



LA MICROZONAZIONE SISMICA DI TERZO LIVELLO: L'ESEMPIO DI FIVIZZANO (MS)

V. D'Intinosante¹, M. Baglione¹ & F. Gallori¹

¹ Settore Sismica, Regione Toscana

1. Introduzione

Il presente articolo intende descrivere in forma riassunta lo studio di Microzonazione sismica di terzo livello (definita MS3) del centro abitato di Fivizzano (MS).

Tale studio, a partire dalle indagini conoscitive sul terreno effettuate dal 2001 nell'ambito del Programma VEL - Valutazione degli Effetti Locali della Regione Toscana (Ferrini et al., 2007), è stato realizzato con metodologie e procedure approfondite, finalizzate alla redazione di cartografie di Microzonazione Sismica di livello 3, secondo i dettami degli Indirizzi e Criteri di Microzonazione Sismica, di seguito ICMS (Gruppo di lavoro MS, 2008; Castenetto et al., 2014), approvati dalla Conferenza delle Regioni in data 13 novembre 2008, i quali hanno il merito di aver omogeneizzato le metodologie di studio e le procedure (sia sotto il profilo formale sia sostanziale), creando un *modus operandi* condiviso nel panorama nazionale di settore.

Per l'elevata mole di dati/indagini a disposizione, per le metodologie innovative e sperimentali utilizzate e per il dettaglio a cui si è giunti, lo studio di MS di Fivizzano può essere considerato un "modello pilota" da poter seguire anche per la realizzazione di studi analoghi nel panorama nazionale.

In generale la realizzazione di uno studio di MS può essere affrontata tramite diversi livelli di approfondimento che vengono dettati dalle finalità (pianificazione territoriale, pianificazione per l'emergenza, progettazione delle opere), dalle necessità intrinseche del sito (caratteristiche geomorfologiche, importanza delle opere da realizzare) e dei livelli di pericolosità.

In relazione ai diversi contesti geologico-tecnici, alla pericolosità sismica di base ed in funzione dei diversi obiettivi degli studi di MS, possono essere effettuati n. 3 livelli di approfondimento, con complessità e impegno economico crescente.

In particolare possono essere predisposti i seguenti livelli:

- **il livello 1** è un livello propedeutico ai successivi studi di MS, che consiste esclusivamente in una raccolta organica e ragionata di dati di natura geologica, geofisica e geotecnica e delle informazioni preesistenti e/o acquisite appositamente al fine di suddividere il territorio in microzone qualitativamente omogenee dal punto di vista del comportamento sismico. Tale approfondimento è finalizzato alla realizzazione della carta delle "Microzone Omogenee in prospettiva sismica (MOPS)";
- **il livello 2** è un livello successivo in cui si introduce l'elemento quantitativo associato alle zone omogenee mediante metodologie di analisi numerica di tipo semplificato (abachi regionalizzati, modellazione 1D, leggi empiriche) e l'esecuzione di ulteriori e più mirate indagini. Tale approfondimento è finalizzato alla realizzazione della "Carta di Microzonazione Sismica";
- **il livello 3** rappresenta il livello più approfondito che permette di giungere ad una microzonazione approfondita del territorio basata su metodologie analitiche di analisi di tipo quantitativo. Tale approfondimento è finalizzato alla realizzazione della "Carta di Microzonazione Sismica con approfondimenti".

Nello specifico la MS individua e caratterizza:

- **le Zone Stabili:** aree nelle quali non si ipotizzano effetti locali di alcuna natura (litotipi assimilabili al substrato sismico in affioramento con morfologia pianeggiante o poco inclinata) e, pertanto, gli scuotimenti attesi sono equivalenti a quelli forniti dagli studi di pericolosità di base;



- **le Zone stabili suscettibili di amplificazione sismica**, in cui il moto sismico viene modificato a causa delle caratteristiche litostratigrafiche e/o geomorfologiche del territorio;
- **le Zone suscettibili di instabilità**, ovvero zone suscettibili di attivazione dei fenomeni di deformazione permanente del territorio indotti o innescati dal sisma (instabilità di versante, liquefazioni, fagliezioni superficiale).

