazioni introdotte nella caratterizzazione geometrica e meccanica del deposito e nelle leggi di propagazione delle onde sismiche nei terreni che dovranno essere giustificate nell'ambito della relazione di modellazione; in particolare si assume che:

- il bedrock sia orizzontale e indefinitamente esteso;
- il deposito sia omogeneo o al più stratificato orizzontalmente;
- la sollecitazione sismica sia costituita da sole onde di taglio polarizzate sul piano orizzontale (SH) incidenti il bedrock con direzione di propagazione verticale.

Gli Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica (ICMS 2008), adottati con DGR n. 377/10 “*Criteri per l'esecuzione degli studi di microzonazione sismica*”, riportano alcune valutazioni qualitative utili ad orientare il metodo di analisi che tengono conto delle reali condizioni di sito, secondo cui in base al rapporto profondità (h) / semi-larghezza (L) del bacino, si prevede una distinzione in:

- valli superficiali in cui $h/L < 0.25$: la risposta in frequenza al centro della valle non è influenzata dal rapporto di forma ($f_{1D}=f_{2D}$) come nel caso di aree centrali di estese valli alluvionali simmetriche.

- valli profonde in cui $h/L > 0.25$: le frequenze che caratterizzano la risposta bidimensionale sono maggiori di quelle valutate su profili 1D ($f_{1D}<f_{2D}$) – valli strette e profonde, effetti di bordo, ecc..

Un altro criterio, non solo geometrico, proposto dalla relazione di *Bard e Bouchon (1985)* prevede che i modelli 1D possono essere utilizzati se è verificata la condizione nella quale:

$$\frac{h}{l} \leq \frac{0.65}{\sqrt{C_V-1}}$$

dove “h” è la profondità della valle (massimo spessore del deposito), “l” è la sua semi-ampiezza e “C_v” è il rapporto fra la velocità V_s nel substrato sismico e quella media dei terreni di riempimento della valle: se tale relazione è verificata è ipotizzabile l'assenza di condizioni bidimensionali.

In linea di principio i metodi di calcolo 1D possono essere utilizzati per la zona centrale della valle e solo nel caso in cui sia soddisfatto il più restrittivo dei due criteri precedenti.

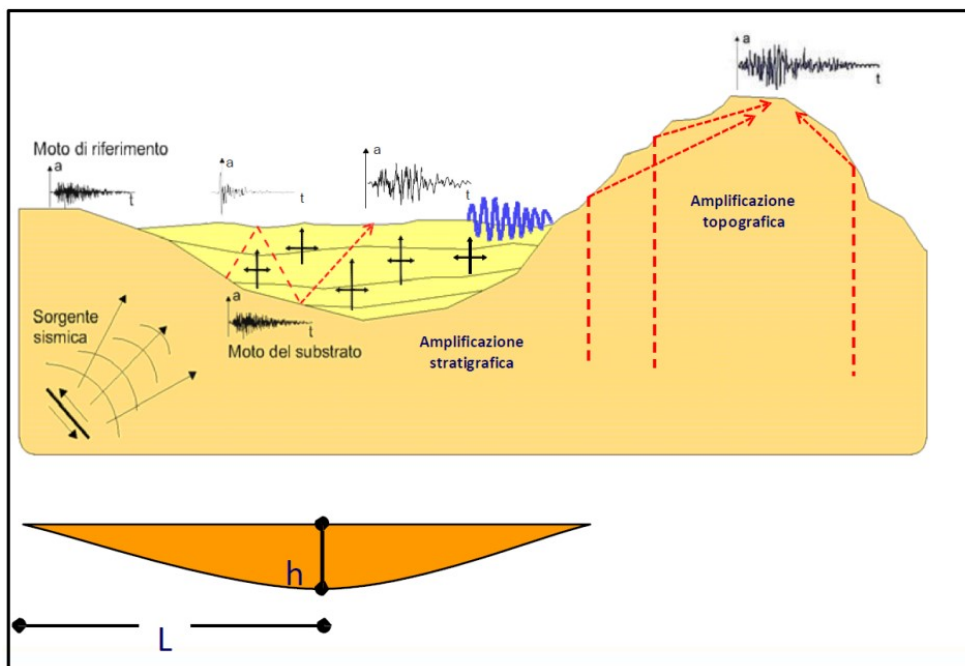


Figura 2. Variazione del valore di amplificazione del moto sismico di input dovuto ad effetti locali di sito (valli strette, effetti di bordo, creste).

2.3. Scelta della schematizzazione geometrica e definizione del modello geotecnico del sottosuolo

La determinazione del modello geologico e sismostratigrafico del sottosuolo è elemento indispensabile e propedeutico nelle analisi numeriche di RSL. Utili schematizzazioni sono rappresentate da sezioni geologiche a scala adeguata, tali da chiarire la relazione fra substrato sismico e coperture, i rapporti nelle zone di raccordo di bordo valle o la topografia superficiale.

Tali definizioni si effettuano tramite una campagna di indagini di esplorazione del sottosuolo (sia superficiale che profonda) che prevede, per ogni litotipo individuato, la determinazione:

- della natura e degli spessori dei vari strati e dei relativi parametri geotecnici fra cui in peso di volume γ , i valori delle curve di decadimento del modulo di taglio $G(\gamma)$ e di incremento del rapporto di smorzamento $D(\gamma)$ all'aumentare della deformazione, necessarie per simulare la non linearità dei terreni in condizioni sismiche. La conoscenza della natura dei terreni riveste una fondamentale importanza qualora non siano disponibili le curve $G(\gamma)$ e $D(\gamma)$ appositamente definite per il sito in esame, per la scelta da letteratura delle curve più appropriate alle litologie presenti;
- dei valori di velocità di propagazione delle onde sismiche V_S e del relativo modulo di taglio G , nel caso si tratti un'analisi monodimensionale; delle V_P e del relativo coefficiente di Poisson dinamico, nel caso di un'analisi bidimensionale.

A tale proposito si suggerisce di seguito uno standard di indagine, non limitativo delle norme, commisurato all'importanza dell'opera in progetto e al livello di rischio sismico dell'area su cui l'opera stessa è posta, fatto salvo quanto altro necessario per lo studio geotecnico generale dell'opera (fondazioni, opere di contenimento, stabilità del versante, ecc...).

Tabella 1. Schema sintetico delle indagini.

