

LA MICROZONAZIONE SISMICA NEL CENTRO ABITATO DI FIVIZZANO (MS)

V. D'Intinosante¹, GDL-Fivizzano²

¹ Settore Sismica, Regione Toscana, Firenze, Italia

² Il GDL (Gruppo di Lavoro) Fivizzano: M. Baglione, V. D'Intinosante, F. Vannini, P. Fabbroni, L. Nistri (Settore Sismica, Regione Toscana); A. Puccinelli, G. D'Amato Avanzi (Dipartimento Scienze della Terra – Università di Pisa); G. Naso (Dipartimento della Protezione Civile Nazionale, Ufficio rischio sismico – Roma); G. Cavuoto, V. Di Fiore, N. Pelosi, M. Punzo, D. Tarallo (CNR– IAMC di Napoli); S. Piscitelli, A. Perrone, J. Bellanova, G. Calamita (CNR– IMAA di Potenza); M. Moscatelli, A. Pagliaroli, M. Simionato, D. Pileggi, A. Avalor (CNR– IGAG di Roma); G. Vessia (INGEO – Università di Chieti); G. Ginesi (Ufficio Cave e Ambiente – Comune di Fivizzano, MS)

Introduzione. La Regione Toscana ha avviato a partire dal 1997, il Programma di Valutazione Effetti Locali (denominato Programma VEL), finalizzato all'acquisizione di dati geologici, geotecnici e geofisici in corrispondenza dei principali centri abitati, ubicati nelle aree a maggior pericolosità sismica del territorio regionale (Ferrini *et al.*, 2007).

In particolare, la gran mole di dati di prospezione diretta ed indiretta del sottosuolo (D'Intinosante *et al.*, 2014), ha consentito la realizzazione di studi di microzonazione sismica di dettaglio (definita di “terzo livello” nell'ambito degli “Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica”, di seguito indicato con la sigla ICMS), fornendo un importante modello geologico-tecnico delle aree di studio, assolutamente necessario per analizzare in maniera analitica la risposta sismica locale a livello areale in assetto perlomeno bidimensionale.

Tali attività, afferenti al settore multidisciplinare della prevenzione sismica, sono previste in ambito regionale dalla L.R. 58/2009 comma 1b e vengono svolte attualmente nel rispetto dei criteri e delle modalità operative previsti dagli ICMS.

Mediante i finanziamenti erogati principalmente con l'OPCM 3907/2010 e s.m.e i. è stato possibile finalizzare gli studi di microzonazione sismica di terzo livello (anche definita MS3) nelle località riportate in Tab. 1. Ai centri abitati elencati in tabella, sono da aggiungere i Comuni

di Castelnuovo Garfagnana (LU) e Vicchio (FI) per i quali sono state già realizzate le analisi di risposta sismica mono e bidimensionali ed è attualmente in fase di conclusione lo studio di microzonazione sismica di terzo livello.

Tra i comuni “pilota” del Programma VEL va sicuramente annoverato il centro abitato di Fivizzano (MS), ubicata nel distretto sismico della Lunigiana. A seguito dell’evento sismico del 21 giugno 2013 (Magnitudo $M_I=5.2$), avente come epicentro proprio il territorio comunale di Fivizzano, di concerto con il Dipartimento della Protezione Civile nazionale, è stato costituito un Gruppo di Lavoro multidisciplinare (di seguito GdL Fivizzano) avente come obiettivo finale la realizzazione dello studio di microzonazione sismica di livello 3 sull’area del capoluogo.

La presente nota ha lo scopo di illustrare sinteticamente le attività del GdL, evidenziando le procedure che hanno portato alla realizzazione dello studio e le criticità riscontrate. Infine, viene avanzata una proposta sull’utilizzo dei risultati di uno studio di microzonazione sismica di terzo livello in fase progettuale.

Dal modello di sottosuolo alla microzonazione sismica di primo livello. L’importante campagna di indagini, illustrata sinteticamente in Tab. 2, ha permesso la definizione del migliore modello geologico-tecnico possibile per il centro abitato di Fivizzano.

A tal fine, nell’ambito delle attività svolte dal GdL Fivizzano, è stata realizzata una ricostruzione di dettaglio della geologia di superficie, consistita nella produzione di una carta geologica in scala 1:2000 corredata da 5 sezioni geologico-tecniche (D’Intinosante *et al.*, 2014).