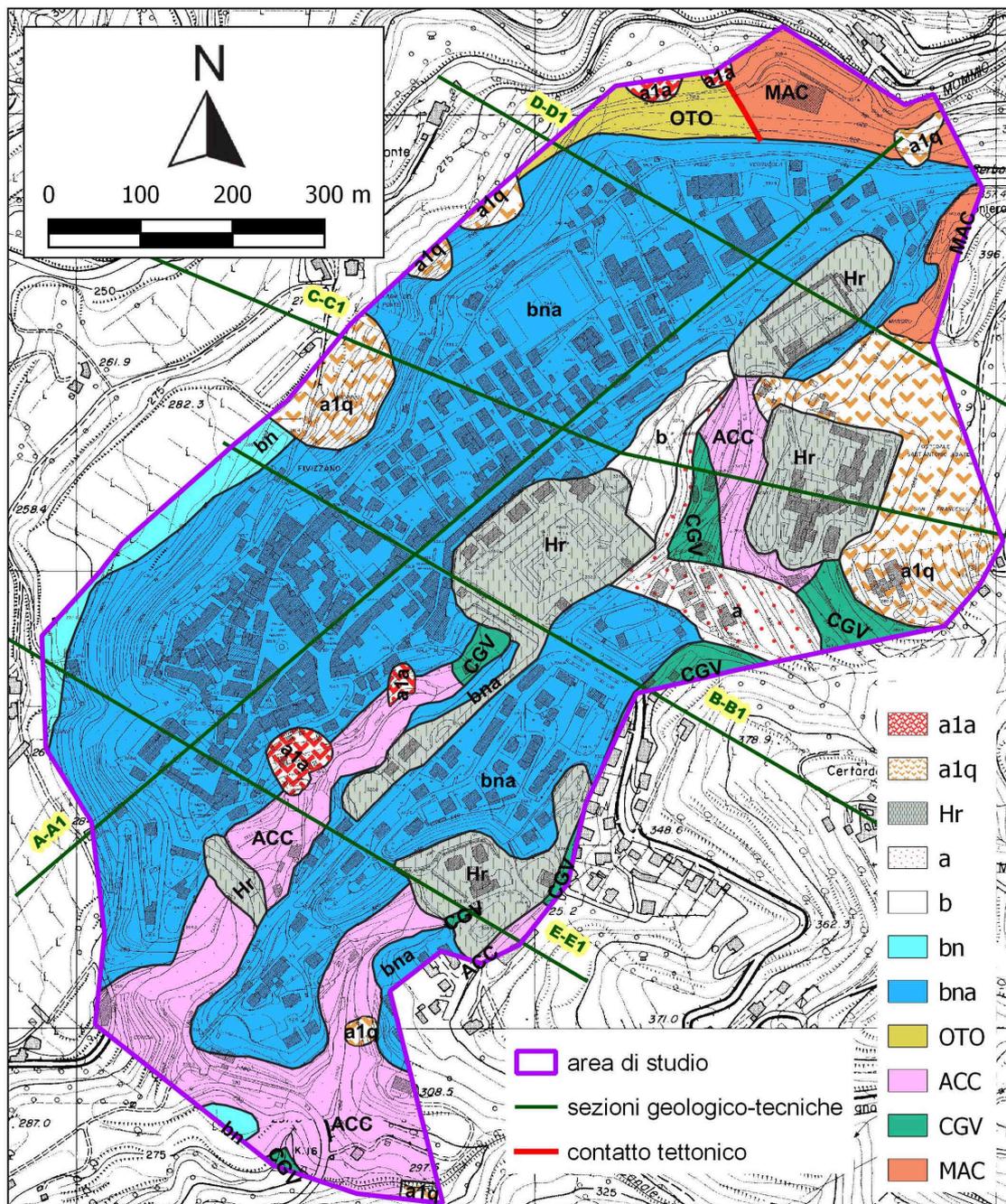


Fig. 1 – Carta geologica del centro abitato di Fivizzano (eseguita dal Dipartimento di Scienze della Terra dell’Università di Pisa), realizzata ad hoc nell’ambito dello studio di microzonazione sismica; la scala del rilievo originaria è 1:2000. La simbologia delle formazioni geologiche è illustrata in figura 3



Infatti, il distretto sismico in cui ricade il comprensorio fivizzanese è una delle aree più pericolose del territorio regionale (il comune è classificato in zona sismica 2 dal 1927), sia sotto il profilo della pericolosità sismica di base, sia per quanto attiene (ad una scala più di dettaglio) all'attivazione di fenomeni di amplificazione locale (D'Intinosante et al., 2003; Cherubini et al., 2004; Rainone et al., 2004; Cherubini et al., 2006).

Partendo da queste considerazioni si è resa necessaria l'esigenza di tentare di definire quantitativamente l'entità di tali effetti locali.

A tal proposito, a seguito dell'evento sismico del 21 giugno 2013 (Magnitudo MI=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), finalizzato alla realizzazione dello studio di MS3 per il centro abitato fivizzanese.

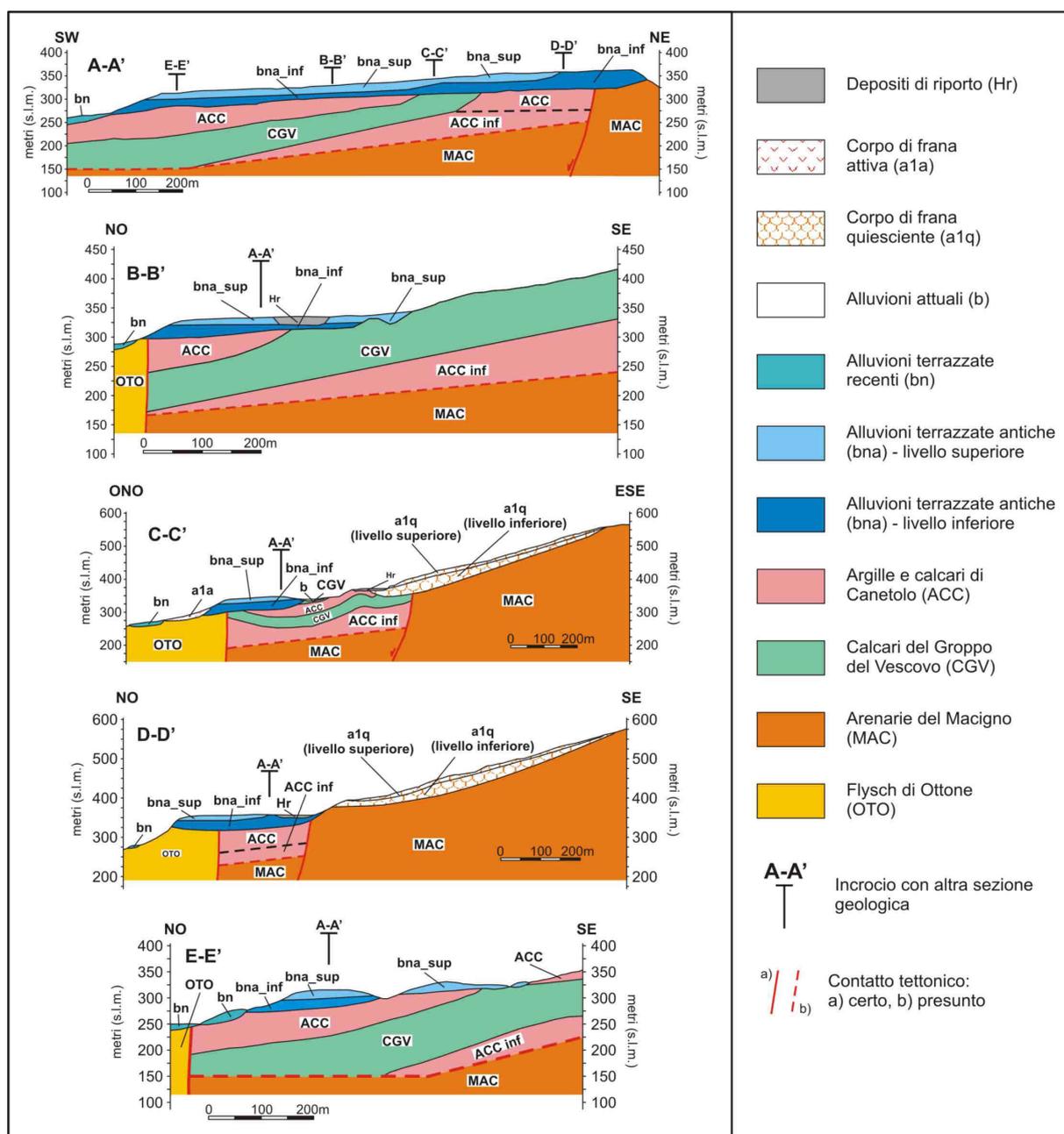


Fig. 3 – Sezioni geologico-tecniche per l'area di Fivizzano. L'ubicazione è riportata in figura 1



2. Il modello geologico-tecnico dell'area

Mediante l'analisi integrata delle informazioni derivanti dal rilievo geologico di campagna (in figura 1 è illustrata la carta geologica dell'area) e l'esplorazione geologica s.l. del sottosuolo (l'ubicazione delle indagini è riportata in figura 2) si è pervenuti alla definizione del miglior modello geologico-tecnico possibile per l'area in esame (D'Intinosante et al., 2014).

Il centro abitato di Fivizzano è ubicato nella sua quasi interezza su depositi alluvionali terrazzati (distinti da un punto di vista parametrico in due livelli) passanti ad un substrato sismico non omogeneo (nell'area sono presenti unità del substrato geologico e sismico sia autoctone sia alloctone). L'area è, inoltre, interessata da presenza di depositi gravitativi attivi e quiescenti.

Sono state prodotte 5 sezioni geologico-tecniche (figura 3) essenziali sia per la definizione della carta geologico-tecnica (CGT_MS) e, conseguentemente, della carta delle Microzone Omogenee in prospettiva Sismica (MOPS) per quanto attiene alla microzonazione sismica di primo livello, sia per la determinazione dell'input geologico-tecnico necessario per l'esecuzione delle analisi di risposta sismica locale nell'ambito delle attività connesse con la microzonazione sismica di terzo livello.