Zona sismica 3		
<p>Classe d'Uso I e Classe d'Uso II</p>	<p>Modello stratigrafico: Definito fino al bedrock sismico tramite esecuzione di <u>indagini dirette</u> fino al volume di terreno significativo per Cu II; per Cu I, può essere dedotto <u>anche da indagini pregresse (documentate)</u> o provenienti da siti limitrofi con comprovata omogeneità geologica</p>	<p>Modello geofisico: almeno un'indagine sismica superficiale di tipo attivo (tipo: MASW, Rifrazione SH, Riflessione) più un'indagine di tipo passivo (tipo HVSR)</p>
<p>Classe d'Uso III e Classe d'Uso IV</p>	<p>Modello stratigrafico: Definito con indagini dirette comprendenti almeno: - un sondaggio fino a 30 m (o fino a bedrock sismico) per area di sedime fino a 100 mq - due sondaggi di cui almeno uno fino a 30 m (o fino a bedrock sismico) per area di sedime maggiori di 100 mq, fatto salvo casi particolari opportunamente giustificati e documentati</p>	<p>Modello geofisico: almeno un'indagine sismica superficiale di tipo attivo (tipo: MASW, Rifrazione SH, Riflessione) più un'indagine di tipo passivo (tipo HVSR), più una Down Hole</p>
Zona sismica 2		
<p>Classe d'Uso I e Classe d'Uso II</p>	<p>Modello stratigrafico: Definito fino al bed rock sismico tramite esecuzione di indagini dirette fino al volume di terreno significativo</p>	<p>Modello geofisico: almeno un'indagine sismica superficiale di tipo attivo (tipo: MASW, Rifrazione SH, Riflessione) più un'indagine di tipo passivo (tipo HVSR)</p>
<p>Classe d'Uso III e Classe d'Uso IV</p>	<p>Modello stratigrafico: Definito con indagini dirette comprendenti almeno - un sondaggio fino a 30 m (o fino a bedrock sismico) per area di sedime fino a 100 mq - almeno due sondaggi di cui almeno uno fino a 30 m (o fino a bedrock sismico) per area di sedime maggiori di 100 mq, fatto salvo casi particolari opportunamente giustificati e documentati</p>	<p>Modello geofisico: almeno un'indagine sismica superficiale di tipo attivo (tipo: MASW, Rifrazione SH, Riflessione) più un'indagine di tipo passivo (tipo HVSR), più una Down Hole</p>
Zona sismica 1		
<p>Classe d'Uso I e Classe d'Uso II</p>	<p>Modello stratigrafico: Definito fino al bed rock sismico tramite esecuzione di indagini dirette fino al volume di terreno significativo; comprendente almeno un sondaggio per Cu II</p>	<p>Modello geofisico: almeno un'indagine sismica superficiale di tipo attivo (tipo: MASW, Rifrazione SH, Riflessione) più un'indagine di tipo passivo (tipo HVSR)</p>
<p>Classe d'Uso III e Classe d'Uso IV</p>	<p>Modello stratigrafico: Definito con indagini dirette comprendenti almeno - un sondaggio fino a 30 m (o fino a bedrock sismico) per area di sedime fino a 100 mq - due sondaggi di cui almeno uno fino a 30 m (o fino a bedrock sismico) per area di sedime fino a 500 mq, fatto salvo casi particolari opportunamente giustificati e documentati - per aree di sedime > 500 mq un sondaggio ogni maglia di 20 x 20 m (comunque, almeno due sondaggi sull'intera area spinti almeno fino a 30 m (o fino a bedrock sismico), fatto salvo casi particolari opportunamente giustificati e documentati</p>	<p>Modello geofisico: almeno un'indagine sismica superficiale di tipo attivo (tipo: MASW, Rifrazione SH, Riflessione) più un'indagine di tipo passivo (tipo HVSR), più una Down Hole</p>

Per le indagini sismiche relative alle classi d'uso I e II, laddove venga eseguita una indagine Down Hole o Cross Hole essa sostituisce l'indagine sismica di superficie.

Nei casi in cui siano già presenti indagini e prove opportunamente documentate inerenti lo stesso sito, con idoneo livello di approfondimento, il Professionista incaricato potrà avvalersi di tale documentazione ferma restando la propria piena responsabilità professionale sulla validità dei dati utilizzati.

Per casi specifici (forte pendenza o instabilità di versante, terreni soggetti a liquefazione, vicinanza di faglie) la campagna di indagini deve essere più approfondita rispetto a quanto indicato nella precedente tabella. Il piano delle indagini dovrà essere definito, secondo il giudizio esperto del geologo incaricato, nel rispetto delle DGR n. 377/10 e n. 1232/17.

2.4. Definizione delle caratteristiche sismologiche dell'area e approccio progettuale

Tale aspetto, ricompreso in genere all'interno della relazione sulla modellazione sismica ai sensi delle NTC, prevede un inquadramento sismo-tettonico generale dell'area, con la definizione del campo di stress attivo, un'analisi della sismicità storica e recente, la determinazione di una serie di parametri sito-dipendenti relativi alla localizzazione geografica e alle scelte progettuali, quali:

- a) parametri indipendenti che definiscono l'azione sismica [a_g , F_0 , T_C^*] (dati riportati nelle tabelle di cui all'Allegato B delle NTC 2008 ad oggi vigente);
- b) Vita nominale (V_N), Classe d'uso, Coefficiente d'uso (C_U), Vita di riferimento (V_R), Stati limite considerati (o richiesti dallo strutturista e dal committente), Periodo di ritorno;
- c) Dati di disaggregazione (Magnitudo-Distanza), ricavabili on-line, a partire dai risultati della pericolosità sismica, disponibili ad esempio sul sito web dell'INGV (<http://esse1-gis.mi.ingv.it>).

In relazione al punto b) è necessario distinguere due situazioni:

caso A: verifiche di **nuove costruzioni o adeguamento** di costruzioni esistenti con $\zeta_E = 1$;

caso B: verifiche e valutazione di sicurezza di **costruzioni esistenti** ante e post operam con $\zeta_E < 1$;

Nel caso A, poiché è richiesto il soddisfacimento di una verifica di sicurezza in corrispondenza di una azione sismica definita, è sufficiente disporre degli spettri di risposta normalizzati relativi agli stati limite ed ai tempi di ritorno del sisma corrispondenti alle verifiche richieste dalle NTC.