Tab. 1 - Elenco dei comuni già dotati di studi di microzonazione sismica di livello 3. Per Università di Pisa si intenda il Dip.to di Ingegneria dell’Energia, dei Sistemi, del Territorio e delle Costruzioni dell’Università di Pisa; per Università di Firenze si intenda Dip.to di Ingegneria Civile e Ambientale (DICEA) dell’Università di Firenze; per Regione Toscana si intenda il Settore Sismica, Ufficio Prevenzione sismica.

Comune	Località interessate	Soggetto realizzatore delle analisi di RSL	Soggetto realizzatore delle cartografie di MS di Livello III
Villa Collemandina (LU)	Capoluogo e Corfino	DESTEC Università di Pisa	Regione Toscana
Barberino di Mugello (FI)	Capoluogo e Galliano	DICEA Università di Firenze	Regione Toscana
Poppi (AR)	Capoluogo e Porrena	Regione Toscana	Regione Toscana
Sestino (AR)	Capoluogo	Regione Toscana	Regione Toscana
Scarperia (FI)	Capoluogo	Regione Toscana	Regione Toscana
San Godendo (FI)	Capoluogo e Castagno d’Andrea	Regione Toscana	Regione Toscana
Palazzuolo sul Senio (FI)	Capoluogo	Regione Toscana	Regione Toscana
Firenzuola (FI)	Capoluogo	Regione Toscana	Regione Toscana
Sillano (LU)	Capoluogo	Regione Toscana	Regione Toscana
Fivizzano (MS)	Capoluogo	GdL Fivizzano	GdL Fivizzano

La buona caratterizzazione sismostratigrafica dell’area di studio ha permesso, nell’ambito delle attività previste nello studio di microzonazione sismica di primo livello ed in considerazione del peculiare assetto litostratigrafico dell’area, una buona discretizzazione in termini di zonazione qualitativa (definizione delle microzone in prospettiva sismica).

A titolo d’esempio, per quanto attiene alla carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (MOPS), l’area del centro abitato di Fivizzano ricadente nelle zone stabili suscettibili di amplificazione è stata distinta in 18 microzone (in Fig. 1 è illustrato un estratto della MOPS di

