



PROTEZIONE CIVILE
Presidenza del Consiglio dei Ministri
Dipartimento della Protezione Civile



REGIONE
TOSCANA



CONFERENZA DELLE REGIONI E
DELLE PROVINCE AUTONOME

Attuazione dell'articolo 11 della legge 24 giugno 2009, n. 77

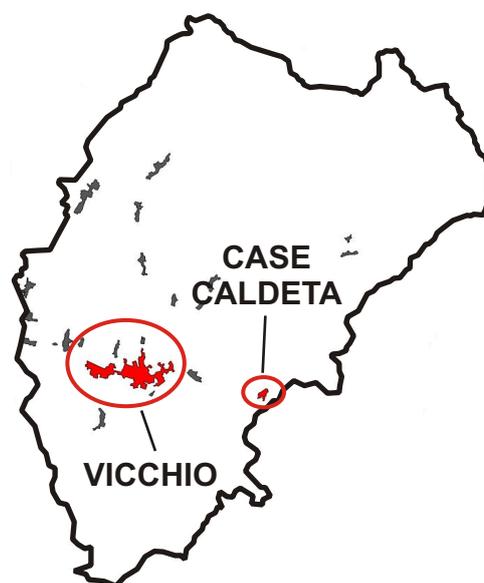
MICROZONAZIONE SISMICA di terzo livello

Relazione illustrativa

Regione Toscana

Comune di Vicchio (FI)

Aree di Vicchio capoluogo e Case Caldetta



Regione Toscana	Soggetto realizzatore	Data
	<p>M. Baglione (*), V. D'Intinosante (*) e D. Giomarelli (*)</p> <p>* Settore Sismica, Ufficio Prevenzione Sismica - Regione Toscana</p> <p><i>Studio di Ms1 a cura dello Studio Studio di Geologia del Dott. Geol. Alberto Tomei di Prato;</i></p> <p><i>Analisi di risposta sismica locale a cura del DICEA dell'Università di Firenze - Gruppo di Lavoro: Prof. Ing. Giovanni Vannucchi (Responsabile), Prof. Ing. Claudia Madiari, Dott. Ing. Johann Facciorusso, Dott. Ing. Elisa Gargini)</i></p>	Aprile 2018



1. Introduzione.....	Pag. 1
2. Definizione della pericolosità di base e degli eventi di riferimento...	Pag. 2
3. Le analisi di Risposta Sismica Locale.....	Pag. 6
4. L'implementazione e l'aggiornamento dello studio di microzonazione sismica.....	Pag. 11
4.1 <i>Le modifiche alla cartografia MOPS</i>	Pag. 11
4.2 <i>La carta di MS3</i>	Pag. 12
5. Indicazioni dei risultati della MS3 per la pianificazione e la progettazione.....	Pag. 17
Bibliografia.....	Pag. 24

1. Introduzione

Il presente report illustra le modalità operative ed i risultati acquisiti nell'ambito dello studio di Microzonazione sismica di terzo livello (di seguito MS3), realizzato nel territorio comunale di Vicchio (FI) per le aree del capoluogo e di Case Caldeta.

L'area di Vicchio si è già dotata nel corso del 2015 di uno studio di Microzonazione sismica di primo livello (di seguito MS1), finanziato nell'ambito dell'O.D.C.D.P.C n.52/13 ed approvato nel marzo 2015. Lo studio di MS1 è stato eseguito, sotto il coordinamento del Settore Sismica della Regione Toscana, dallo Studio di Geologia del Dott. Geol. Alberto Tomei di Prato nel rispetto delle specifiche nazionali di rappresentazione ed archiviazione dati al periodo vigenti (versione 3.0).

Parallelamente, nell'ambito di un Accordo di Collaborazione Scientifica tra Regione Toscana ed Università di Firenze, approvato con Decreto di G.R.T. n.4996/2011 sono state eseguite analisi di risposta sismica locale (di seguito RSL) in campo 1D e 2D nelle aree del capoluogo e Case Caldeta, a cura del Gruppo di lavoro del Dipartimento di Ingegneria Civile ed Ambientale coordinato dal Prof. Vannucchi. Tali analisi hanno avuto la finalità di quantificare l'amplificazione sismica locale, sulla base di un modello geologico-tecnico dell'area, definito principalmente sulla base degli studi e delle indagini eseguite nell'ambito del Programma VEL della Regione Toscana, implementate dalle indagini geofisiche e geotecniche finanziate mediante il cofinanziamento statale previsto dalla suindicata Ordinanza Nazionale.