Nella tabella seguente sono riportati i tempi di ritorno degli spettri di risposta richiesti per le verifiche previste dalle NTC. In corrispondenza di tali tempi di ritorno dovrebbero essere elaborati e resi disponibili gli spettri di risposta per analisi di RSL.

Tabella 2. Tempi di ritorno del sisma di progetto per nuove costruzioni o adeguamento di costruzioni esistenti con $\zeta_E=1$ per $V_N=50$ anni.

	Classe I	Classe II	Classe III	Classe IV
SLO	<30	30	45	60
SLD	35	50	75	101
SLV	332	475	712	949
SLC	682	975	1462	1950

Nel caso B (tipico di verifica di interventi di miglioramento o valutazione di sicurezza di costruzione esistente) non è noto a priori il valore del tempo di ritorno T_R o della PGA del massimo sisma sostenibile dalla costruzione allo stato limite richiesto. Pertanto tale tempo di ritorno T_R solitamente deve essere determinato mediante un processo iterativo consistente in varie ripetizioni dell'analisi sul modello messo a punto per la struttura variando l'input sismico.

È necessario, pertanto, conoscere lo spettro di risposta per un generico valore del tempo di ritorno T_R . Nel seguito saranno illustrate procedure approssimate per dedurre (tramite interpolazione o estrapolazione) gli spettri di risposta eventualmente non disponibili a partire dagli spettri disponibili dall'analisi di RSL.

È opportuno sottolineare che si tratta di procedure approssimate che conducono a risultati tanto più attendibili quante più analisi di RSL siano state condotte.

2.5. Definizione delle azioni sismiche di input

L'input sismologico per le analisi RSL è composto da una settupla di storie temporali del moto del terreno (accelerogrammi), scelte con i criteri definiti dalle NTC, in base alla pericolosità sismica del sito.

Come specificato dalle NTC 2018 (paragrafo 3.2.3.6), non è consentito l'uso di accelerogrammi artificiali nelle analisi dinamiche di opere e sistemi geotecnici.

Lo stesso paragrafo della norma indica l'uso di accelerogrammi “*naturali o registrati a condizione che la loro scelta sia rappresentativa della sismicità del sito e sia adeguatamente giustificata in base alle caratteristiche sismogenetiche della sorgente, alle condizioni del sito di*

registrazione, alla magnitudo, alla distanza dalla sorgente e alla massima accelerazione orizzontale attesa al sito” fornendo inoltre indicazione per la scalatura e la compatibilità.

In particolare: “l’ordinata spettrale media non deve presentare uno scarto in difetto superiore al 10% ed uno scarto in eccesso superiore al 30%, rispetto alla corrispondente componente dello spettro elastico in alcun punto dell’intervallo dei periodi propri di vibrazione di interesse per l’opera in esame per i diversi stati limite” (paragrafo 3.2.3.6).

L’estrazione degli accelerogrammi può essere eseguita mediante l’ausilio di software che, in maniera più o meno semplificata, consentono di operare importanti scelte (Iervolino et al., 2010, Zuccolo et al., 2014, Acunzo et al., 2014), nel rispetto delle condizioni di:

- *sismo-compatibilità*, tale per cui la scelta sia rappresentativa della sismicità del sito in relazione alle caratteristiche sismogenetiche della sorgente (campo di stress attivo) e in funzione delle le coppie magnitudo-distanza (paragrafo 3.2).
- *spettro-compatibilità* media con lo spettro target (cat. A-T1) dell’area in esame, ipotizzando che il sito di interesse sia posto su roccia e in condizioni topografiche pianeggianti, in modo tale che lo spettro medio sia sostanzialmente in linea con lo spettro di normativa. Al fine di soddisfare questo requisito i segnali registrati possono essere scalati linearmente in ampiezza; tuttavia le NTC al §3.2.3.6 specificano che “è opportuno contenere il fattore di scala in un intervallo limitato in modo da non alterare eccessivamente i segnali e renderli incompatibili alla magnitudo e alla distanza dalla sorgente degli eventi sismici a cui sono riferiti”.

Per migliorare le caratteristiche di idoneità in termini di spettro-compatibilità, sismo-compatibilità e fattore di scala si consiglia di fare ricorso a differenti tipologie di definizione dell’input sismologico (banca dati o differenti modalità di estrazione).

Un esempio di archivio nazionale, utile ad estrarre le storie temporali del moto registrate, è rappresentato da ITACA¹ (*Rexelite*) curato dall’INGV.

Nella relazione che accompagna lo studio di RSL è utile, ai fini della corretta comprensione dei passaggi eseguiti, fornire almeno in formato grafico, la settupla di accelerogrammi estratti, nonché lo spettro di risposta elastico medio derivante, per ogni Stato Limite considerato.

1

http://itaca20.mi.ingv.it/ItacaNet_23/CadmoDriver?_action_do_menu=1&_page=REX_rexel_homepage&_rock=INVALID&_state=find&_tabber=4&_token=NULLNULLNULLNULL

2.6. Accelerogrammi disponibili per i 92 comuni umbri

La Regione Umbria ha messo a disposizione gli accelerogrammi per ogni comune umbro con le specifiche e le limitazioni d'uso per il corretto utilizzo pubblicati all'indirizzo <http://www.regione.umbria.it/accelerogrammi-dei-comuni-umbri>.

Il Servizio Geologico della Regione Umbria e l'INGV sezione di Milano hanno selezionato gli accelerogrammi da utilizzare per le attività di microzonazione sismica di livello 3 per ognuno dei 92 comuni umbri. Tali accelerogrammi possono essere usati, secondo quanto previsto dalle NTC18, con le indicazioni riportate nel rapporto tecnico "*Rapporto selezione Umbria*" nella sezione Documenti.

Per ogni comune vengono forniti:

- 1) 7 accelerogrammi in formato ASCII (64 righe di intestazione e valori di accelerazione, in cm/s^2 e passo di campionamento 0.005s).
- 2) 7 spettri di risposta in accelerazione corrispondenti ai 7 accelerogrammi del punto 1) in formato ASCII (64 righe di intestazione; periodo, accelerazione spettrale, in cm/s^2).
- 3) File readme.txt, in formato ASCII, in cui è sintetizzata la procedura di selezione.
- 4) Spettro input.txt, in formato ASCII (periodo, accelerazione spettrale in cm/s^2), che rappresenta lo spettro di riferimento NTC18 per il sito in esame.
- 5) Summary.png che rappresenta il risultato della selezione in formato grafico.
- 6) Report.pdf che sintetizza i risultati dell'analisi, in cui vengono riportati gli spettri di risposta in accelerazione e le forme d'onda selezionate.