3. Le analisi di risposta sismica locale e la microzonazione sismica di terzo livello

La realizzazione di uno studio di microzonazione sismica di terzo livello prevede l'esecuzione di specifiche analisi per la quantificazione degli effetti collegati all'accadimento di un determinato evento sismico, che, per quanto riguarda la stima dell'amplificazione locale, prevede l'esecuzione di analisi di risposta sismica locale.

Le sezioni geologico-tecniche illustrate in figura 3 hanno fornito l'input geometrico per la realizzazione di modellazioni dinamiche in campo bidimensionale, mentre l'importante campagna di indagini multidisciplinari di esplorazione del sottosuolo (figura 2) ha fornito gli elementi necessari per la parametrizzazione geotecnico-geofisica dei litotipi oggetto di studio, di cui in tabella 1 è presentato l'esempio di parametrizzazione per la sezione A-A¹.

L'input sismico è stato definito mediante la procedura messa a punto dall'Università di Pavia nell'ambito di un Accordo di Collaborazione Scientifica con la Regione Toscana (<http://www.regione.toscana.it/speciali/rischio-sismico/banche-dati>).

Tab. 1 – Parametrizzazione relativa alla sezione geologico-tecnica A-A¹

Litologia	Vp (m/s)	Vs (m/s)	Peso di volume (kN/mc)	curve dinamiche (G/G0 e D)
bn (alluvioni terrazzate recenti)	1385	560	20.0	Rollins et al. 1998 (gravel)
bn ^a sup (Alluvioni terrazzate antiche - livello sup)	866	435	20.0	Rollins et al. 1998 (gravel)
bn ^a inf (Alluvioni terrazzate antiche - livello inf)	1363	648	21.6	Rollins et al. 1998 (gravel)
ACC (Argille e Calcari di Canetolo)	2698	1005	22.5	linear D= 1%
ACC ACC (Argille e Calcari di Canetolo)	3433	1475	23.0	linear D= 0.5%
CGV (Calcari del Groppo del vescovo)	3617	1648	23.0	linear D= 0.5%
MAC (Arenarie del Macigno)	3600	1780	24.0	linear D= 0.5%

In tale ambito è stato sviluppato il codice di calcolo SCALCONA 2.0 (SCALing of Compatible Natural Accelerograms) che, in funzione del sito e del periodo di ritorno considerato, restituisce una combinazione di sette accelerogrammi compatibili con gli spettri NTC08 per condizioni di roccia piana affiorante (Cat. A - T1 delle NTC08) (Zuccolo et al., 2011; Rota et al., 2012; Zuccolo et al., 2012; Zuccolo et al., 2014).

In particolare, per tutto il territorio toscano, è possibile selezionare differenti periodi di ritorno (ossia 30, 50, 72, 101, 140, 201, 475, 712 e 949 anni).



Le analisi di risposta sismica locale realizzate per la microzonazione sismica di livello 3 del centro abitato di Fivizzano fanno riferimento ad un input sismico relativo ad un periodo di ritorno di 475 anni per quanto attiene all'analisi "ufficiale" (figura 4), a cui è stata affiancata un'analisi suppletiva, caratterizzata da un input sismico relativo ad un periodo di ritorno di 50 anni.

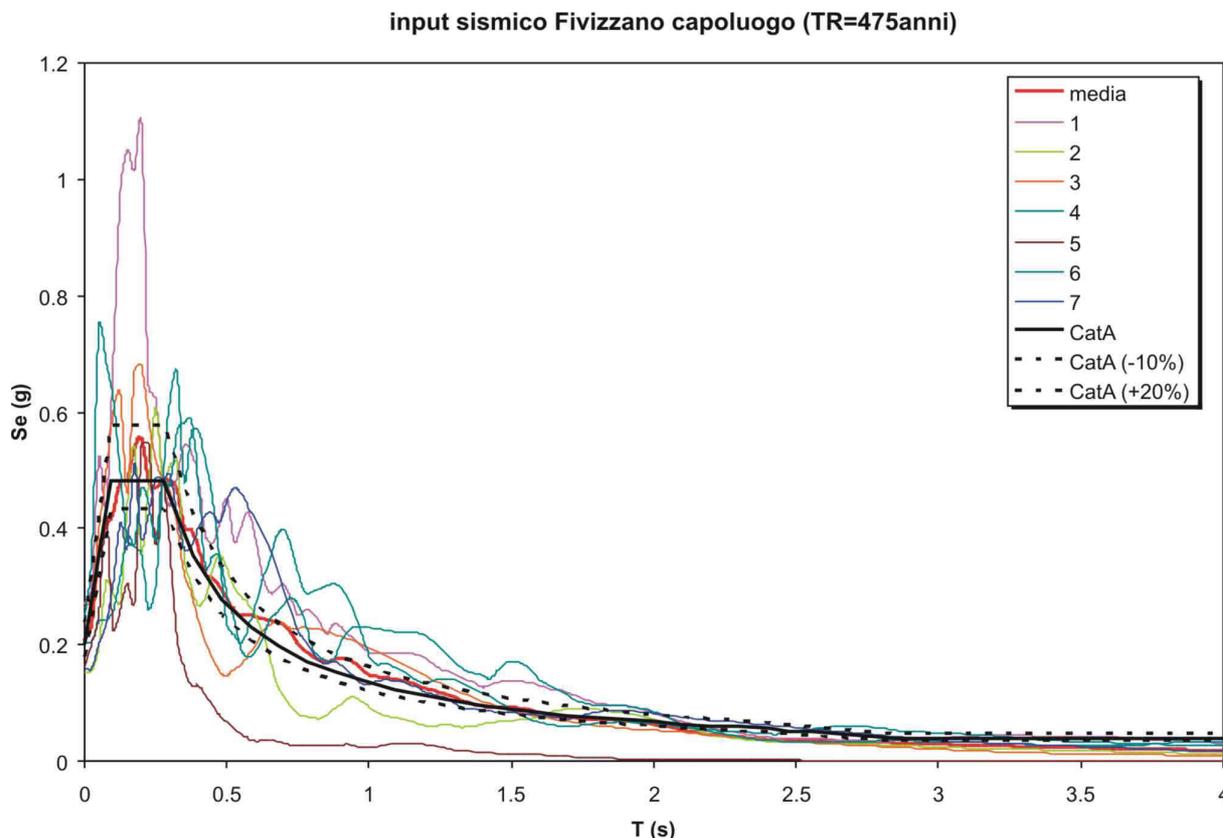


Fig. 4 – Spettri di risposta elastici degli accelerogrammi naturali utilizzati come input sismico per $T_r=475$ anni; la curva rossa indica la media, mentre con tratto nero è indicato lo spettro target (Cat. A-T1) per il centro abitato di Fivizzano

Tale supplemento d'indagine si è reso necessario al fine di ottenere la risposta sismica dei terreni in oggetto per sollecitazioni paragonabili alle condizioni che, in un ottica progettuale ed ai sensi delle vigenti NTC2008, sono proprie dello Stato Limite di Esercizio (SLE). Solo in tale maniera è possibile desumere l'azione sismica sia per condizioni paragonabili allo Stato Limite Ultimo (SLU) sia per lo Stato Limite di Esercizio (SLE) al fine di proporre indicazioni dei risultati della MS per la progettazione, secondo le modalità indicate nel prossimo paragrafo.