Sulla base del modello geologico e sismico preliminare (cartografia di MS1) e delle analisi di RSL è stato possibile implementare lo studio dal Livello 1 (qualitativo) al Livello 3 (quantitativo), pervenendo alla stesura di una carta di microzonazione sismica di terzo livello (MS3) per le suindicate località e, parallelamente, ad una modifica della cartografia di MS1, al fine di superare alcune piccole incongruenze rilevate nello studio di MS1 del marzo 2015.



Fig.2.1 – Classificazione sismica dell'area del Mugello; in rosso è evidenziato il territorio comunale di Vicchio



2. Definizione della pericolosità di base e degli eventi di riferimento

L'area del Mugello è caratterizzata da una sismicità medio-elevata e si posiziona tra le zone a maggior pericolosità sismica della Toscana. Infatti, i comuni afferenti al bacino del Mugello (Fig. 2.1), compreso il territorio di Vicchio, sono classificati in zona sismica 2 (Del. GRT n.421/2014).

Del resto il comune di Vicchio è stato tra i primi comuni classificati in zona sismica 2, ovvero a partire dal 1927, in virtù anche degli enormi danni rilevati a seguito del forte terremoto del 29 giugno 1919, il cui epicentro è ubicato proprio nel territorio comunale di Vicchio.

L'attività sismica di questa zona (Fig.2.2 e Tab.2.1) è imputabile alle deformazioni che si sviluppano all'interno e all'esterno del sistema oroclinale sollecitato dal regime compressivo parallelo alla catena che ha agito nella parte settentrionale del cuneo Romagna-Marche-Umbria (Mantovani et al., 2012).

In figura 2.3 è rappresentata la Mappa di Pericolosità Sismica (O.P.C.M. 3519/2006) relativa al territorio di Vicchio. La Mappa è inerente la distribuzione dei valori stimati di accelerazione (a_g) su bedrock sismico in condizioni di topografia pianeggiante per un periodo di ritorno di 475 anni e relativi al valore mediano (50mo percentile). La mappa illustra, per il territorio in esame, valori di accelerazione sismica (normalizzata rispetto all'accelerazione di gravità g) pressoché costanti e relativi ad un range compatibile con l'iscrizione del comune in zona sismica 2.

Inoltre, nell'area del Mugello sono presenti reti di monitoraggio dello scuotimento sismico (sismometrico ed accelerometrico) e dei parametri ad esso connessi per le quali la Regione Toscana ha provveduto nel corso degli ultimi decenni alla realizzazione e/o al cofinanziamento mediante la stipula di convenzioni ed Accordi di collaborazione scientifica. Maggiori informazioni sull'argomento sono reperibili al link regionale:

<http://www.regione.toscana.it/speciali/rischio-sismico>

Tab. 2.1 – Lista dei terremoti con $I_{max} \geq 7$ avvenuti dopo il 1000 nella zona contornata in figura 2.2. Ad essi vanno aggiunti gli eventi sismici che hanno interessato storicamente l'area appenninica emiliano-romagnola, prossima al comune di Firenzuola. In grassetto i terremoti con $I_{max} \geq 8/9$ o $M \geq 5.5$. M_w = Magnitudo momento riportata nel catalogo CPTI11 (Rovida et alii, 2011). I_0 e I_{max} sono rispettivamente l'intensità epicentrale e quella massima osservata (riportate entrambe quando non coincidenti). T indica l'intervallo di tempo trascorso rispetto al terremoto precedente. Da Mantovani et al., 2012