Il loro utilizzo, effettuato secondo le indicazioni riportate dallo stesso Servizio Geologico, semplifica notevolmente la procedura descritta nel capitolo precedente, sia per quanto riguarda la redazione del documento di RSL, sia per quanto riguarda i controlli, in quanto gli accelerogrammi forniti, oltre a rispettare tutti i criteri di compatibilità previsti dalla norma, risultano già validati per le situazioni locali.

2.7. Controllo sulla qualità e attendibilità dell'analisi RSL

Nella elaborazione dei dati di input risulta importante che il professionista definisca la convergenza delle analisi effettuate e quindi il grado di qualità dei risultati ottenuti dalle modellazioni a garanzia dell'affidabilità del dato prodotto.

Sia con i codici di analisi mono che bidimensionali non è previsto il superamento della soglia di deformazione volumetrica, legata a grandi deformazioni in campo plastico e comportamento non lineare instabile.

Riveste una certa importanza, per la valutazione della bontà delle analisi, fornire la funzione di amplificazione spettrale FAS (o funzione di trasferimento), data dal rapporto fra l'ampiezza degli spettri di output in superficie e input alla base del deposito. La FAS è indice di come le puntuali condizioni sismostratigrafiche del sito hanno agito sulla modifica dell'input sismologico. Tale funzione fornisce quindi non solo informazioni sulla massima amplificazione attendibile e sulla frequenza corrispondente, ma anche sui valori di amplificazione o di attenuazione relativi ai campi di frequenza di interesse. Per un approfondimento dell'argomento si rimanda a numerosi articoli disponibili in letteratura, fra i quali si segnalano: T. Crespellani e altri (disponibili al seguente indirizzo internet, sezione Publications: <http://geotecnica.dicea.unifi.it/index.php?page=staff>) e A. Ferraro (2010).

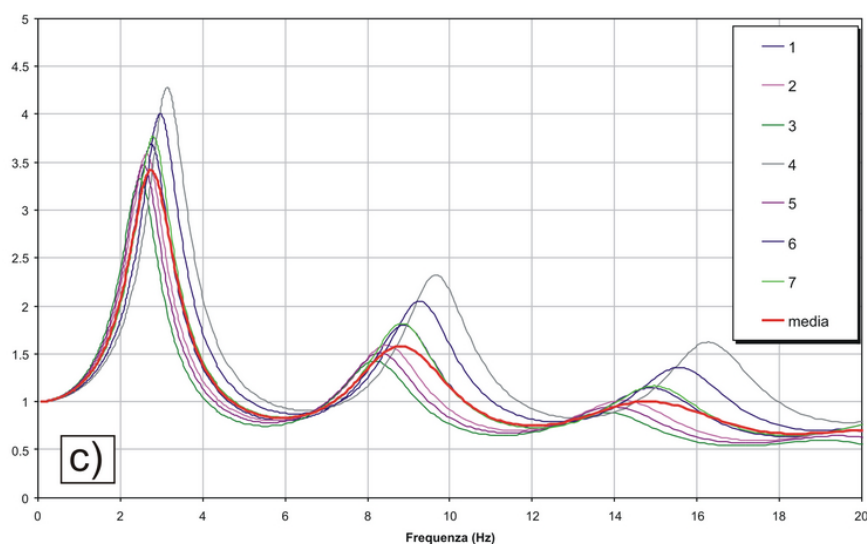


Figura 3. Esempio di funzione di trasferimento (FAS).

2.8. Definizione dei parametri di output (risultati)

Eseguite le analisi RSL con i codici di calcolo, è necessario estrapolare i risultati per renderli fruibili in ambito progettuale agevolandone un corretto e più efficace utilizzo nei vari programmi di calcolo strutturale.

Questa operazione passa attraverso la rappresentazione grafica e tabellare della risposta sismica di output in termini di accelerogrammi e spettri di risposta in pseudo-accelerazione per i diversi Stati Limite considerati. Essi devono essere riportati in formato grafico sovrapposti allo spettro medio della settopla di input, in modo tale da mostrare rapidamente le condizioni amplificative del sito studiato, in funzione del periodo proprio della costruzione.

Utile indicazione da riportare in output è il “profilo di variazione della massima deformazione di taglio”; tale elaborato rende evidente il non superamento della soglia volumetrica (γ_P), che in assenza di valutazioni più accurate, può essere posta pari a 0,1%.

2.9. Regolarizzazione dello spettro

Le NTC non prescrivono la modalità di regolarizzazione degli spettri elastici. Tale aspetto è demandato alle scelte progettuali.

Ad oggi le metodologie di regolarizzazione degli spettri più diffuse sono di due tipi:

- *regolarizzazione ICMS 2008 (DGR n. 377/10)*, in cui sono applicate le relazioni per il calcolo degli FA e FV sviluppate da Pergalani e Compagnoni (2013). Analoga procedura è indicata anche nell’Ordinanza Commissariale n.55/2018 per regolarizzare gli spettri ottenuti dalle simulazioni numeriche degli studi di MS_3 per i comuni colpiti dagli eventi sismici del 2016. La stessa O.C. n. 55/2018, adottata dalla Regione Umbria con la DGR n. 298 del 04/04/18, impone anche l’utilizzo e la valutazione dei risultati derivanti dagli studi di MS_3 per la ricostruzione.

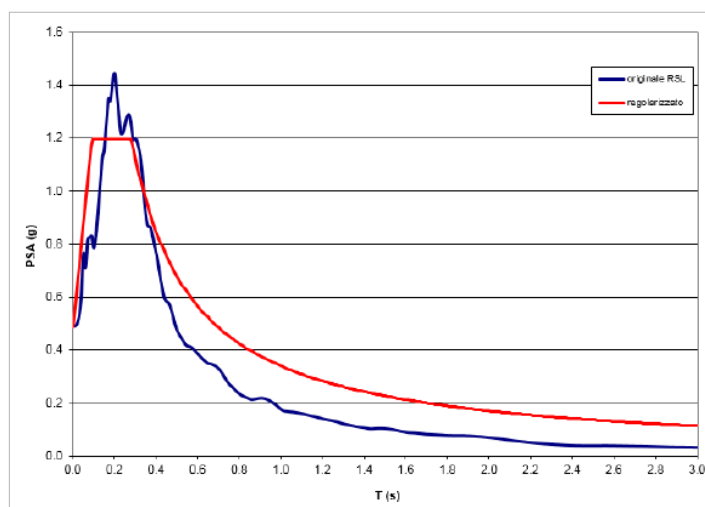


Figura 4. Esempio di regolarizzazione di uno spettro di risposta derivante da analisi RSL mediante metodologia ICMS 2008.