Le analisi di risposta sismica locale sono state effettuate in assetto bidimensionale tramite il codice QUAD4M (Hudson et al., 1994) ed hanno previsto alcune analisi preliminari effettuate per testare la sensitività dei modelli numerici ad alcuni parametri di input nel contesto sismostratigrafico proprio del centro abitato di Fivizzano. In particolare, al fine di comprendere e validare i risultati delle analisi di risposta sismica locale, sono state effettuate le seguenti analisi preliminari:

- confronto tra input sismico "naturale" con un input sismico "artificiale", definito sulla base dei parametri sismologici del sito: *i risultati in termini di spettri di risposta elastici al 5% di smorzamento su alcune verticali significative sono risultati similari*;
- verifica della migliore quota di imposizione dell'input sismico tra due ipotesi di lavoro: la prima definita "superficiale", prevedeva di porre l'input sismico in corrispondenza del tetto della prima formazione rocciosa con $V_s \geq 800$ m/s incontrata al di sotto delle coperture alluvionali-detritiche; la seconda ipotesi, definita "profonda", è consistita nella



imposizione dell'input sismico in corrispondenza del tetto della formazione del Macigno (MAC). Essa per quasi l'intero territorio di Fivizzano soggiace alle formazioni argillitiche e calcaree dell'Unità alloctona di Canetolo: è stato scelto l'approccio profondo, poiché in grado di restituire risultati più cautelativi;

- al fine di valutare l'influenza delle curve dinamiche sul risultato delle analisi numeriche (in considerazione del fatto che tali dati non sono stati acquisiti direttamente dai terreni oggetto di studio), le analisi monodimensionali sono state eseguite utilizzando il tool del software STRATA che consente di tener conto della variabilità delle proprietà dei terreni (in luogo dell'uso del solo valore medio) mediante approccio MonteCarlo: tale indagine ha dimostrato che, per l'area in esame, l'effetto sui risultati dell'incertezza associata alla caratterizzazione non lineare è trascurabile;
- Confronto tra analisi 2D effettuate con softwares differenti: al netto di alcune differenze di implementazione del modello e di discretizzazione della mesh, il confronto ha mostrato risultati globalmente confrontabili con quelli di Quad4M, che per circa il 70% dei casi conduce a valori dei fattori di amplificazione comparabili.

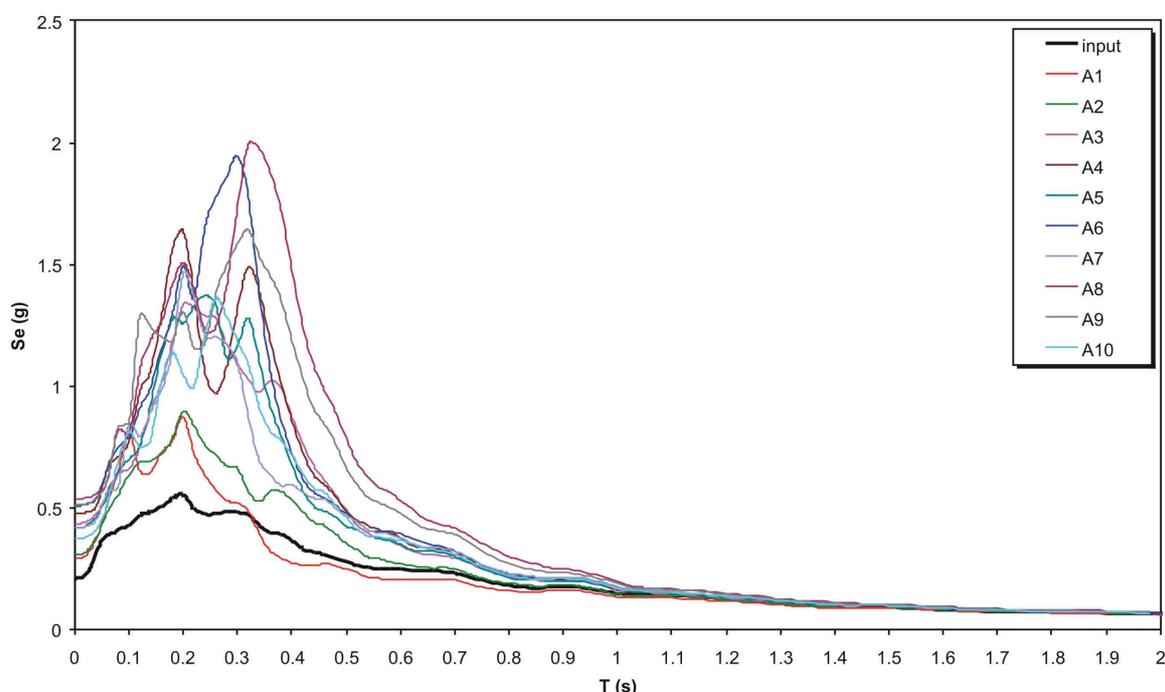


Fig.5 – Spettri medi di risposta elastici di output ($t_r=475$ anni) relativi a 10 punti rappresentativi ubicati alla superficie della sezione A-A'. Con linea nera è illustrato lo spettro medio di input (relativo ad accelerogrammi naturali)

Dall'osservazione dei risultati delle analisi di risposta sismica locale è possibile osservare come nell'area sia presente un'amplificazione locale (globalmente molto elevata) per periodi (T) inferiori a 0.8s, assumendo particolare rilievo per $T < 0.5s$. Tale condizione, estendibile a tutta l'area del centro abitato di Fivizzano, è stata utile per la scelta dei fattori di amplificazione più rappresentativi ed è ben correlabile con le caratteristiche sismostratigrafiche dei terreni investigati e con i risultati delle misure passive a stazione singola (H/V) realizzate per la definizione del modello geologico-tecnico dell'area (D'Intinosante et al. 2014).

Le figure 5 e 6 illustrano, a titolo d'esempio, i risultati in termini rispettivamente di spettri di risposta elastici e fattori di amplificazione per i nodi di output più significativi della sezione A-A¹.

Per quanto riguarda i fattori di amplificazione rappresentati in figura 6, FH è il valore del fattore di amplificazione calcolato come intensità di Housner (Housner, 1959), FH_a è un fattore simile a quello proposto da Housner ma calcolato sullo spettro di pseudo-accelerazione (PSA)



anziché sullo spettro di pseudo-velocità; FA ed FV sono i fattori proposti al cap. 2.5.3.3.2 degli ICMS 2008.

