



**Direzione regionale Lavori Pubblici, Stazione Unica Appalti,  
Risorse Idriche e Difesa del Suolo**

*Area Tutela del Territorio - Servizio Geologico e Sismico Regionale*

**ALLEGATO A**

Linee guida per l'utilizzo dei risultati della Microzonazione  
Sismica di Livello 3

## INDICE

1	Premessa.....	3
2	La zonizzazione sismica di Livello 3 .....	4
3	I risultati degli studi di MS di livello 3 .....	5
4	Utilizzazione dei risultati .....	5
4.1	I fattori di amplificazione (FA).....	6
4.2	Lo spettro elastico di progetto.....	7
4.2.1	L'approccio semplificato .....	7
4.2.1.1	Confronto tra spettri.....	8
4.2.1.2	Caso 1 .....	8
4.2.1.3	Caso 2 .....	9
4.2.1.3.1	fase 1: .....	9
4.2.1.3.2	fase 2.....	9
4.2.1.3.3	fase 3.....	9
5	La MS2 nelle aree studiate con la MS3 .....	10
	Appendice 1 - Regolarizzazione di uno spettro ottenuto con gli studi di MS3 (da Ordinanza n. 55 del 24 aprile 2018 - Allegato 1) .....	14

## 1 Premessa

Gli studi di microzonazione sismica (MS) prevedono tre livelli di approfondimento (MS1, MS2 e MS3) che caratterizzano il territorio mediante la produzione di specifiche carte tematiche (Carta delle MOPS - Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica per MS1 e Carta di Microzonazione Sismica per MS2 e MS3), distinguendo:

- le zone stabili, nelle quali il moto sismico non viene modificato rispetto a quello atteso in condizioni ideali di roccia rigida su superficie topografica pianeggiante;
- le zone stabili suscettibili di amplificazioni locali, nelle quali il moto sismico viene modificato rispetto a quello atteso in condizioni ideali di roccia rigida su superficie topografica pianeggiante;
- le zone instabili, per le quali sono perimetrare le Zone di Attenzione, di Suscettibilità o di Rispetto per i fenomeni di deformazione permanente del territorio come instabilità di versante, liquefazioni, cedimenti differenziali e fagliazione superficiale.

Il livello 1 di MS consiste nella raccolta ed elaborazione di informazioni e dati preesistenti (inventari) o risultanti da specifiche campagne di indagine (in particolare misure di rumore ambientale), al fine di suddividere il territorio in zone qualitativamente omogenee rispetto alle fenomenologie sopra descritte (amplificazioni e instabilità permanenti).

Il livello 2 di MS, disciplinato attraverso la DGR 155/2020, consente di verificare, attraverso l'utilizzo di abachi regionali, se l'assetto sismostratigrafico dell'area oggetto degli studi (nell'ambito degli strumenti urbanistici attuativi) è compatibile con gli spettri proposti dalle norme tecniche vigenti;

Il livello 3 di MS consente di associare valori dei fattori di amplificazione (FA) e spettri di risposta in accelerazione alle zone stabili suscettibili di amplificazioni locali definite nel livello 1 di MS. Il livello 3 di MS permette inoltre di approfondire, mediante studi di dettaglio e attraverso specifici parametri quantitativi, la perimetrazione delle zone di attenzione per instabilità definite nel livello 1 di MS.

La microzonazione sismica costituisce quindi uno strumento utile ai fini della pianificazione e della programmazione degli interventi di prevenzione del rischio sismico.

In Italia, gli studi di microzonazione sismica sono disciplinati attraverso gli Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica (ICMS 2008), approvati il 13 novembre 2008 dalla Conferenza delle Regioni e delle Province autonome e dalla Presidenza del Consiglio dei Ministri Dipartimento della Protezione Civile. Gli ICMS (2008), sono stati successivamente integrati dagli Standard di Rappresentazione e Archiviazione Informatica degli studi di MS e dalle linee guida per la gestione

del territorio in aree interessate da deformazioni cosismiche permanenti a cura della Commissione tecnica per la microzonazione sismica (ex art.5 OPCM 3907/10).