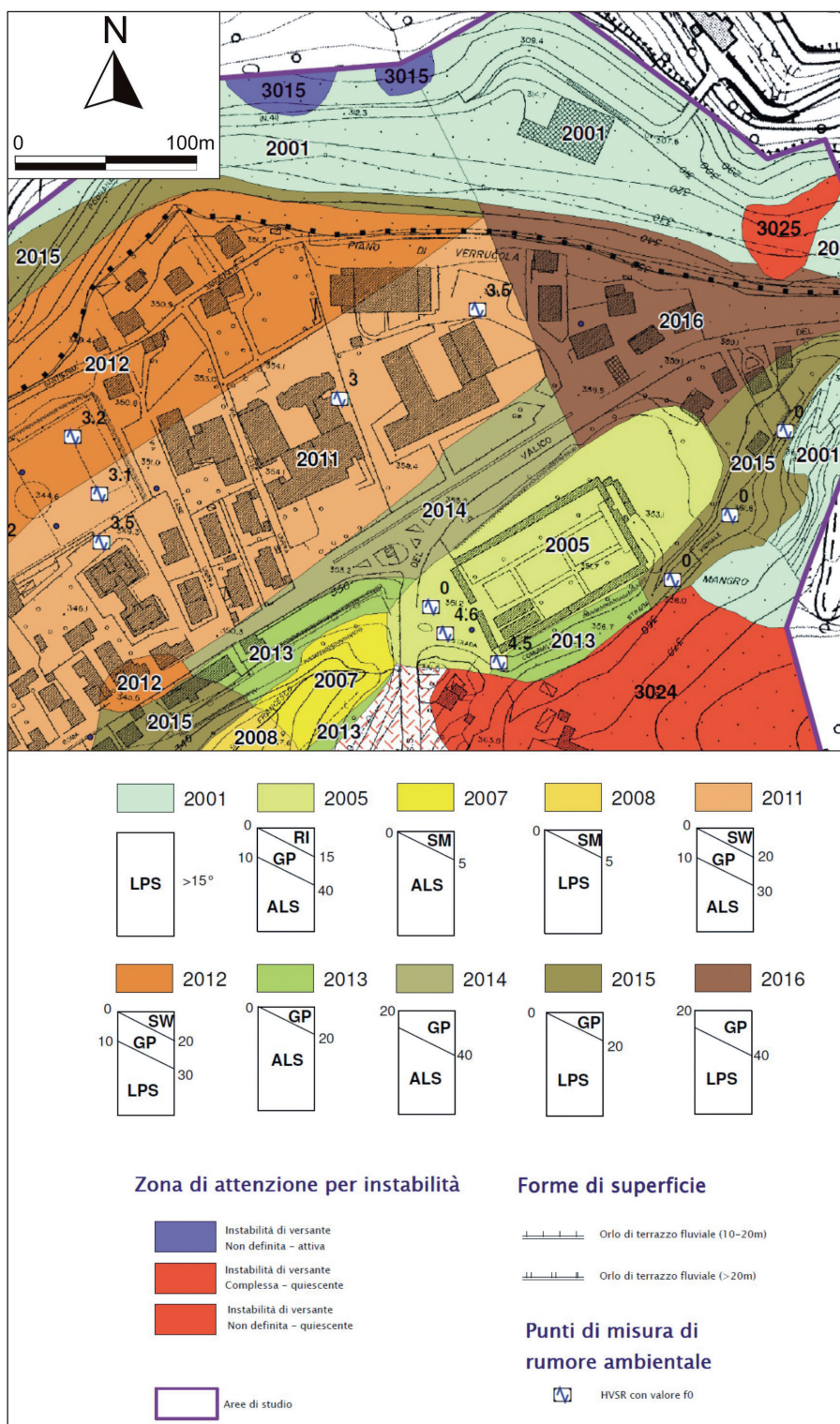


Fig. 1 – Stralcio della Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (MOPS) per il settore settentrionale dell'area di studio.

Fivizzano relativo al settore nord del centro abitato), caratterizzate da un'estensione pari all'88.7% del totale dell'area indagata (pari a 0.734 km²). Tra queste microzone, quelle caratterizzate dalla presenza di substrato sismico affiorante o sub affiorante in contesti morfologici connotati da pendenze superiori a 15°, costituiscono il 10.74% del totale.

Le rimanenti aree stabili suscettibili di amplificazione derivano dalla presenza di numerose combinazioni di successioni sismostratigrafiche con presenza di una non trascurabile variabilità sia per quanto riguarda gli spessori delle coltri sismiche sia in termini di caratteristiche fisico-meccaniche delle coperture e del substrato sismico.

Le aree stabili sono di limitata estensione (0.5% del totale dell'area indagata) e corrispondono agli affioramenti, nel settore centro-meridionale dell'area, dei Calcari del Gruppo del Vescovo (CGV) in condizione sub pianeggiante.

Invece, le zone instabili, che nell'area indagata sono costituite esclusivamente da fenomeni gravitativi attivi o quiescenti, raggiungono il 10.8% del totale.

Le microzone stabili hanno una dimensione media di 0.001 km² mentre quelle suscettibili di amplificazione mostrano una dimensione media delle microzone pari a 0.014 km².

Per le aree instabili, il valore medio di estensione areale delle microzone è 0.007 km². Tali valori, in virtù di quanto precedentemente indicato, sono nettamente inferiori al valore medio nazionale (Castenetto *et al.*, 2014).

Le forme di superficie rinvenute nella ricostruzione del modello geologico dell'area e rappresentate nella Carta delle MOPS sono costituite nell'area da orli di terrazzo fluviale con altezze comprese sia entro i 20 m sia superiori.

Tab. 2 - Prospetto sintetico delle indagini geologico-tecniche eseguite dal 2000 nel centro abitato di Fivizzano nell'ambito dello studio di caratterizzazione sismica dei terreni e di definizione del modello geologico-tecnico dell'area.