Anno	Mese	Giorno	Zona epicentrale	Latitudine (°N)	Longitudine (°E)	Magnitudo M_w	Intensità I_0 (I_{max})	T (anni)
1542	6	13	Mugello	44.01	11.39	5.9	9	
1597	8	3	Mugello	43.99	11.43	5.2	7.5	55
1611	9	8	Scarperia	44.01	11.36	5.1	7 (7.5)	14
1762	4	15	Mugello	44	11.51	5.1	7	151
1843	10	25	Mugello	44.01	11.26	5.1	6.5 (7)	82
1864	12	11	Mugello	44.04	11.28	5.1	7	21
1919	6	29	Mugello	43.96	11.48	6.3	10	55
1929	7	18	Mugello	43.99	11.51	5.0	6.5 (7)	10
1931	9	5	Mugello	44.06	11.37	4.8	6 (7)	2
1939	2	11	Marradi	44	11.43	5.0	7	7
1960	10	29	Mugello	44	11.39	5.0	7	22

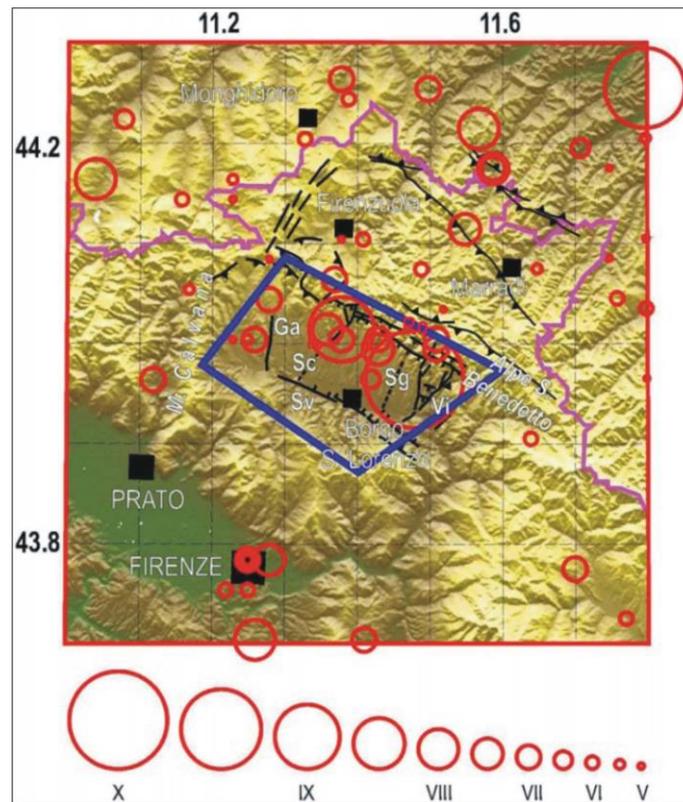


Fig.2.2 – Sismicità storica dell’area del Mugello. I cerchi rossi indicano i terremoti avvenuti dopo il 1000. I principali elementi tettonici, riportati anche sullo schema geologico (Fig.1.3.4), sono in nero. Si può notare che le scosse storiche principali di questa zona hanno interessato segmenti diversi delle faglie presenti: Ga=Galliano, Sc=Scarperia, Sg=Sagginale, Sv=Sieve, Vi= Vicchio. Da Mantovani et al., 2012

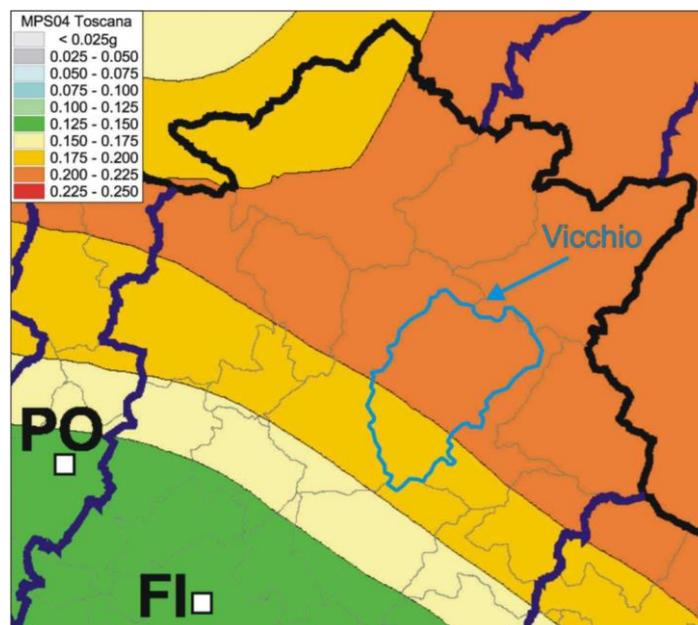


Fig.2.3 – Mappa di Pericolosità Sismica relativa all’area del Mugello realizzata dall’INGV nel 2004 (Allegato 1B dell’O.P.C.M. 3519/2006)