La Regione Lazio con specifiche deliberazioni (DGR 545/2010, DGR 535/2011 e DGR 155/2020) ha normato i tre livelli di microzonazione; in particolare nella DGR 545/2010 e nella DGR 535/2011 sono disciplinate le modalità di esecuzione degli studi di livello 3; le stesse deliberazioni hanno normato anche l'uso del territorio delle aree risultanti suscettibili di attenzione (ZA) e disciplinato gli studi di livello 2 nelle aree stabili suscettibili di amplificazioni locali.

La Regione Lazio attraverso la L.R. n°12 del 18/12/2018, *“Disposizioni in materia di prevenzione e riduzione del rischio sismico. Ulteriori disposizioni per la semplificazione e l'accelerazione degli interventi di ricostruzione delle aree colpite dagli eventi sismici del 2016 e successivi”* e attraverso la DGR 312 del 29/05/2020 ha deciso di erogare contributi per gli studi di microzonazione sismica di livello 3.

Le presenti Linee Guida aggiungono, alle deliberazioni prima riportate, indicazioni su come utilizzare i risultati degli studi di Microzonazione sismica di livello 3 eseguiti nelle aree stabili suscettibili di amplificazioni locali; in particolare si applicano principalmente alle costruzioni di classe d'uso II con “livello di Rischio Sismico” dell'opera Medio e Alto ai sensi del Regolamento regionale 26 ottobre 2020 n. 26 e ss.mm.ii. (Zone Sismiche 1, 2a, 2b).

Infine, il presente testo descrive come confrontare i Fattori di Amplificazione (Fa) con i risultati degli studi di Microzonazione sismica di livello 2 (MS2).

## 2 La zonizzazione sismica di Livello 3

A seguito degli eventi sismici del Centro Italia del 2016 e 2017, che hanno interessato anche la nostra regione, la struttura commissariale ha emanato l'Ordinanza n. 24 del 12 maggio 2017 con cui ha finanziato la realizzazione degli studi di livello 3 di MS e l'aggiornamento del livello 1 di MS nei 15 comuni colpiti dal sisma. Nell'ambito degli studi di livello 3 di MS sono stati calcolati gli spettri di risposta in accelerazione e i fattori di amplificazione secondo i seguenti periodi (sec): FA 0.1-0.5, FA 0.4-0.8 e FA 0.7-1.1.

La successiva Ordinanza n. 55 del 24 aprile 2018, nell'Allegato 1 *“Criteri generali per l'utilizzo dei risultati degli studi di Microzonazione Sismica di livello 3 per la ricostruzione nei territori colpiti dagli eventi sismici a far data dal 24 agosto 2016”*, fornisce indicazioni sulle modalità di utilizzo dei risultati degli studi di MS3.

Nel presente documento sono indicate le linee guida all'utilizzo dei risultati della Microzonazione Sismica di Livello ispirate dalla suddetta Ordinanza.

### 3 I risultati degli studi di MS di livello 3

I risultati degli studi di Microzonazione Sismica di livello 3 (MS3) sono sintetizzati e rappresentati su carte tematiche del territorio, carte di Microzonazione Sismica di livello 3, distinguendo le seguenti microzone:

- Zone stabili, nelle quali il moto sismico non viene modificato rispetto a quello di input riferito ad un suolo pianeggiante e di Categoria di sottosuolo “A” (come definita dalle Norme Tecniche per le Costruzioni 2018 e relativa Circolare);
- Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali, nelle quali il moto sismico viene modificato, rispetto a quello di input a causa delle caratteristiche geologiche/geofisiche/geotecniche e morfologiche del territorio. Ciascuna microzona viene caratterizzata, rispetto allo scuotimento, da:
  - spettri di risposta elastici in superficie *free-field* (condizioni di campo libero);
  - fattori di amplificazione (FA) calcolati mediante rapporti tra grandezze integrali derivate da spettri di risposta elastici alla superficie (di output) e quelli corrispondenti al moto atteso su un suolo di riferimento rigido e pianeggiante ed ipoteticamente affiorante nello stesso sito (di input).
- Zone instabili per le quali vengono aggiornate le aree perimetrate nella MS1 come Zone di Attenzione per i fenomeni di deformazione permanente del territorio (instabilità di versante, liquefazioni, faglie attive e capaci, cedimenti differenziali), definendo le relative zone di Suscettibilità o le zone di Rispetto. Ciascun fenomeno viene parametrizzato secondo le linee guida per le instabilità approvate dalla Commissione tecnica interistituzionale MS (ex art.5 OPCM 3907/10).