TIPOLOGIA INDAGINE	n°
Sondaggi geognostici	23
Prove down-hole in onde P ed SH	11
Sismica a rifrazione in onde P ed SH	27
Sismica a rifrazione (tomografie in onde P)	4
Sismica a riflessione HR in onde P	6
Sismica a riflessione HR in onde SH	2
Prove MASW	13
Stendimenti di sismica passive in array (ESAC)	4
Misure di rumore a stazione singola	45
Monitoraggio sismico (weak motions)	13
Tomografia elettrica (ERT)	4
TOTALE	92

La microzonazione sismica di terzo livello: correlazione tra microzonazione sismica di primo (MS1) e terzo livello (MS3). Nell'area del centro abitato di Fivizzano sono state condotte analisi di risposta sismica locale in assetto bidimensionale mediante in software QUAD4M (Hudson *et al.*, 1994) su 318 punti di output, scelti per una rappresentazione pressoché continua dell'amplificazione locale su 5 sezioni geologico-tecniche ricostruite nell'ambito della definizione del modello geologico dell'area (D'Intinosante *et al.*, 2014).

Sulle 5 sezioni geologico-tecniche sono stati definiti 49 punti su cui sono state considerate le verticali sottostanti con le loro successioni litostratigrafiche e sono state eseguite, a scopo di confronto, analisi di risposta sismica in assetto monodimensionale mediante il software

monodimensionale 1D STRATA (Kottke and Rathje, 1998). Le analisi hanno prodotto risultati in termini di accelerogrammi e spettri di risposta elastici (al 5% di smorzamento).

Sono stati calcolati, per scegliere il parametro in grado rappresentare meglio l'amplificazione locale nell'area di studio e poter, conseguentemente, provvedere all'estensione areale del dato, sei differenti fattori di amplificazione, tra i quali è stato scelto il parametro *FHa0105*:

$$FHa_{(0,1 \div 0,5)} = \frac{\int_{0,1}^{0,5} PSA_{out}(T) dT}{\int_{0,1}^{0,5} PSA_{in}(T) dT} \quad (1)$$

Tale fattore di amplificazione viene calcolato come rapporto tra gli integrali (nel caso in esame con estremi 0.1 s e 0.5 s) in pseudoaccelerazione dell'output rispetto all'input.

La scelta del range di integrazione è stata effettuata sia tenendo conto delle caratteristiche del patrimonio edilizio esposto al rischio sia in considerazione del fatto che l'amplificazione sismica in tutte le analisi effettuate non eccede mai periodi superiori a 0.8 s ed assume particolare rilievo per $T < 0.5$ s.

La scelta è ricaduta sul fattore *FHa* principalmente per dare continuità con le scelte fatte in riferimento alle microzonazioni sismiche di terzo livello in precedenza effettuate in Regione Toscana ed anche in considerazione del fatto che nella progettazione la definizione dell'azione sismica viene fatta a partire dallo spettro di risposta in pseudoaccelerazione e non in pseudovelocità.

Nel centro abitato di Fivizzano, comunque, i risultati in termini di *FHa* trovano una buona correlazione con quanto desunto dalla rappresentazione del fattore *FA* (ICMS, 2008) ed un ottimo accordo con il fattore *FH* (Housner, 1959).

Ai fini dell'estensione areale del dato, nei settori dell'area di studio non coperti dalle sezioni geologico-tecniche e, quindi, sprovvisti dei dati di output delle analisi numeriche, si è dovuto ricorrere ad estrapolazione areale.

Tale processo, di per sé estremamente delicato ed esposto alla soggettività del soggetto realizzatore, è stato effettuato mediante l'ausilio combinato della cartografia geologico-tecnica e della cartografia MOPS. A tal proposito si tenga presente che in linea di massima può esistere una correlazione tra microzone relative ai due livelli di approfondimento, sebbene questo processo di correlazione (nell'ambito dell'estensione del dato) debba essere effettuato in maniera non automatica ma doverosamente critica.

Il modello logico su cui si è basata l'estrapolazione areale dei dati di amplificazione è stato il seguente:

1. rappresentazione su mappa di tutti i punti di output delle modellazioni dinamiche effettuate, con il relativo valore di *FHa0105*;
2. individuazione del contesto sismostratigrafico alla base di ogni valore di *FHa0105* desunto;
3. identificazione sulle cartografie tematiche esistenti (in particolare geologico-tecniche e MOPS) di analoghe condizioni sismostratigrafiche su aree non coperte da analisi di risposta sismica locale.
4. Se in tali aree sono presenti, comunque, indagini sismiche attive e/o passive è opportuno, nel processo di estrapolazione, tener conto dei risultati di tali indagini. Particolarmente utile può essere il confronto tra curve H/V derivanti da indagini di sismica passiva a stazione singola e funzioni di amplificazione (rapporto tra spettro di output e di input) relative alle analisi di risposta sismica locale, pur tenendo conto delle differenze tra le due procedure, soprattutto in termini di entità delle sollecitazioni e di non linearità nella risposta dinamica del deposito (simulata nelle analisi di risposta sismica locale mediante modelli lineari equivalenti di tipo iterativo);