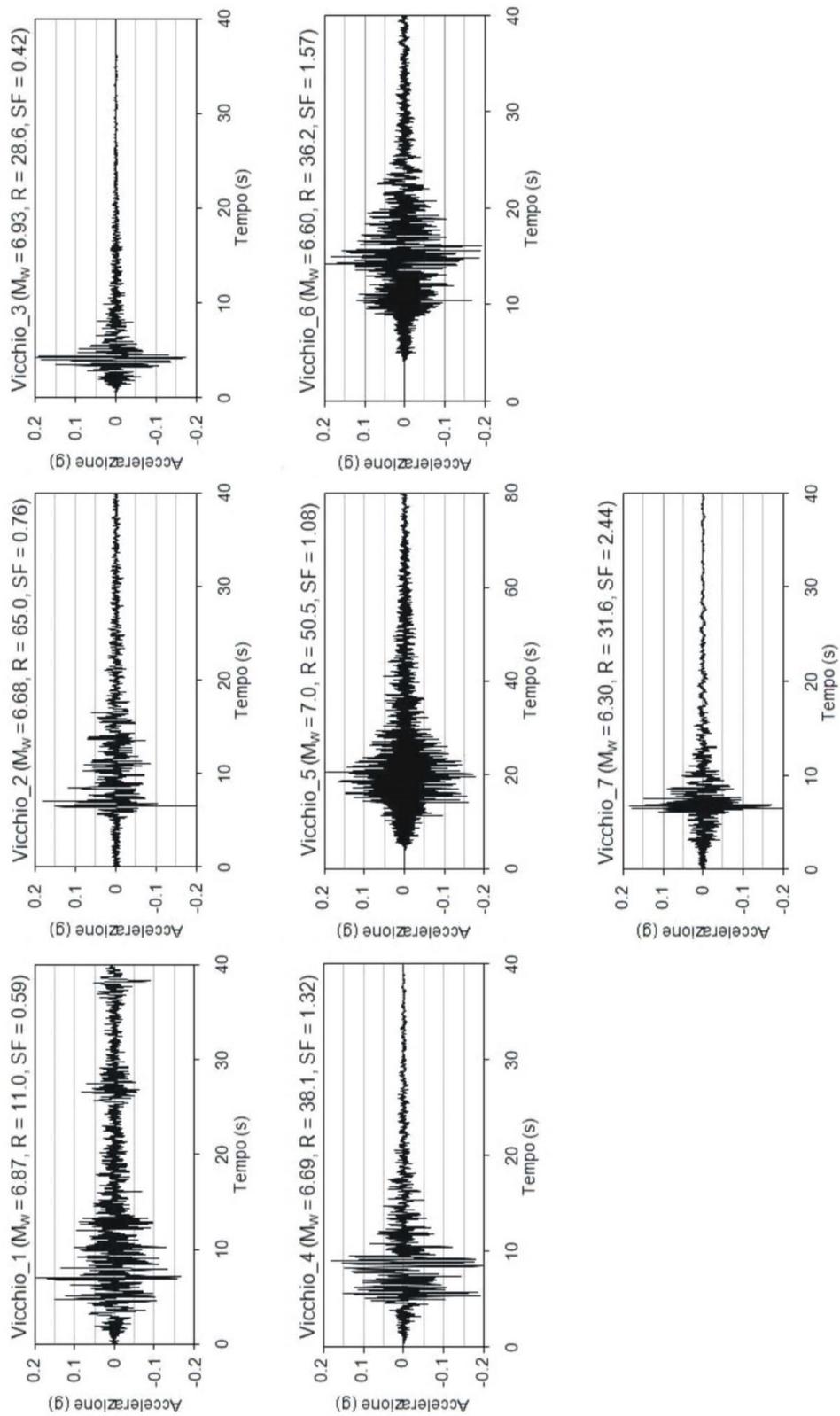


Fig. 2.4 – Accelerogrammi spettro-compatibili individuati per il territorio di Vicchio mediante software SCALCONA 2.0 (All.1)