Il livello 3 di MS quindi consente di associare alle Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali, definite nella Carta delle Microzone (già individuate dalla MS di livello 1 nella Carta delle MOPS), oltre ai valori dei fattori di amplificazione (FA), anche gli spettri medi di risposta in pseudoaccelerazione (nell'intervallo di periodi di vibrazione 0.1-1.1 s) al 5% di smorzamento in superficie ed eventualmente di modificare i limiti delle microzone già definite dal livello 1 di MS.

### 4 Utilizzazione dei risultati

Ai fini dell'utilizzazione dei risultati degli studi di MS3 per le amplificazioni locali si dovranno consultare:

- le carte di Microzonazione Sismica (una per ogni intervallo di calcolo), dove saranno riportati i FA calcolati negli intervalli di periodo di interesse:
  - 0.1-0.5 s,
  - 0.4-0.8 s,

➤ 0.7-1.1 s,

➤ gli spettri di risposta medi di output associati alla Microzona di interesse.

Per le modalità di rappresentazione si fa riferimento a quanto previsto dagli “Standard di rappresentazione e archiviazione informatica vigenti”, predisposti dalla Commissione tecnica per la microzonazione sismica (ex art.5 OPCM 3907/10).

#### 4.1 I fattori di amplificazione (FA)

Per ogni input sismico, i valori di FA sono ottenuti come rapporti tra l'integrale dello spettro elastico in pseudoaccelerazione di output e l'integrale dello spettro elastico in pseudoaccelerazione di input, nei tre intervalli di periodo 0.1-0.5s, 0.4-0.8s, 0.7-1.1s (ai quali intervalli corrispondono n. 3 Carte di Microzonazione Sismica).

Per ciascun insieme di input sismici e per ciascun intervallo di periodi è calcolato separatamente il fattore di amplificazione medio relativo alla microzona. Per le zone stabili non soggette ad amplificazione deve risultare  $FA=1$  (Standard di Rappresentazione e Archiviazione Informatica 4.1 §1.1.4.) in tutti e tre gli intervalli di periodo.

I fattori di amplificazione (FA) sono calcolati con modellazioni numeriche nei tre intervalli di periodo definiti in precedenza; essi forniscono informazioni quantitative sull'entità dell'amplificazione dello spettro di risposta (calcolato alla superficie *free field* - piano campagna in condizioni di campo libero) dovuta alle peculiari caratteristiche geologiche, geofisiche, geotecniche e morfologiche della microzona in esame, rispetto allo spettro di riferimento derivante dalla pericolosità sismica di base. In definitiva negli studi di MS3 i fattori di amplificazione FA tengono conto del locale assetto sia stratigrafico (sismostratigrafico), sia morfologico.

I fattori di amplificazione (FA) permettono di confrontare la pericolosità sismica in aree diverse del territorio comunale; allo stesso tempo, le tre classi di intervallo di calcolo (0.1-0.5s, 0.4-0.8s, 0.7-1.1s) permettono di fare valutazioni di massima sulla risposta dinamica delle strutture, anche in considerazione di classi di costruzioni caratterizzate da diversi moti fondamentali di vibrazione.

Ai fini della pianificazione i fattori di amplificazione, definiti per ogni singola microzona, consentiranno valutazioni sul contesto nel quale si colloca il territorio interessato nonché indicazioni al pianificatore per definire il regolamento edilizio e la scelta della tipologia dell'edificato.