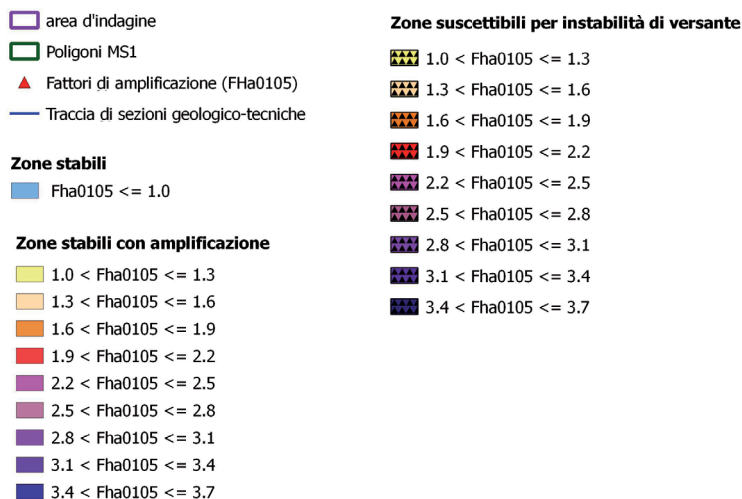
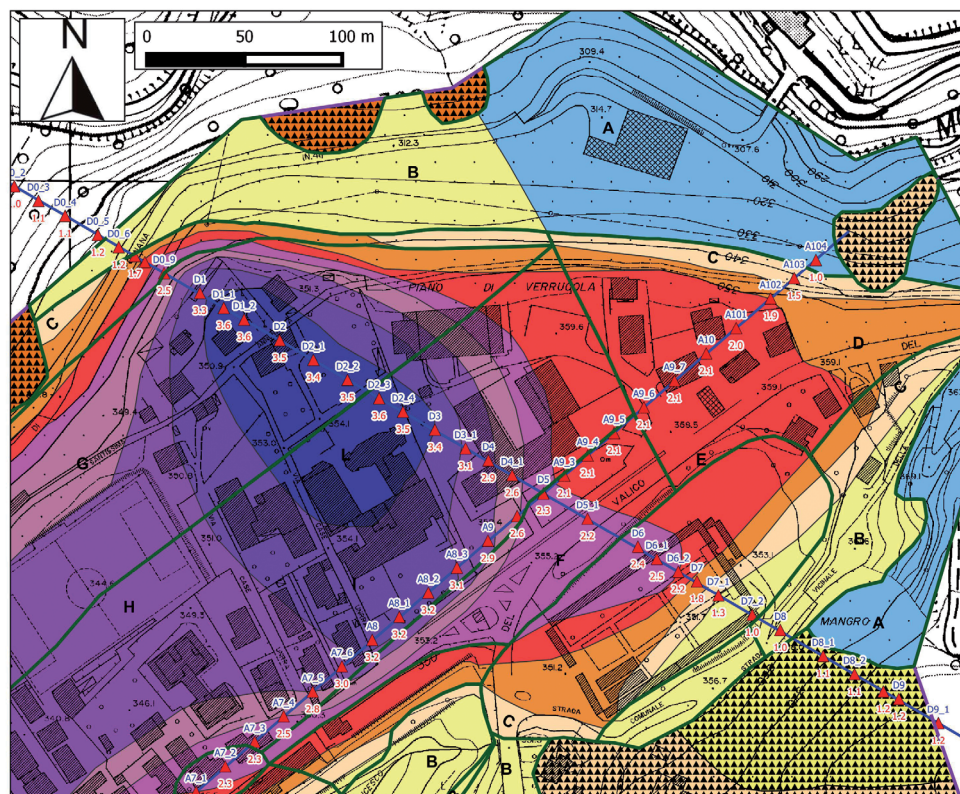


Fig. 2 – Stralcio della Carta di microzonazione sismica di terzo livello (MS3) per il settore settentrionale dell'area di studio. Ai fini di confronto, sulla carta in verde sono riportati i bordi delle Microzone Omogenee relative alla microzonazione di livello 1, visualizzabile in Fig. 1.