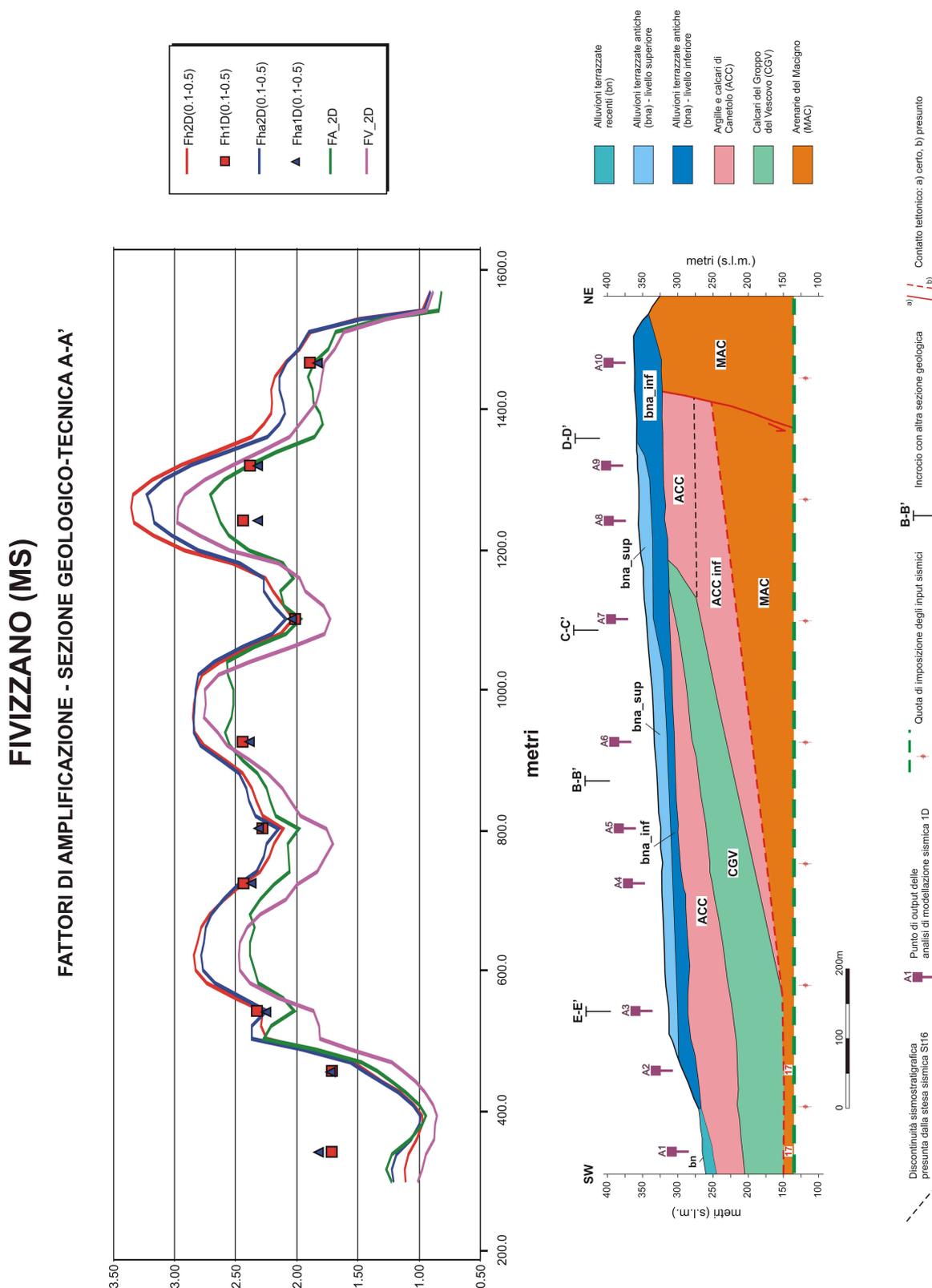


Fig. 6 – Risultati in termini di Fattori di amplificazione per la sezione A-A'



Dall'osservazione dell'andamento dei fattori illustrati è possibile trarre le seguenti conclusioni:

1. L'amplificazione locale nell'area fivizzanese si dimostra da elevata a molto elevata ad esclusione delle aree (di estensione limitata) in cui il substrato sismico è affiorante o dove le coperture sismiche di natura alluvionale o detritica sono esigue;
2. FH ed FHa derivanti dalle analisi 2D mostrano un andamento simile con massimi di amplificazione posti in corrispondenza del terrazzo costituito da depositi alluvionali antichi (bna) e dei depositi di riporto su cui è ubicata l'area ospedaliera (sezione C-C¹), dove i fattori di amplificazione eccedono il valore di 2.5 con picchi fino a 3.5;
3. Il fattore FA, ad esclusione di alcune limitate verticali di output si mostra in buon accordo con i fattori precedentemente indicati;
4. Il fattore FV concorda bene con gli altri fattori nelle aree di picco dell'amplificazione, ma sottostima sensibilmente l'amplificazione nei rimanenti settori della sezione;
5. Le analisi 1D forniscono fattori di amplificazione inferiori a quelli delle analisi 2D pur cogliendo la variazione dell'amplificazione lungo la sezione e quindi la differenziazione quantitativa tra le varie zone. Le maggiori sottostime si hanno dove i fenomeni di amplificazione 2D legati alla morfologia superficiale e sepolta sono particolarmente pronunciati (D'Intinosante et al. 2015b).

A seguito della realizzazione delle analisi di Risposta Sismica Locale è stato possibile definire il livello di amplificazione sismica locale in corrispondenza dei nodi di output e, quindi, in maniera pressoché continua lungo le 5 sezioni geologico-tecniche analizzate.

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 dell'operatore, è stato effettuato mediante il supporto combinato della cartografia geologico-technica e della cartografia MOPS.

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 numeriche effettuate, con il relativo valore del fattore di amplificazione;
2. individuazione delle condizioni locali alla base di ogni valore di FHa0105 desunto. Per condizioni locali si intende l'insieme delle caratteristiche stratigrafiche, delle proprietà geotecniche/geofisiche dei terreni, delle caratteristiche morfologiche superficiali e sepolte;
3. identificazione sulle cartografie tematiche esistenti (in particolare geologico-tecniche e MOPS) di analoghe condizioni locali per aree non coperte da analisi di risposta sismica locale. Se in tali aree sono presenti indagini sismiche attive e/o passive, nel processo di estrapolazione si è tenuto conto dei risultati di tali indagini;
4. raggruppamento di situazioni "locali" ed amplificative similari mediante la discretizzazione dell'area in classi distinte con differenti intervalli di FHa0105;
5. rappresentazione della cartografia prodotta mediante software operante in ambiente GIS, sulla base di quanto indicato dalle specifiche tecniche nazionali.

In figura 7 è illustrata la carta di microzonazione sismica di terzo livello (MS3) per il centro abitato di Fivizzano (D'Intinosante et al. 2015b). Dall'osservazione della carta di MS3 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 pari a 3.7 (ad esempio la zona L) in corrispondenza del terrazzo alluvionale su cui poggia quasi interamente il centro abitato di Fivizzano.

Infatti, all'amplificazione derivante da cause stratigrafiche (ovvero risonanza 1D di strati soffici poggianti su orizzonti più rigidi come confermato dai valori elevati di FHa ottenuti anche dalle analisi di RSL in assetto monodimensionale) si aggiunge una sensibile aliquota attribuibile a cause di natura 2D, che in minima parte dovrebbero dipendere dalle geometrie sepolte ed in misura maggiore da effetti di natura topografica.