In particolare, attraverso l'analisi dei FA, gli strumenti di pianificazione urbanistica comunale possono:

- individuare il livello relativo di pericolosità sismica locale di ciascuna parte del territorio urbanizzato e urbanizzabile;

- definire prescrizioni per la riduzione del rischio sismico fissando, per le diverse parti del territorio, i limiti e le condizioni per realizzare gli interventi di trasformazione urbanistica ed edilizia.

#### 4.2 Lo spettro elastico di progetto

Con riferimento a quanto indicato negli Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica (Gruppo di lavoro MS - 2008), gli studi di MS3 forniscono utili indicazioni per la progettazione delle nuove costruzioni e degli interventi sulle costruzioni esistenti da utilizzare anche all'interno delle procedure previste nel Regolamento regionale 26 Ottobre 2020 n. 26 e ss.mm.ii.

Occorre comunque precisare che gli spettri di risposta prodotti nell'ambito degli studi di MS di livello 3, associati alle varie microzone insieme ai fattori di amplificazione, non sono direttamente utilizzabili nella progettazione poiché:

- il livello di affidabilità del modello di sottosuolo risultante dagli studi di MS3 non è dettagliato come quello che può essere ricavato attraverso indagini specifiche nel sito di realizzazione del manufatto (cfr Regolamento regionale 26 Ottobre 2020 n. 26 e ss.mm.ii);
- gli spettri di risposta sono calcolati per il solo livello di pericolosità sismica con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni (corrispondente ad un periodo di ritorno di 475 anni) non necessariamente coincidente con il livello di prestazione atteso per l'opera in esame;
- gli spettri MS sono calcolati al piano campagna in condizioni di *free-field* mentre la progettazione richiede la definizione delle azioni al piano di fondazione e, a rigore, tenendo conto dell'interazione struttura-fondazione-terreno.

Comunque, gli spettri di risposta da MS di livello 3, anche se non direttamente impiegabili nella progettazione, costituiscono uno strumento utile per valutare la scelta di utilizzare l'approccio semplificato, basato sulle categorie di sottosuolo stabilite dalla Normativa vigente, o eseguire analisi di RSL 1D o 2D. (cfr. §4.2.1.1).

##### 4.2.1 L'approccio semplificato

Nel seguito del documento si fa riferimento all'approccio semplificato per la classificazione del suolo: per la sua applicazione bisogna considerare quanto riportato nelle NTC di cui al D.M. 17-01-2018 e relativa Circolare 21-01-2019 n. 7 e alle situazioni riportate nel capitolo 4 dell'Allegato A della DGR 155/2020. Quest'ultimo documento stabilisce le condizioni tali per cui non è possibile utilizzare gli abachi regionali a causa di peculiari situazioni geologiche, geomorfologiche e sismostratigrafiche che non permettono l'applicazione dell'approccio semplificato per l'attribuzione della Categoria di sottosuolo.

In dettaglio, non è possibile applicare l'approccio semplificato per:

- presenza di marcati contrasti di impedenza sismica (cfr. DGR 155/2020),

- presenza di orizzonte superficiale particolarmente soffice (cfr. DGR 155/2020),
- presenza di inversioni significative dei valori di VS (terreni rigidi su terreni soffici) (cfr. DGR 155/2020),
- presenza di irregolarità morfologiche (creste, cocuzzoli, dorsali, scarpate) (cfr. DGR 155/2020),
- presenza di unità litotecniche e tetto del substrato sismico non sub-orizzontali (cfr. DGR 155/2020),
- vicinanza dalla chiusura laterale nelle valli superficiali (cfr. DGR 155/2020),
- presenza di aree soggette a instabilità (frane, liquefazioni, cavità sepolte, ecc.) cfr. DGR 155/2020).

#### 4.2.1.1 *Confronto tra spettri*

Al fine di definire lo spettro elastico di progetto, il progettista delle strutture dovrà confrontare lo spettro di risposta medio regolarizzato (secondo il metodo riportato in Appendice 1) ottenuto dallo studio di MS3 della microzona di interesse con quello ottenuto con l'approccio semplificato (quando applicabile ai sensi delle NTC e specificato nel § 4.2.1) della Normativa sismica (NTC), per la categoria di sottosuolo individuata con apposite indagini in corrispondenza del manufatto e per il tempo di ritorno di 475 anni (Vedi figura 1).