5. raggruppamento di situazioni tipologiche ed amplificative simili mediante la discretizzazione dell'area in classi distinte da differenti intervalli di F_{Ha0105} ;
6. rappresentazione della cartografia prodotta mediante software operante in ambiente GIS.

Nella Carta di microzonazione sismica di terzo livello (di cui è illustrato uno stralcio in Fig. 2), la dimensione delle zone stabili con amplificazione locale, differenziate sulla base sia del livello di amplificazione sia del “tipo_z” (ovvero il peculiare assetto sismostratigrafico) si riduce notevolmente, rispetto alla cartografia di livello 1 precedentemente descritta, passando a valori di 0.004 km² come media e 0.002 km² come valore mediano. Il numero delle zone è 166.

Accorpendo le predette zone sulla base esclusivamente del range di amplificazione, derivante dall’analisi degli spettri di risposta elastici, il numero delle microzone si riduce a 10, con conseguente aumento della dimensione media delle microzone, pari a 0.06 km² (ben al di sotto, comunque, del valore medio estrapolato dalla realizzazione della carta delle MOPS).

Nell’area di Fivizzano è possibile notare la presenza di amplificazioni sismiche molto differenziate con presenza diffusa di aree stabili caratterizzate da elevata amplificazione sismica. Dall’osservazione dello stralcio di carta di MS3 in Fig. 2 si può notare come l’amplificazione passi da bassi valori (compresi tra 1 ed 1.3) nelle zone prossime all’affioramento del bedrock sismico e geologico, dove gli spessori delle coperture sono esigui, fino a valori massimi anche superiori a 3.7 (ad esempio la zona L in Fig. 2) in corrispondenza del terrazzo alluvionale su cui poggia in quasi la sua interezza il centro abitato di Fivizzano.

Tale livello molto elevato dell’amplificazione sismica deriva dalla compresenza di fattori monodimensionali (successioni sismostratigrafiche connotate da elevato contrasto d’impedenza) e bidimensionali (legati sia alle morfologie sepolte, sia ad aspetti morfologici superficiali).

I fenomeni gravitativi attivi e quiescenti sono stati valutati, allo stato attuale, solo sulla base delle loro caratteristiche in termini di amplificazione locale, mentre, a causa dell’assenza di una mirata caratterizzazione geotecnica pregressa, si è preferito rimandare a prossimi sviluppi dello studio la loro valutazione in termini di stabilità in condizioni statiche e dinamiche, non avendo avuto la possibilità nell’ambito del presente studio di procedere ad approfondimenti in tal senso.

Proposta di utilizzo dei dati della MS3 in fase progettuale. I risultati della microzonazione sismica di terzo livello, terminato il processo di controllo e validazione, saranno inseriti come elemento del quadro conoscitivo comunale nell’ambito della revisione dello strumento urbanistico, determinando condizioni di fattibilità collegata alla pericolosità sismica.

Sulla base del vigente regolamento regionale (Regolamento n.53R del 25/10/2011), la carta di microzonazione sismica sarà convertita in carta di pericolosità sismica; a livello urbanistico sono previsti quattro gradi di pericolosità: dalla pericolosità S1 riferita a zone con assenza di amplificazione fino al grado di pericolosità S4 relativa alle aree con presenza di fenomeni gravitativi attivi e zone suscettibili di instabilità di versante attiva e terreni suscettibili di liquefazione dinamica in comuni classificati in zona sismica 2.

Gli studi di microzonazione sismica di terzo livello possono fornire anche alcuni strumenti e/o indicazioni per le fasi successive a quelle pianificatorie. Ad esempio, è possibile notare alcune analogie tra i prodotti finali (tipicamente accelerogrammi e spettri di risposta elastici) di uno studio di MS3 e quelli inerenti la valutazione dell’azione sismica di progetto.

In aree, come quella di Fivizzano, in cui la MS3 restituisce microzone stabili con amplificazione con limitata estensione areale (valore medio 0.06 km²) ed in cui è presente una dettagliata definizione dell’azione sismica sia da un punto di vista qualitativo che quantitativo, è possibile (in aggiunta a quanto previsto dagli ICMS) fornire per ogni microzona uno spettro caratteristico, utile a rappresentare in quel determinato ambito areale l’azione sismica di progetto.