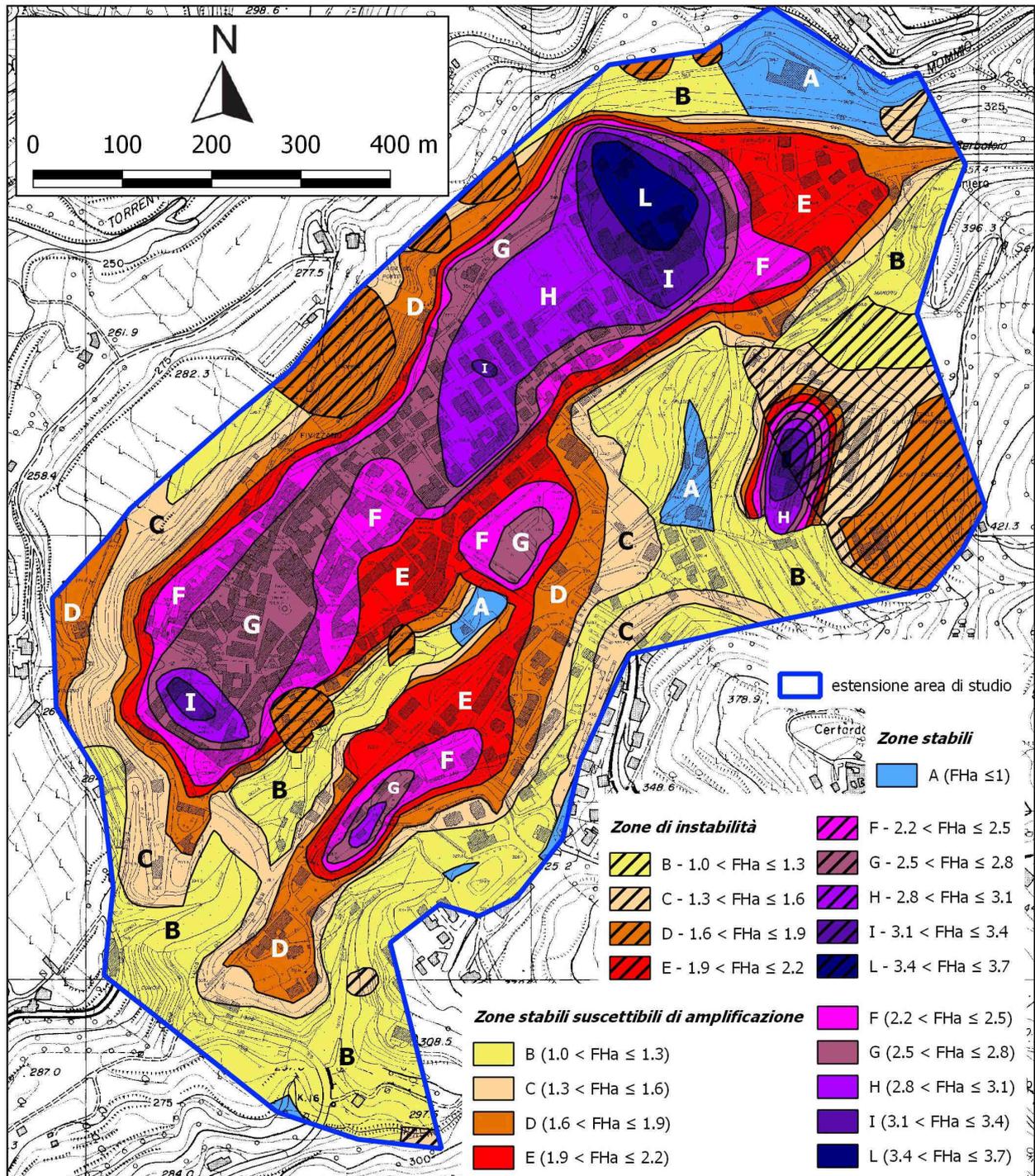


Fig. 7 – La carta di microzonazione sismica di terzo livello per il centro abitato di Fivizzano

Le aree interessate da fenomeni gravitativi attivi e quiescenti sono state studiate, allo stato attuale, solo in termini di amplificazione locale, poichè, a causa dell'assenza di una mirata caratterizzazione geotecnica progressiva, si è preferito rimandare a prossimi sviluppi dello studio la loro valutazione in termini di stabilità in condizioni statiche e dinamiche.

Pertanto, come è possibile vedere nella carta di Microzonazione Sismica di terzo livello, i fenomeni di instabilità non sono stati valutati né come Zone di Suscettibilità (ZS) né come Zone di Rispetto (ZR), ma come Zone di Attenzione (ZA) in previsione di futuri e doverosi approfondimenti (D'Intinosante et al. 2015b).



4. Possibili contributi per la pianificazione e la progettazione edilizia

Gli studi di microzonazione sismica trovano la loro diretta applicazione nel campo della pianificazione urbanistica, fornendo gli elementi necessari alla determinazione della pericolosità del territorio sotto il profilo sismico.

La possibilità di compiere studi di terzo livello (i quali doverosamente richiedono, rispetto ad uno studio di primo livello, un'approfondita conoscenza dell'area ed un elevato approfondimento) permette di quantificare e meglio perimetrare le aree ad omogenea pericolosità sismica.

Inoltre, gli studi di MS3 consentono di poter fornire importanti indicazioni per la successiva fase di progettazione edilizia, guidando le modalità di determinazione dell'azione sismica di progetto.

In riferimento a quest'ultimo aspetto, è possibile ipotizzare, regolamentandola, la possibilità di utilizzo diretto dei risultati della microzonazione sismica di terzo livello per la progettazione di opere ordinarie.

La realizzazione di studi di microzonazione sismica di terzo livello prevede, infatti, per la stima delle amplificazioni locali la realizzazione di adeguate analisi di risposta sismica locale. Il prodotto di output per tali analisi è solitamente costituito anche da spettri di risposta elastici (di cui un esempio è fornito in figura 5).

In aree, come quella di Fivizzano, quindi, in cui la MS3 restituisce microzone stabili con amplificazione con limitata estensione areale 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 strumenti utili a rappresentare in quel determinato ambito areale l'azione sismica di progetto.

La proposta verte, quindi, sulla definizione di una procedura finalizzata alla definizione di spettri di risposta elastici, direttamente derivanti dagli studi di microzonazione sismica, da utilizzare nelle fasi progettuali successive a quella pianificatoria.

Effettuate le analisi di risposta sismica locale (tipicamente per un $T_r=475$ anni) è possibile, realizzata la carta di microzonazione sismica di terzo livello, pervenire alla definizione di spettri "caratteristici", prevedendo i seguenti step:

- 1) raggruppare per ogni microzona individuata (caratterizzata da un valore omogeneo del Fattore di amplificazione scelto) tutti gli spettri di risposta elastici di output ricadenti in essa, ricavandone lo spettro medio (fig.8);
- 2) operare la regolarizzazione dello spettro medio. Questa operazione permette di definire sia uno spettro di forma similare a quelli semplificati di normativa sia, di conseguenza, i suoi parametri dipendenti (S , T_b e T_c), mentre i parametri indipendenti sono fissati, come noto, dalla localizzazione del sito e dalle scelte progettuali alla base funzione della progettazione. La regolarizzazione dello spettro può essere effettuata secondo le procedure illustrate negli ICMS 2008 e meglio specificate da Pergalani e Compagnoni (2013). Lo spettro così regolarizzato è visibile in verde nell'esempio di figura 9, dove è messo a confronto con gli spettri semplificati di normativa (relativi alle categorie di sottosuolo B ed E) più attinenti alle condizioni sismostratigrafiche della microzona individuata nell'esempio.