Nella procedura *ICMS 2008* l’altezza e l’estensione del plateau, sono determinati sulla base di valori medi in pseudo-accelerazione (ed in pseudo-velocità), nell’intorno significativo del valore di picco e può essere definita una regolarizzazione “media”.

- *regolarizzazione totale*, in cui lo spettro è totalmente sotteso dalla forma regolarizzata per ogni valore di periodo ma soprattutto in corrispondenza del picco nel tratto a velocità costante (plateau). Si tratta di una metodologia altamente cautelativa e poco rappresentativa soprattutto se lo spettro da RSL è caratterizzato da picchi stretti (spike);

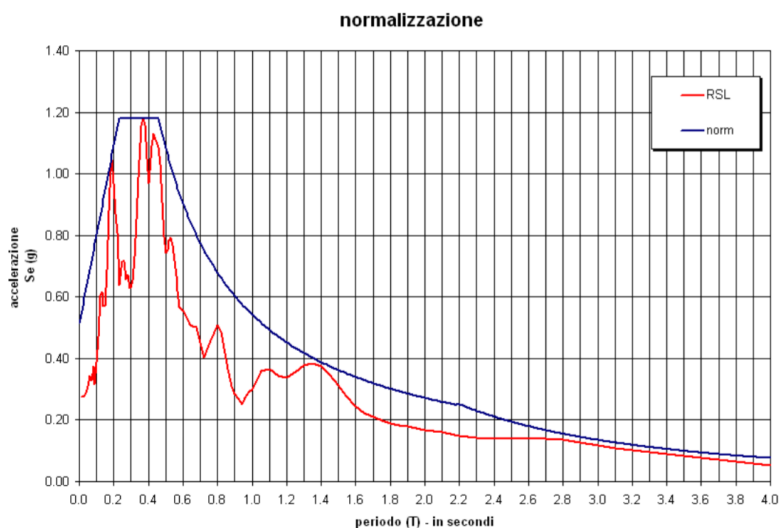


Figura 5. Esempio di regolarizzazione di uno spettro di risposta derivante da analisi RSL mediante metodologia di regolarizzazione totale.

La regolarizzazione degli spettri rende possibile un ulteriore confronto fra spettri di output derivanti da analisi di RSL con gli spettri semplificati di norma associati alle categorie di suolo (A, B, C, ...) di cui al §3.2.2 delle NTC.

Anche in questo caso è utile riferimento avere i dati, oltre che in formato grafico, anche in formato tabellare.

Per facilità di lettura, si illustra di seguito il metodo di regolarizzazione dello spettro da RSL previsto nella procedura ICMS 2008, riportando integralmente uno stralcio di tali ICMS 2008, ripreso anche nell'allegato 1 della O.C. n. 55/2018.

Si specifica che resta comunque possibile normalizzare lo spettro di risposta medio ottenuto dalle analisi RSL anche tramite metodi alternativi purché ciò sia opportunamente motivato e giustificato e nel rispetto delle previsioni delle NTC. Ciò può risultare opportuno, ad esempio, per spettri di risposta medi per i quali il rapporto fra T_c e T_b sia diverso da quanto considerato nel metodo ICMS 2008.

ICMS 2008 - O.C. n. 55/2018 -DGR n. 377/10

Regolarizzazione di uno spettro ottenuto con gli studi di MS3

La procedura di regolarizzazione (Newmark e Hall, 1982², Romeo, 2007³, Liberatore e Pagliaroli, 2014⁴), permette di trasformare lo spettro di risposta, risultato delle simulazioni numeriche nell'ambito degli studi di MS3, in uno spettro con forma standard (secondo le vigenti norme tecniche per le costruzioni), costituita da un ramo con accelerazione crescente lineare, un ramo ad accelerazione costante, un ramo in cui l'accelerazione decresce con 1/T e, quindi, a velocità costante. Alla fine della procedura saranno disponibili anche tutti i parametri per l'inserimento dello spettro elastico in codici di calcolo per la progettazione e la verifica delle costruzioni (a_g , a_{max} , T_B , T_C , T_D , T_C^* , F_0 , ξ , η , S_S , S_T).

Indicando con SA lo spettro di risposta elastico in pseudoaccelerazione e SV lo spettro di risposta elastico in pseudovelocità, ottenuti dalle simulazioni numeriche, i passi della procedura di regolarizzazione sono i seguenti:

- a) Si calcola lo spettro di pseudoaccelerazione (SA) e si determina il periodo proprio (TA) per il quale è massimo il valore dello spettro di pseudoaccelerazione
 b) Si calcola il valore medio dello spettro (SA_m) nell'intorno di TA tra 0.5TA e 1.5TA, questo valore sarà assunto come valore costante del tratto ad accelerazione costante dello spettro standard:

$$SA_m = \frac{1}{TA} \int_{0.5*TA}^{1.5*TA} SA(T) dT$$

- c) Si determina lo spettro di pseudovelocità (SV) a partire da quello di accelerazione, moltiplicando le ordinate spettrali di quest'ultimo per l'inverso della corrispondente frequenza circolare $w = 2\pi/T$:

$$SV(T) = SA(T) * \frac{T}{2\pi}$$

e quindi si individua il periodo (TV) per il quale è massimo il valore dello spettro di pseudovelocità;

- d) Si calcola il valore medio dello spettro (SV_m) nell'intorno di TV nell'intorno tra 0.8TV e 1.2TV:

$$SV_m = \frac{1}{0.4*TV} \int_{0.8*TV}^{1.2*TV} SV(T) dT$$

- e) Si determina il periodo in corrispondenza del quale si incontrano i due rami dello spettro ad accelerazione costante e velocità costante:

$$T_c = 2\pi \frac{SV_m}{SA_m};$$

- f) Si determina $T_B=1/3*T_C$ e $T_D=4.0*a_{max}/g + 1.6$ (secondo quanto indicato dalla normativa), con a_{max} punto di ancoraggio a $T=0$ dello spettro di output. Poiché il valore di a_{max} non è generalmente fornito nello spettro delle simulazioni numeriche si procede per estrapolazione lineare, secondo la seguente equazione:

$$a_{max} = \left(\frac{S_e(T=0.01s)}{SA_m} - \frac{0.01}{T_B} \right) \left(\frac{SA_m}{1 - \frac{0.01}{T_B}} \right)$$

con $S_e(T=0.01s)$ ordinata dello spettro di accelerazione per $T=0.01s$, primo valore del periodo nello spettro elastico delle simulazioni numeriche.