La scelta di realizzare per il centro abitato di Vicchio un'analisi parametrica finalizzata alla redazione di una cartografia di microzonazione sismica di livello 3, impone la preliminare definizione di un input sismico, costituito da un set di accelerogrammi naturali sismocompatibili con le caratteristiche tettoniche dell'area e spettrocompatibili con quanto prescritto dalle vigenti NTC 2008.

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, finalizzata alla "Definizione di input sismici sismocompatibili e spettro-compatibili per i comuni della regione Toscana".

A tal proposito è stato sviluppato un codice di calcolo di semplice utilizzo che fornisce, in funzione del sito e del periodo di ritorno considerati, l'input sismico compatibile con le NTC08 sia in termini spettrali che di accelerogrammi spettro-compatibili. Il codice, scritto in Fortran90, è chiamato SCALCONA (SCALing of COmpatible Natural Accelerograms), ed in particolare, per tali studi (ultimati dal DICEA dell'Università di Firenze nel maggio 2014) è stata utilizzata la versione di SCALCONA al periodo disponibile (versione 2.0).

Si è optato per accelerogrammi naturali selezionati da banche dati accelerometriche "strong-motion" accreditate. Essi sono da preferire, secondo la normativa e la letteratura internazionale più avanzata per le analisi geotecniche e di risposta sismica locale, a fronte degli accelerogrammi artificiali.

Ai fini della selezione degli accelerogrammi è stata effettuata una mesozonazione del territorio che ha consentito di identificare "aree" omogenee dal punto di vista degli spettri di risposta prescritti dalle NTC08. Per ciascun gruppo di spettri di risposta e ciascun periodo di ritorno è stato quindi definito uno spettro di risposta di riferimento, utilizzato per la selezione degli accelerogrammi (Zuccolo et al., 2011; Rota et al., 2012; Zuccolo et al., 2012; Zuccolo et al., 2014).

Tab. 2.2 – Informazioni sugli Accelerogrammi spettro-compatibili selezionati mediante software SCALCONA 2.0 (All.1)

<i>Input sismico</i>	<i>ID registrazione</i>	<i>Fonte</i>	<i>Magnitudo Mw (-)</i>	<i>Distanza epicentrale R (Km)</i>	<i>Scaling factor SF (%)</i>
Vicchio_1	000182xa	ESMD	6.87	11.00	0.59
Vicchio_2	000200ya	ESMD	6.68	65.00	0.76
Vicchio_3	0765y	NGA	6.93	28.64	0.42
Vicchio_4	1091x	NGA	6.69	38.07	1.32
Vicchio_5	IWT0100305261824	K-NET	7.00	50.50	1.08
Vicchio_6	SAG0010503201053	K-NET	6.60	36.18	1.57
Vicchio_7	20090406_013239ITDPC_CLN__WEC	ITACA	6.30	31.60	2.44

SCALCONA utilizza e scala opportunamente i risultati della selezione degli accelerogrammi, consentendo di restituire, per il sito e periodo di ritorno di interesse, un gruppo di 7 accelerogrammi che soddisfano i requisiti di spettro-compatibilità prescritti dalle NTC08 e dalla Circolare NTC (2009). Gli accelerogrammi possono essere selezionati per ciascun punto interno ai territori di studio e differenti periodi di ritorno.

Le analisi di risposta sismica locale realizzate per la microzonazione sismica di livello 3 oggetto del presente lavoro fanno riferimento ad un input sismico relativo ad un periodo di ritorno di 475 anni.

La tabella 2.2 riporta le informazioni relative ai predetti accelerogrammi. Essi si riferiscono a registrazioni di eventi naturali e relative a stazioni poste sulla superficie terrestre, in corrispondenza di situazioni sismostratigrafiche inerenti la CAT.A ai sensi dell'Eurocodice 8 e delle NTC2008.