Questo spettro si riferisce ad un periodo di ritorno di 475 anni e, pertanto, può essere paragonato allo spettro semplificato di normativa relativo all'azione sismica per lo Stato Limite di Salvaguardia della Vita (SLV) per un edificio "ordinario" (Vita nominale $V_N = 50$ 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 e sismo-compatibili per periodi di ritorno propri dello Stato Limite di Esercizio (di solito Stato limite di Danno, SLD), che nel caso specifico corrispondono ad un $T_r=50$ anni. Operando con la medesima procedura precedentemente illustrata, sarà possibile ricavare spettri caratteristici normalizzati utilizzabili per rappresentare l'azione sismica allo SLE.

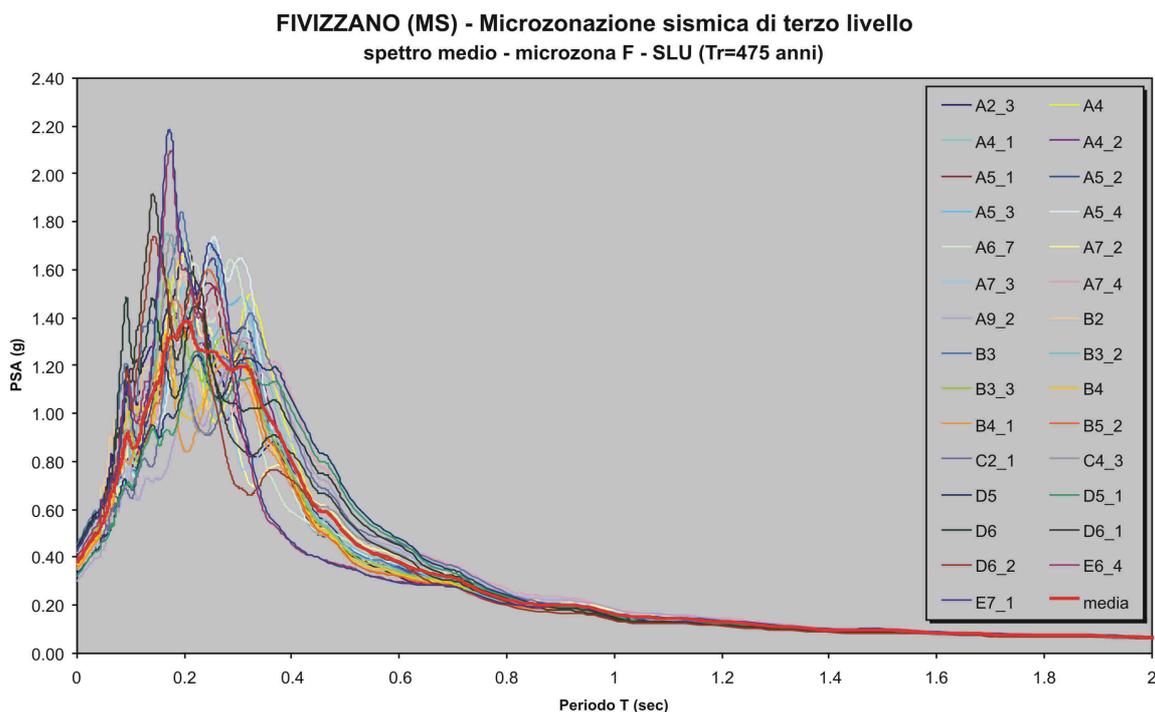


Fig. 8 – Spettro medio (curva rossa) relativo alla microzona F della MS3 di Fivizzano per un periodo di ritorno di 475 anni

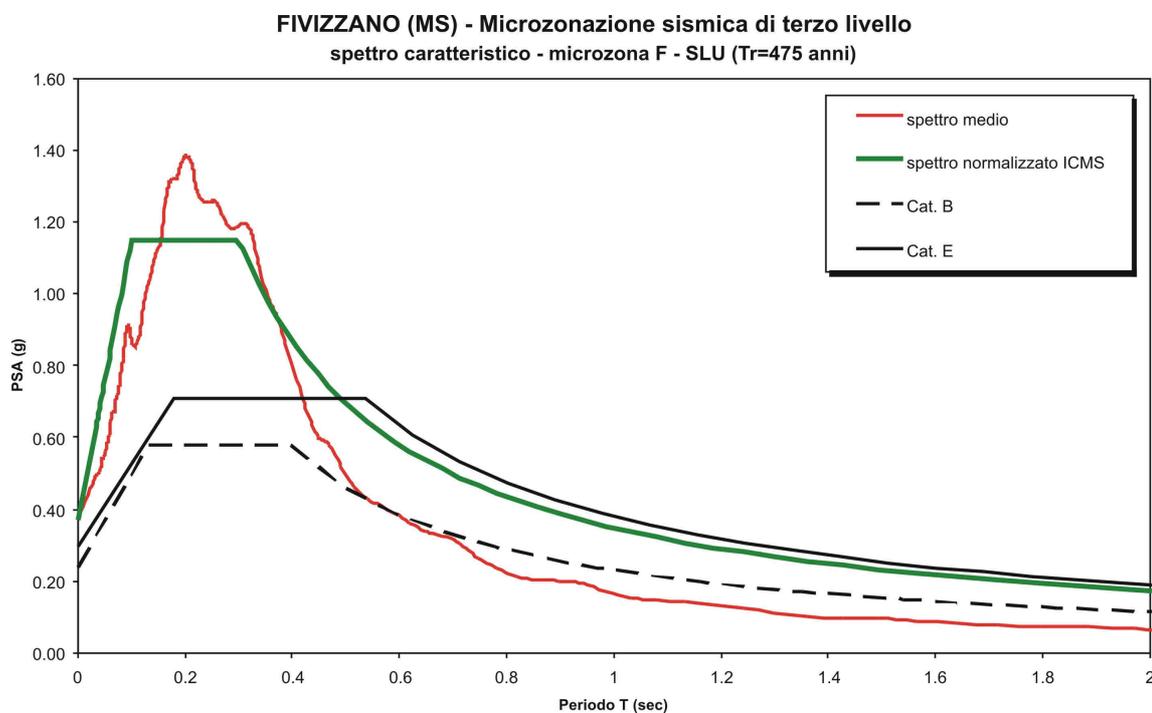


Fig. 9 – Spettro caratteristico normalizzato, relativo alla microzona F per un periodo di ritorno pari a 475 anni a confronto con gli spettri semplificati di normativa più attinenti alle caratteristiche sismostratigrafiche della microzona in oggetto



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 elevata pericolosità sismica sarà necessario rendere obbligatoria la stima dell'azione sismica di progetto mediante adeguate analisi di risposta sismica locale;
- l'utilizzo degli spettri caratteristici dovrà 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 (quota di imposta delle fondazioni);
- l'uso degli spettri caratteristici 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;
- se i valori dei periodi di ritorno di progetto corrispondono a quelli utilizzati per le analisi di livello 3 sarà possibile utilizzare direttamente gli spettri di risposta caratteristici. In alternativa, per piccole variazioni del periodo di ritorno (ad esempio il passaggio dall'azione sismica propria dello SLD a quella per SLO), assumendo quindi lo stesso grado di non linearità nel comportamento dei terreni, si potranno utilizzare i parametri dipendenti combinandoli con i parametri indipendenti propri della scelta progettuale.