- g) Si applicano le equazioni riportate in NTC (2018) per la determinazione dei tratti dello spettro tra $T_A=0$, T_B , T_C , T_D , fino a un T di interesse.

- h) Si termina il parametro F_0 come rapporto SA_m/a_{max}

² Newmark N.M. e Hall W.J., 1982. Earthquake spectra and design. EERI Research Report, 82- 71183, 103 pp.

³ Romeo Roberto W., 2007. Le azioni sismiche e le categorie di sottosuolo. Giornale di Geologia Applicata 6, 65-80. doi: 10.1474/GGA.2007-06.0-07.0188

⁴ Liberatore D. e Pagliaroli A., 2014. Verifica della sicurezza sismica dei Musei Statali. Applicazione O.P.C.M. 3274/2003 s.m.i. e della Direttiva P.C.M. 12.10.2007. Convenzione Arcus – DG PaBAAC Rep. n. 113/2011 del 30/09/2011. Convenzione DG PaBAAC – Consorzio ReLUIS Rep. n. 21/2011 del 26/10/2011. Responsabile scientifico: Domenico Liberatore. Referente tecnico: Luigi Sorrentino Liberatore. Referente tecnico: Luigi Sorrentino

Al solo fine di fornire dati congruenti, per l'analisi e la verifica delle costruzioni si potranno utilizzare i seguenti valori dei parametri richiesti: $a_g = a_{max}$; $\xi = 5\%$; $\eta = 1$; $S_S = 1$; $S_T = 1$. Va sottolineato che i valori di a_g , S_S e S_T sono evidentemente fittizi, in quanto non riferiti alla condizione ideale di suolo rigido e pianeggiante, come è per definizione nelle norme tecniche per le costruzioni, essendo gli effetti di amplificazione stratigrafica e morfologica già messi in conto nei risultati delle analisi della RSL.

Questa procedura di regolarizzazione può essere utilizzata anche per lo spettro di input, utilizzando a_g invece che a_{max} .

2.10. Studi di Microzonazione Sismica di Livello 2 e di Livello 3

La Regione Umbria ha adottato gli studi e criteri di utilizzo di microzonazione sismica di Livello 3 per numerosi centri abitati del territorio regionale colpiti dagli eventi sismici del 2016 con le recenti D.G.R. 4 aprile 2018, n. 298 e D.G.R. 9 luglio 2018, n. 764. Sono state inoltre realizzate numerose altre indagini di microzonazione sismica di livello 2 e di livello 3, tutte adottate dai comuni, che sono presenti nell'apposito spazio del portale regionale <http://www.regione.umbria.it/paesaggio-urbanistica/microzonazione-sismica> gestito dal Servizio Geologico regionale, a cui si può fare utile riferimento.

In caso di presenza di studi di MS3 nell'area oggetto di studi di RSL, è sempre utile ed opportuno prendere visione di tali studi che possono fornire indicazioni su particolari condizioni sismo-stratigrafiche a scala areale che potrebbero sfuggire ad una analisi puntuale seppure approfondita. Si rammenta inoltre che, per la Classe d'Uso II e tempo di ritorno 475 anni, la stessa D.G.R. 298/18 ammette: “... *ferme restando le prerogative del progettista in merito alle scelte effettuate per la caratterizzazione delle azioni sismiche e sotto la sua completa responsabilità, gli spettri di risposta elastici prodotti dallo studio di MS3 (regolarizzati secondo il metodo riportato in Appendice 1), possono essere usati nella progettazione qualora vengano ritenuti più affidabili di quelli risultanti dall'analisi di risposta sismica locale (RSL) condotti con metodi standard (1D lineare equivalente) e in ogni caso più conservativi di quelli dell'approccio semplificato.*”

3. UTILIZZO DELLO SPETTRO DI RISPOSTA

3.1. Interpolazione ed estrapolazione spettri di risposta

Uno spettro di risposta derivante da analisi di RSL normalizzato è definito dai parametri a_{\max} , F_0 , T_C .

Il parametro a_{\max} rappresenta l'accelerazione per periodo proprio della costruzione $T = 0$ secondi ed essa è data da $a_g S$ (dove sia a_g che S sono definiti nelle NTC 2018).

In base alla procedura suggerita negli ICMS 2008 DPC, i parametri T_B e T_D sono legati a T_C e restano definiti nel modo seguente:

$$T_B = (1/3) T_C$$

$$T_D = 4 a_{\max}/g + 1.6$$

Per uno spettro di risposta regolarizzato secondo questa procedura, all'atto del suo inserimento nel software di calcolo di solito si assume coefficiente di smorzamento del 5%, $S = 1$ e $a_g = a_{\max}$.

Ne consegue che solitamente lo spettro di risposta derivante da analisi di RSL sarà definito dai tre parametri indipendenti: a_{\max} (o $a_g S$); F_0 ; T_C .

Per dare concreta illustrazione di quanto sin qui delineato, si supponga di avere a disposizione dall'analisi di RSL un numero n di spettri di risposta definiti per tempi di ritorno del sisma via via crescenti: $T_1, T_2, T_3, \dots, T_n$.

Si definisca con T_R il tempo di ritorno del sisma in corrispondenza del quale interessa definire lo spettro. A seconda del valore assunto da T_R è possibile distinguere tre casi di seguito riportati.

CASO 1. T_R è compreso fra due tempi di ritorno per i quali è disponibile lo spettro di risposta da RSL.

Si supponga, ad esempio, che T_R sia compreso fra T_1 e T_2 .