L'intervallo dei periodi da considerare per il confronto tra lo spettro di MS3 e quello di norma dell'approccio semplificato, è determinato considerando i periodi di vibrazione di interesse dell'opera nelle due direzioni principali, ossia il minore,  $T_{min}$ , e il maggiore,  $T_{max}$ , dei tre periodi di vibrazione dell'edificio (inteso come struttura tridimensionale) con massa partecipante più elevata, tenendo anche conto dell'elongamento degli stessi durante la risposta sismica. Tale intervallo è compreso tra  $T_{min}$  e  $2T_{max}$ .<sup>1</sup>

In questo intervallo dovranno essere confrontati tra loro lo spettro proveniente dagli studi di MS3 e quello di Normativa; dal confronto possono presentarsi due situazioni che comporteranno procedure di valutazioni diverse tra loro e di seguito descritte.

#### 4.2.1.2 *Caso 1*

Se almeno una delle condizioni di cui sotto è verificata:

- lo spettro di MS3 non supera puntualmente in misura maggiore del 30% lo spettro semplificato di Normativa;

---

<sup>1</sup> Laddove  $2T_{max} > 1.1s$ , il confronto non potrà essere effettuato. In questi casi, la MS3 potrà fornire indicazioni riguardo alla possibile presenza di fenomeni di amplificazione relativi ad alti periodi (coltri deformabili di grande spessore) che renderebbero comunque non applicabile l'approccio semplificato da Normativa all'analisi della risposta sismica locale.



- l'integrale dello spettro di MS3 (con  $T_{max} = 1.1$ ) non è superiore del 20% rispetto al corrispondente integrale dello spettro semplificato di Normativa.

In questo caso lo spettro previsto dall'approccio semplificato della Normativa può ritenersi significativamente più conservativo di quello di MS3 e quindi è possibile utilizzare l'approccio semplificato della Normativa sismica (cfr Figura 1 Caso 1).

#### 4.2.1.3 Caso 2

Se almeno una delle condizioni di cui sotto è verificata:

- lo spettro di MS3 supera puntualmente in misura maggiore del 30% lo spettro semplificato di Normativa;
- l'integrale dello spettro di MS3 (con  $T_{max} = 1.1$ ) è superiore del 20% rispetto al corrispondente integrale dello spettro semplificato di Normativa.

Per questa situazione, lo spettro previsto dall'approccio semplificato della Normativa può ritenersi significativamente meno conservativo di quello di MS3 (cfr Figura 1 Caso 2).

In questo caso il progettista, utilizzando i risultati della MS3, dovrà procedere seguendo le seguenti fasi:

##### 4.2.1.3.1 fase 1:

Attraverso approfondimenti geologici, geofisici e geotecnici dovrà essere dettagliato il modello di sottosuolo nell'area di interesse del manufatto.

##### 4.2.1.3.2 fase 2

Sulla base di questi approfondimenti il progettista dovrà valutare le condizioni di applicabilità dell'approccio semplificato della Normativa e, nel caso, giustificare l'adozione in relazione alle caratteristiche stratigrafiche e morfologiche dello specifico sito rispetto alla situazione di riferimento cui si riferisce lo spettro ottenuto dagli studi di microzonazione sismica.

##### 4.2.1.3.3 fase 3

In caso contrario, a quanto riportato nella fase precedente, il progettista dovrà necessariamente procedere con un'analisi di risposta sismica locale monodimensionale (1D) e/o bidimensionale (2D), in base alle caratteristiche del sito. A tal proposito si evidenzia come in molti casi reali di studio sia preferibile un approccio di calcolo bidimensionale 2D, che possa pertanto tener conto delle specifiche peculiarità sismostratigrafiche e/o morfologiche del sito. Le situazioni per cui è fortemente consigliato un approccio di calcolo 2D sono riportate nel § 4.2.1.