Si ritiene opportuno, quindi, 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 di terzo livello ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto.

Nell'esempio riportato nelle precedenti figure (ma il concetto è estendibile a tutta l'area del centro abitato di Fivizzano) il confronto tra spettri caratteristici e relativi spettri semplificati di normativa porta alla considerazione che l'approccio semplificato comporti delle sottostime, talora anche elevate.

Solo in questa maniera sarà possibile incentivare la realizzazione di studi di microzonazione sismica di terzo livello da parte delle Amministrazioni comunali in fase di revisione degli strumenti urbanistici, soprattutto quando la MS3 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.

Ringraziamenti

Lo studio di microzonazione sismica di terzo livello del centro abitato di Fivizzano è stato eseguito da un Gruppo di Lavoro coordinato dalla Regione Toscana e dal Dipartimento della Protezione Civile Nazionale, così costituito:

M. Baglione, V. D'Intinosante, F. Vannini, L. Nistri, P. Fabbroni - *Settore Sismica, Regione Toscana*;

G. D'Amato Avanzi, A. Puccinelli - *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*;

M. Moscatelli, M. Simionato, D. Pileggi, A. Avalle - *CNR IGAG di Roma*

A. Pagliaroli, G. Vessia - *INGEO - Università di Chieti*



S. Piscitelli, A. Perrone, J. Bellanova, G. Calamita – CNR IMAA di Potenza
G. Ginesi – Ufficio Cave e Ambiente del Comune di Fivizzano

Bibliografia

- Baglione M., D'Intinosante V. & Fabbroni P. (2015). *La conoscenza del rischio sismico attraverso gli studi di microzonazione sismica della regione Toscana: risultati, strumenti e metodologie proposte per la pianificazione territoriale*. Atti del XXXIV Convegno Nazionale GNGTS, Trieste.
- Castenetto S., Brammerini F., Naso G. & Imprescia P. (2014). *Programma di Microzonazione Sismica in Italia: considerazioni preliminari sui dati raccolti*. Atti del XXXIII Convegno Nazionale GNGTS, Bologna.
- Cherubini C., D'Intinosante V., Ferrini M., Lai C., Lo Presti D.C., Rainone M.L., Signanini P. & Vessia G. (2004). *Problems associated with the assessment of local site effects through a multidisciplinary integrated study: the case of Fivizzano's town (Italy)*. Fifth International Conference on Case Histories in Geotechnical Engineering, New York, April 13-17 2004.
- Cherubini C., D'Intinosante V., Ferrini M., Rainone M.L., Signanini P. & Vessia G. (2006). *Approccio multidisciplinare per la valutazione della risposta sismica locale nell'ambito del progetto VEL: il caso dei comuni di Fivizzano e Liciana Nardi (Lunigiana)*. Giornale di Geologia Applicata 4 (2006) 169-174.
- Circolare NTC (2009). Circolare n. 617 del 2 febbraio 2009 del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti approvata dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici "Istruzioni per l'applicazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni di cui al D.M. 14 gennaio 2008".
- Commissione tecnica MS3907 (2015b). *Commissione Tecnica per la microzonazione sismica, Linee guida per la gestione del territorio in aree interessate da Faglie Attive e Capaci (FAC)*. Dipartimento delle Protezione Civile Nazionale, Roma. [http://www.protezionecivile.gov.it/jcms/it/commissione_opcm_3907.wp]
- Commissione tecnica per la Microzonazione sismica (2016). *Standard di rappresentazione e archiviazione informatica. Versione 4.0b*. Dipartimento delle Protezione Civile Nazionale, Roma, ottobre 2015.
- D'Intinosante V. (2003). *Valutazione della risposta sismica locale in un sito della Lunigiana (Toscana Settentrionale). Analisi dei risultati preliminari*. Atti del I Congresso dell'Associazione Italiana di Geologia Applicata ed Ambientale. Chieti, 19-20 Febbraio. pp. 343-353.
- 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.
- D'Intinosante V. & GdL Fivizzano (2015a). *Analisi di risposta sismica locale del centro abitato di Fivizzano (MS)*. Atti del XXXIV Convegno Nazionale GNGTS, Trieste.
- D'Intinosante V. & GdL Fivizzano (2015b). *La microzonazione sismica nel centro abitato di Fivizzano (MS)*. Atti del XXXIV Convegno Nazionale GNGTS, Trieste.
- 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.
- Gruppo di lavoro MS (2008). *Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica*. Conferenza delle regioni e delle Province autonome. Dipartimento della protezione civile, Roma. 3 vol. e Dvd.
- 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, I.M. & Beikae, M. (1994). *QUAD4M: a computer program to evaluate the seismic response of soil structures using finite element procedures and incorporating a compliant base*. Center for Geotechnical Modeling, Department of Civil and Environmental Engineering, University of California Davis, Davis California.
- NTC08 (2008). *Norme Tecniche per le Costruzioni*. Decreto 14 gennaio 2008 del Ministero delle Infrastrutture. Supplemento Ordinario della G.U. n. 29 del 4.02.2008.
- Pergalani F. & Compagnoni M. (2013) - *Microzonazione sismica di Umbertide: analisi numerica*. Atti del XXXII Convegno Nazionale GNGTS, Trieste.
- Rainone M.L., Ferrini M., Signanini P. & D'Intinosante V. (2004). *Evaluation of local amplification in the seismic microzonation: comparison between punctual multidisciplinary integrated studies and macroseismic methods in Fivizzano's area (Toscana, Italy)*. *Geotechnical and Geological Engineering*, Volume 22, Issue 2, 2004, Pages 227 - 244.
- Rota M., Zuccolo E., Taverna L., Corigliano M., Lai C.G. & Penna A. (2012). *Mesozonation of the Italian territory for the definition of real spectrum-compatible accelerograms*. *Bull Earthquake Eng* (2012) 10:1357-1375. DOI 10.1007/s10518-012-9369-4.
- Zuccolo E., Corigliano M., Taverna L. & Lai C.G. (2011). *Meso-zonazione di un territorio per la definizione di accelerogrammi reali spettro-compatibili*. XIV Convegno ANIDIS "L'Ingegneria Sismica in Italia". Bari, 18 - 22 settembre 2011.



Zuccolo E., Rota M., Lai C.G., Taverna L., Corigliano M. & Penna A. (2012). *Definition of Spectrum-Compatible Natural Records for the Italian Territory*. 15th World Conference on Earthquake Engineering, Lisbon, 24-28 september 2012.

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.