A puro titolo d’esempio, in Fig. 3 è illustrato uno spettro caratteristico estrapolato per la microzona H rappresentata in Fig. 2. Questo spettro (in verde in figura) è stato ricavato dalla lisciatura dello spettro medio associato alla microzona (in rosso in figura) secondo la procedura indicata negli ICMS2008 e meglio specificata da Pergalani e Compagnoni (2014).

Questo spettro si riferisce ad un periodo di ritorno di 475 anni e, pertanto, in termini di periodo di ritorno può essere paragonato allo spettro semplificato di normativa (Categoria di sottosuolo B per l’area in esame, in nero in Fig. 2) relativo all’azione sismica allo Stato Limite

**Spettro caratteristico - MS3, microzona H - SLU (Tr = 475 anni)
Fivizzano (MS)**

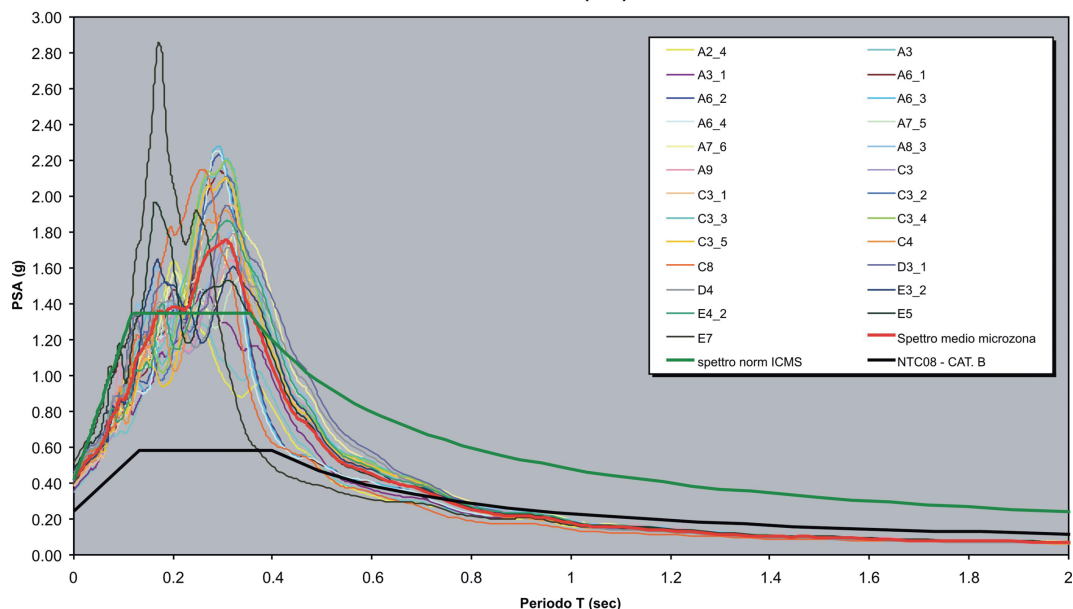


Fig. 3 – Esempio di spettro caratteristico lisciato relativo alla Microzona H (MS3).

di Salvaguardia della Vita (SLV) per un edificio “ordinario” (Vita nominale VN = 50 anni e Classe d’uso CU = II).

Oltre all’analisi “ufficiale” della MS3, caratterizzata da un periodo di ritorno tipicamente di 475 anni, bisognerà realizzare analoghe analisi imponendo come input sismico accelerogrammi spettro-compatibili per periodi di ritorno propri dello Stato Limite di Esercizio (es. Stato limite di Danno, SLD), che nel caso specifico corrispondono ad un $T_r=50$ anni. Mediante questa non eccessiva estensione d’analisi sarà possibile ricavare spettri caratteristici utilizzabili per SLE.