In particolare, i risultati della MS3 saranno utilizzati per definire:

- il volume significativo<sup>2</sup> di sottosuolo;
- le caratteristiche sismostratigrafiche e/o morfologiche da considerare per le analisi numeriche della risposta sismica locale, includendo la possibile presenza di effetti 2D.

Per le costruzioni di classe III e IV rimangono vigenti le disposizioni presenti nel Regolamento regionale 26 Ottobre 2020 n. 26 e ssmmii e nella DGR 493 del 23/07/2019.

## 5 La MS2 nelle aree studiate con la MS3

Nelle Microzone studiate con la MS3, quindi caratterizzate dai FA e dagli spettri di risposta elastici calcolati in superficie, dovrà essere ugualmente eseguito lo studio di MS2 nei casi indicati nella tabella 1 dell'Allegato A della DGR 155/2020.

Il confronto, tra i risultati della MS2 e della MS3, è sostanziale poiché le indagini per la realizzazione della MS2 sono eseguite su uno specifico sito.

Gli esiti delle indagini, eseguite per la MS2, descrivono con dettaglio l'assetto sismostratigrafico dell'area studiata, mentre i risultati delle indagini eseguite per la realizzazione della MS3 sono rappresentative di una intera Microzona.

In aggiunta a quanto previsto dalle procedure descritte dalla DGR 155/2020, oltre al confronto previsto tra i valori di FH e Ss (cfr § 9 e 10 dell'Allegato A della DGR 155/2020), dovranno essere comparati (vedi tabella 1 e figura 2), nei seguenti intervalli 0.1-0.5, 0.4-0.8, 0.7-1.1s, anche FH con FA (considerando i valori più cautelativi che caratterizzano la Microzona); i valori di FA sono riportati nella carta di microzonazione sismica.

In sintesi si dovrà osservare:

- se è verificata una sola delle sotto riportate condizioni:
  1.  $FH > Ss + 0.1$
  2.  $FH > FA$ .

in almeno uno dei tre intervalli di periodo, è obbligatorio eseguire lo studio di RSL 1D o 2D in sede di progettazione;

- se sono verificate entrambi le sottostanti condizioni:
  1.  $FH < Ss + 0.1$
  2.  $FH \leq FA$ .

in tutti e tre gli intervalli di periodo, è obbligatorio eseguire il confronto tra gli spettri in sede di progettazione come previsto nel § 4.2;