In tal caso, in base a quanto riportato nelle NTC 2008 (in un paragrafo ancora vigente), il valore del generico parametro p (che può rappresentare: a_{\max} (o $a_g S$); F_0 ; T_C) ad esso corrispondente potrà essere ricavato per interpolazione, a partire dai dati relativi ai T_R noti dalle analisi di RSL effettuate, utilizzando l'espressione seguente:

$$\log(p) = \log(p_1) + \log\left(\frac{p_2}{p_1}\right) \times \log\left(\frac{T_R}{T_{R1}}\right) \times \left[\log\left(\frac{T_{R2}}{T_{R1}}\right)\right]^{-1}$$

- p è il valore del parametro di interesse (a_{\max} (o a_g S); F_0 ; T_C) corrispondente al periodo di ritorno T_R desiderato;
- T_{R1} , T_{R2} sono i periodi di ritorno del sisma più prossimi a T_R per i quali si dispone dei valori p_1 e p_2 del generico parametro p . Detti valori derivano dalle analisi di RSL effettuate per i tempi di ritorno del sisma T_{R1} e T_{R2} .
- con \log si indica il logaritmo in base 10.

CASO 2. T_R è inferiore al minor tempo di ritorno T_1 per il quale è disponibile lo spettro di risposta da RSL.

In tal caso non esistono procedure definite normativamente per estrapolare i parametri dello spettro di risposta da analisi RSL.

Di seguito si propone una procedura che postula una proporzionalità tra spettro derivante da RSL e spettro semplificato delle NTC. Ne deriva la seguente formula:

$$p_{RSL} = p_{NTC} \times (p_{1RSL}/p_{1NTC})$$

dove:

p_{RSL} = generico parametro p dello spettro da RSL per tempo di ritorno T_R (è l'incognita di interesse);

p_{NTC} = generico parametro p dello spettro semplificato da NTC per tempo di ritorno T_R ;

p_{1RSL} = generico parametro p dello spettro da RSL per tempo di ritorno T_1 (valore più basso del tempo di ritorno per il quale è disponibile lo spettro da RSL);

p_{1NTC} = generico parametro p dello spettro semplificato da NTC per tempo di ritorno T_1 (valore più basso del tempo di ritorno per il quale è disponibile lo spettro da RSL).

CASO 3. T_R è superiore al massimo tempo di ritorno (si supponga sia T_2) per il quale è disponibile lo spettro di risposta da RSL.

Anche in tal caso non esistono procedure definite normativamente per estrapolare i parametri dello spettro di risposta da analisi RSL.

Di seguito si propone una procedura che postula una proporzionalità tra spettro derivante da RSL e spettro semplificato delle NTC. Ne deriva la seguente formula:

$$p_{RSL} = p_{NTC} \times (p_{2RSL}/p_{2NTC})$$

dove:

p_{RSL} = generico parametro p dello spettro da RSL per tempo di ritorno T_R (è l'incognita di interesse);

p_{NTC} = generico parametro p dello spettro semplificato da NTC per tempo di ritorno T_R ;

p_{2RSL} = generico parametro p dello spettro da RSL per tempo di ritorno T_2 (valore più elevato del tempo di ritorno per il quale è disponibile lo spettro da RSL);

p_{2NTC} = generico parametro p dello spettro semplificato da NTC per tempo di ritorno T_2 (valore più elevato del tempo di ritorno per il quale è disponibile lo spettro da RSL).

3.2. Condizioni di applicabilità della procedura illustrata e spettri di risposta necessari in funzione della classe d'uso

Edifici in classe d'uso III o IV.

Per tale categoria di edifici l'estrapolazione e l'interpolazione degli spettri mediante le procedure descritte in precedenza si ritengono sufficientemente affidabili se risultano definiti in analisi di RSL almeno gli spettri relativi ai tempi di ritorno per SLO, SLD, SLV, SLC.

Edifici in classe d'uso I o II.

Per tale categoria di edifici sono accettabili l'estrapolazione e l'interpolazione degli spettri se risultano definiti in analisi di RSL almeno gli spettri relativi ai tempi di ritorno per SLD ed SLV.

Se l'edificio è su isolatori sismici allora è necessario definire lo spettro da analisi di RSL anche per lo SLC.

4. RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

Acunzo G., Pagliaroli A. & Scasserra G. (2014) - *In-spector: un software di supporto alla selezione di accelerogrammi naturali spettrocompatibili per analisi geotecniche e strutturali*. Atti del XXXIII Convegno Nazionale GNGTS, Bologna.

Bard PY, M. Bouchon (1985) – *The two-dimensional resonance of sediment-filled valleys*. Bull. Seis. Soc. Am, 75 (2) pp. 519-541.

Bramerini F., Di Pasquale G., Naso G., Severino M. (2008) - *Indirizzi e criteri generali per la microzonazione sismica* – Presidenza del Consiglio dei Ministri, Dipartimenti della Protezione Civile.

Crespellani T., Facciorusso J., Madiai C., Simoni G. (2007) - *Caratterizzazione dinamica dei terreni di Senigallia e analisi della risposta sismica locale* - Mucciarelli e Tiberi (a cura di) *Microzonazione sismica di dettaglio di Senigallia*, Cap. 5, Regione Marche ed.

C.S.LL.PP. 02 febbraio 2009 n°617 - *Circolare del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici: Istruzioni per l'applicazione delle "Nuove norme tecniche per le costruzioni* D.M. 14.01.2008.

C.S.LL.PP. 21 gennaio 2019, n. 7 C.S.LL.PP. - *Circolare del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici: Istruzioni per l'applicazione delle "Nuove norme tecniche per le costruzioni* D.M. 17.01.2018.

DGR n. 377 del 08/03/10 - *Criteri per l'esecuzione degli studi di microzonazione sismica* - BUR n. 15 del 31/03/10 S.O. n. 1.

DGR n. 1232 del 23/10/17 - *Criteri per l'esecuzione degli studi di microzonazione sismica. Adozione delle linee guida per la gestione del territorio in aree interessate da faglie attive e capaci (FAC), da liquefazione (LQ), da instabilità di versante sismoindotte (FR)* - BUR n. 48 dell'08/11/17 S.O. n. 1.

DGR n. 298 del 04/04/18 - *Adozione di 9 studi e dei criteri di utilizzo di microzonazione sismica di livello 3 di cui all'Ordinanza n. 24 del 12 maggio 2017 del Commissario del Governo per la ricostruzione nei territori interessati dal sisma del 24 agosto 2016* - BUR n. 16 del 18/04/18.

DGR n. 764 del 09/07/18 - *Adozione di 6 studi e dei criteri di utilizzo di microzonazione sismica di livello 3 di cui all'Ordinanza n. 24 del 12 maggio 2017 del Commissario del Governo per la ricostruzione nei territori interessati dal sisma del 24 agosto 2016* - BUR n. 35 del 25/07/18.