Infine, preme sottolineare alcune regole base per un corretto utilizzo degli spettri caratteristici:

- si ritiene opportuno che tale approccio sia consentito per progetti caratterizzati al massimo da classe d’uso II (opere ordinarie). Per opere caratterizzate da classe d’uso superiore (opere strategiche e rilevanti) e ricadenti in aree definite a medio-elevata pericolosità sismica (sulla base dei vigenti regolamenti urbanistici regionali) sarà necessario rendere obbligatoria la stima dell’azione sismica di progetto mediante adeguate analisi di risposta sismica locale;
- l’utilizzo degli spettri caratteristici dovrebbe essere vincolato alla verifica, a cura del professionista incaricato della stima dell’azione sismica di progetto, della conformità del modello di sottosuolo (in termini di affidabilità, significatività e rappresentatività delle analisi effettuate) in corrispondenza del sito di progetto con quello tipico della microzona, anche in riferimento alla quota di riferimento dell’opera in progetto;
- l’utilizzo degli spettri dovrebbe essere, inoltre, subordinato al rispetto di un indice di qualità, opportunamente definito, che valuti la qualità degli studi di livello 3 in particolare in ragione della densità e qualità delle indagini geotecniche e geofisiche utilizzate per la definizione del modello di sottosuolo.

Si ritiene opportuno l’utilizzo (in maniera diretta mediante la definizione di spettri caratteristici e/o indiretta mediante la prescrizione dell’obbligatorietà in determinati contesti di stima dell’azione sismica mediante analisi di risposta sismica locale) dei prodotti di output di

una analisi dettagliata di microzonazione sismica (livello 3) ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto per opere ordinarie.

Solo in questa maniera sarà possibile incentivare la realizzazione di tali studi da parte delle Amministrazioni comunali in fase di revisione degli strumenti urbanistici, soprattutto quando la microzonazione sismica di terzo livello sarà intesa come implementazione di studi di livello 1 già realizzati e recepiti a livello urbanistico.

Altrimenti (ma tale considerazione va doverosamente interpretata sulla base dei differenti regolamenti regionali in materia urbanistica), si ritiene che i comuni che abbiano già adeguato per la parte sismica il loro quadro conoscitivo mediante studi di MS di livello 1, siano difficilmente intenzionati in fase di revisione ad implementare tale studio portandolo a livelli più elevati, per i quali è necessario un maggiore impegno computazionale ed economico.

Bibliografia

- Castenetto S., Bramerini F., Naso G., Imprescia P.; 2014: Programma di Microzonazione Sismica in Italia: considerazioni preliminari sui dati raccolti. Atti del XXXIII Convegno Nazionale GNGTS, Bologna.
- Decreto del Presidente della Giunta Regionale 25 ottobre 2011, n.53/R: *Regolamento di attuazione dell'articolo 62 della legge regionale 3 gennaio 2005, n.1 (Norme per il governo del territorio) in materia di indagini geologiche*. Regione Toscana.
- D'Intinosante V., GdL Fivizzano; 2014: Definizione del modello integrato di sottosuolo propedeutico alla realizzazione di studi di microzonazione sismica di livello 3 nel centro abitato di Fivizzano (MS). Atti del XXXIII Convegno Nazionale GNGTS, Bologna.
- DM 14.1.2008. Norme tecniche per le Costruzioni. Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana 29.
- Ferrini M., Baglione M., Calderini F., D'Intinosante V., Danise S., Di Lillo R., Fabbroni P., Iacomelli S., Rossi M., Stano S. Calosi E.; 2007: Le attività della Regione Toscana per la valutazione degli effetti locali dei terreni: il programma regionale V.E.L. XII Congresso Nazionale "L'ingegneria Sismica in Italia", Pisa 10-14 giugno 2007.
- Housner G.W.; 1959: Behaviour of structures during earthquakes. Journal of the Engineering Mechanics Division, ASCE, Vol.85, N. EM14, pp. 109-129.
- Hudson M., Idriss IM, Beikae M: 1994: **QUAD4M: a computer program to evaluate the seismic response of soil structures using finite element procedures and incorporating a compliant base**. Dpt. of Civil and Environmental Eng., Univ. of California Davis, Davis California
- ICMS - Gruppo di lavoro MS.; 2008: Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica, 3 vol. e DVD.
- Kottke A. R., Rathje E.M.; 2008: *Technical Manual for Strata*. PEER 2008/10;
- Pergalani F., Compagnoni M.; 2014: Spettri di risposta e Norme Tecniche per le Costruzioni. La microzonazione sismica dell'area urbana di Umbertide. Regione Umbria Servizio Geologico e Sismico, Publisher: Regione Umbria Servizio Geologico e Sismico, Editor: Dimensione Grafica Spello, ISBN: 978-8-896-27719-5