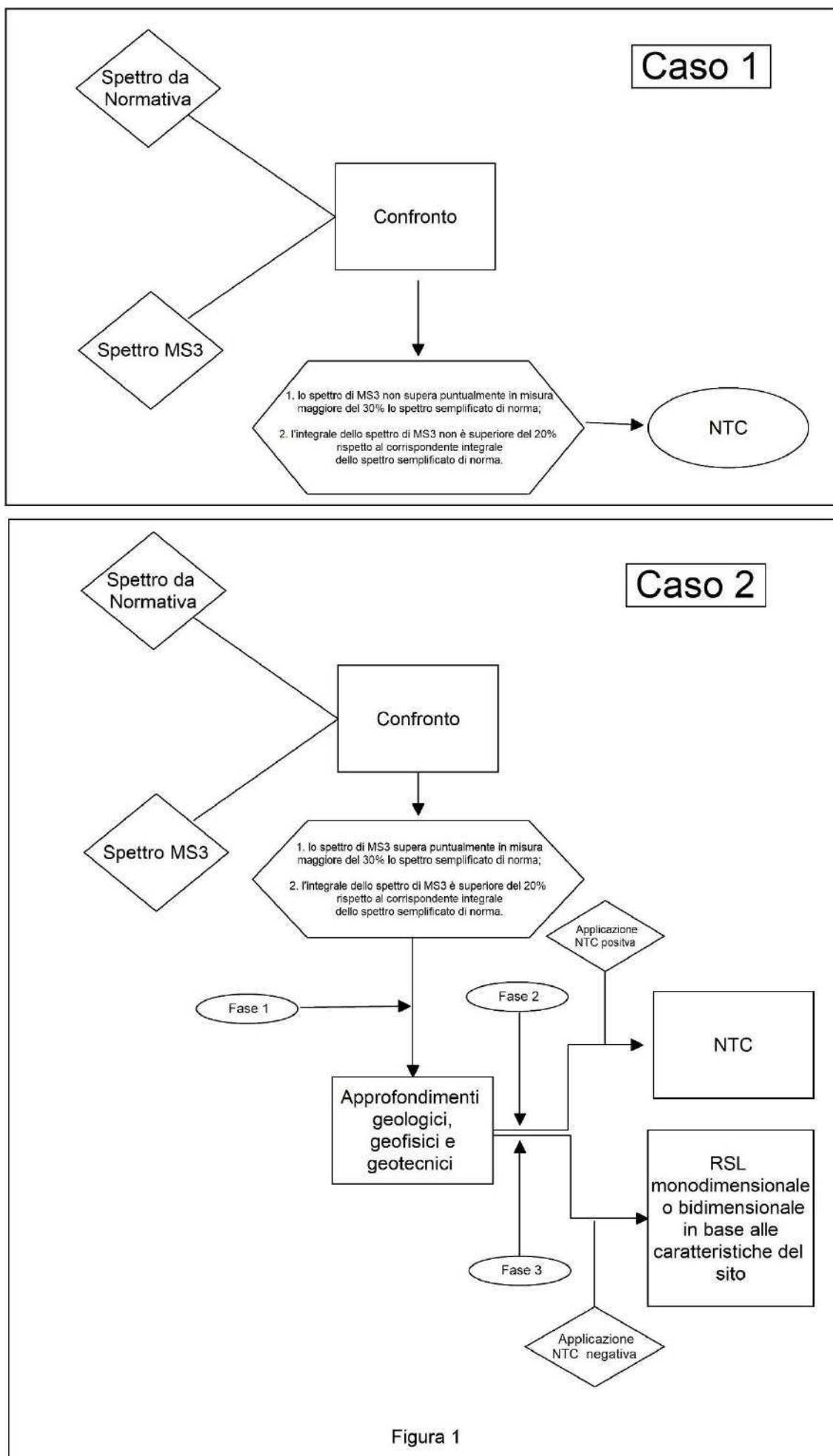
---

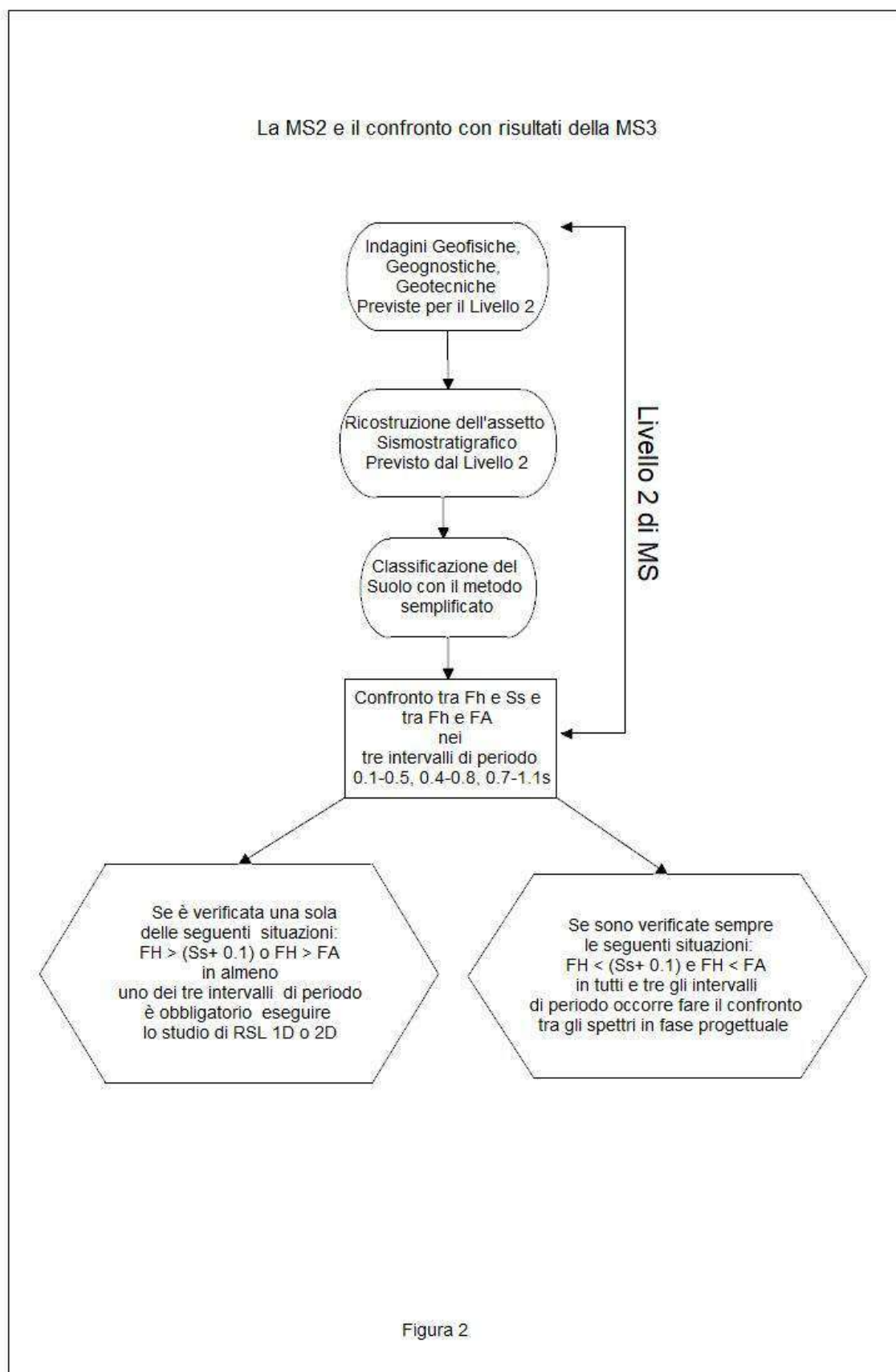
<sup>2</sup> Per volume significativo di terreno si intende la parte di sottosuolo che, per le sue condizioni sismostratigrafiche, può influenzare le caratteristiche del moto sismico atteso nell'intervallo di periodi di interesse per il singolo manufatto

Il risultato del confronto contribuirà alla realizzazione della carta della idoneità territoriale e dovrà prevedere le conseguenti prescrizioni.

Confronto da eseguire per i seguenti intervalli				verifica	esito
0.1-0.5 s 0.4-0.8 s 0.7-1.1 s	FH	>	Ss+0,1	se è verificata una sola delle condizioni in almeno uno dei tre intervalli di periodo	Risposta sismica locale 1D o 2D
	FH	>	FA		
	FH	<	Ss+0,1	se sono verificate sempre entrambi le condizioni	Procedure previste nel § 4.2
	FH	≤	FA		

Tabella 1





## Appendice 1 - Regolarizzazione di uno spettro ottenuto con gli studi di

### MS3 (da Ordinanza n. 55 del 24 aprile 2018 - Allegato 1)

La procedura di regolarizzazione (Newmark e Hall, 1982<sup>3</sup>, Romeo, 2007<sup>4</sup>, Liberatore e Pagliaroli, 2014<sup>5</sup>), 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 ( $a_g$ ,  $a_{max}$ ,  $T_B$ ,  $T_C$ ,  $T_D$ ,  $T_C^*$ ,  $F_0$ ,  $\xi$ ,  $\eta$ ,  $S_S$ ,  $S_T$ ). 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:

- 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
- 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:

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

- 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  $\omega = 2\pi/T$ :

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

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

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

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

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

$$T_C = 2\pi * \frac{SV_m}{SA_m}$$

- 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:

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

<sup>3</sup> Newmark N.M. e Hall W.J., 1982. Earthquake spectra and design. EERI Research Report, 82- 71183, 103 pp.

<sup>4</sup> 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

<sup>5</sup> 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

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

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  $SA_m / a_{max}$

Infine, 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  $a_{max}$