Ferraro A. – Tesi per il conseguimento del titolo di dottore di ricerca - *Analisi numerica della risposta sismica locale in situazioni geotecniche complesse* (2010) - Coordinatore Prof. M. Maugeri – Università degli Studi di Catania.

Gruppo di Lavoro MS-AQ (2010) - *Microzonazione sismica per la ricostruzione dell'area aquilana* - Regione Abruzzo, Dipartimento della Protezione Civile, L'Aquila, 3 vol. e Cd-rom.

Idriss I.M. & Sun J.I. (1992) - *SHAKE91: A computer program for conducting equivalent linear seismic response analyses of horizontally layered soil deposits* - User's Guide, University of California, Davis, California, 13 pp.

Iervolino I., Galasso C. & Cosenza E. (2010) - *REXEL: computer aided record selection for codebased seismic structural analysis* - Bulletin of Earthquake Engineering, 8:339-362.

Lanzo G. & Silvestri F. (1999) - *Risposta Sismica Locale* - Edizioni Hevelius.

Madiai C., Simoni G, Vannucchi G. (2006) - *Influence of "long-term time" effects on soil stiffness in local seismic response evaluation* - First European Conference on Earthquake Engineering and Seismology.

NTC 2008 - *Norme Tecniche per le Costruzioni. Decreto 14 gennaio 2008 del Ministero delle Infrastrutture e trasporti* - Supplemento Ordinario della G.U. n. 29 del 4.02.2008.

NTC 2018 - *Norme Tecniche per le Costruzioni. Decreto 17 gennaio 2018 del Ministero delle Infrastrutture e trasporti* - Supplemento Ordinario della G.U. n. 42 del 20/02/2018.

Ordinanza n. 55 del 24 aprile 2018 del Commissario del Governo per la ricostruzione nei territori interessati dal sisma del 24 agosto 2016. *Disciplina per la delocalizzazione temporanea delle attività economiche o produttive e dei servizi pubblici danneggiati dal sisma eseguiti e conclusi in data anteriore a quella di entrata in vigore del decreto legge n.189 del 2016. Modifiche alle ordinanze n.24 del 12 maggio 2017, n.39 dell'8 settembre 2017 e n.51 del 29 marzo 2018.*

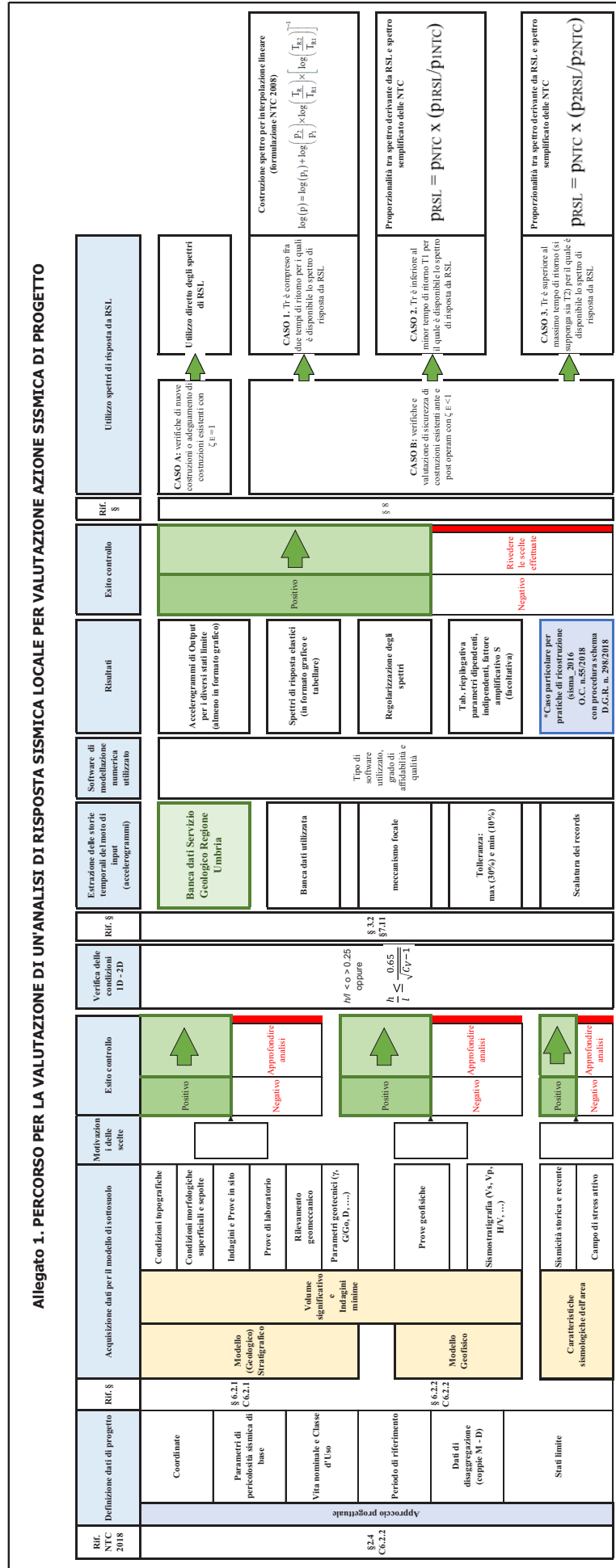
Pergalani F., Compagnoni M. (2012) - *Microzonazione sismica dell'area epicentrale del terremoto della pianura emiliana del 2012* - (Ord. 70/2012).

Schnabel P.B., Lysmer J. & Seed H.B. (1972) - *SHAKE: A computer program for earthquake response analysis of horizontally layered sites*. Report No. EERC 72-12, Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley, California.

Smerzini C. & Paolucci R. (2011) - *SIMBAD: a database with Selected Input Motions for displacement-Based Assessment and Design* - 2nd release. Research Project DPC - RELUIS 2010-2013.

Working Group ITACA (2010) - *Data Base of the Italian strong motion records* - <http://itaca.mi.ingv.it>.

Zuccolo E., Corigliano M., Lai C.G. (2014) - *Selection of spectrum- and seismo-compatible accelerograms for the Tuscany region in Central Italy* - Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 66, 305-313.



STEFANO STRONA - *Direttore responsabile*

Registrazione presso il Tribunale di Perugia del 15 novembre 2007, n. 46/2007 - Composizione ed impaginazione S.T.E.S. s.r.l. - 85100 Potenza