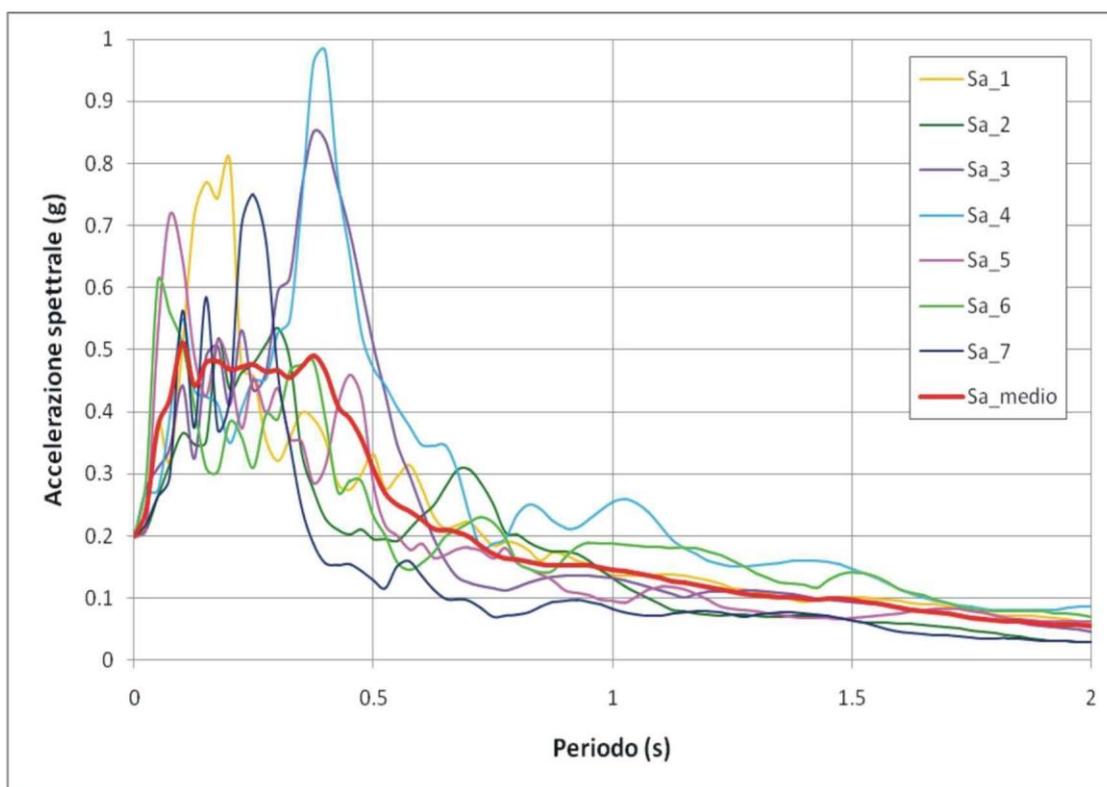


Fig.2.5 – Rappresentazione in termini di spettro di risposta elastico (damping factor=5%) dei 7 accelerogrammi utilizzati come input sismico per le analisi di risposta sismica locale nel centro abitato di Vicchio (All.1)

In figura 2.4 è possibile visualizzare le storie temporali dei 7 accelerogrammi utilizzati nelle analisi di risposta sismica locale come input sismico. La figura 2.5, invece, illustra gli spettri di risposta elastici dei medesimi accelerogrammi.

Per approfondimenti sugli input sismici utilizzati è possibile consultare la relazione tecnicoscienza sulle analisi di RSL eseguite dal DICEA dell'Università di Firenze (Allegato 1).

3. Le analisi di Risposta Sismica Locale

Nell'ambito dell'Accordo di Collaborazione Scientifica tra Regione Toscana ed Università di Firenze (Decreto di G.R.T. n.4996/2011), sono state condotte nel territorio comunale di Vicchio



analisi di RSL in assetto mono e bidimensionale, finalizzate ad una quantificazione dell'amplificazione locale.

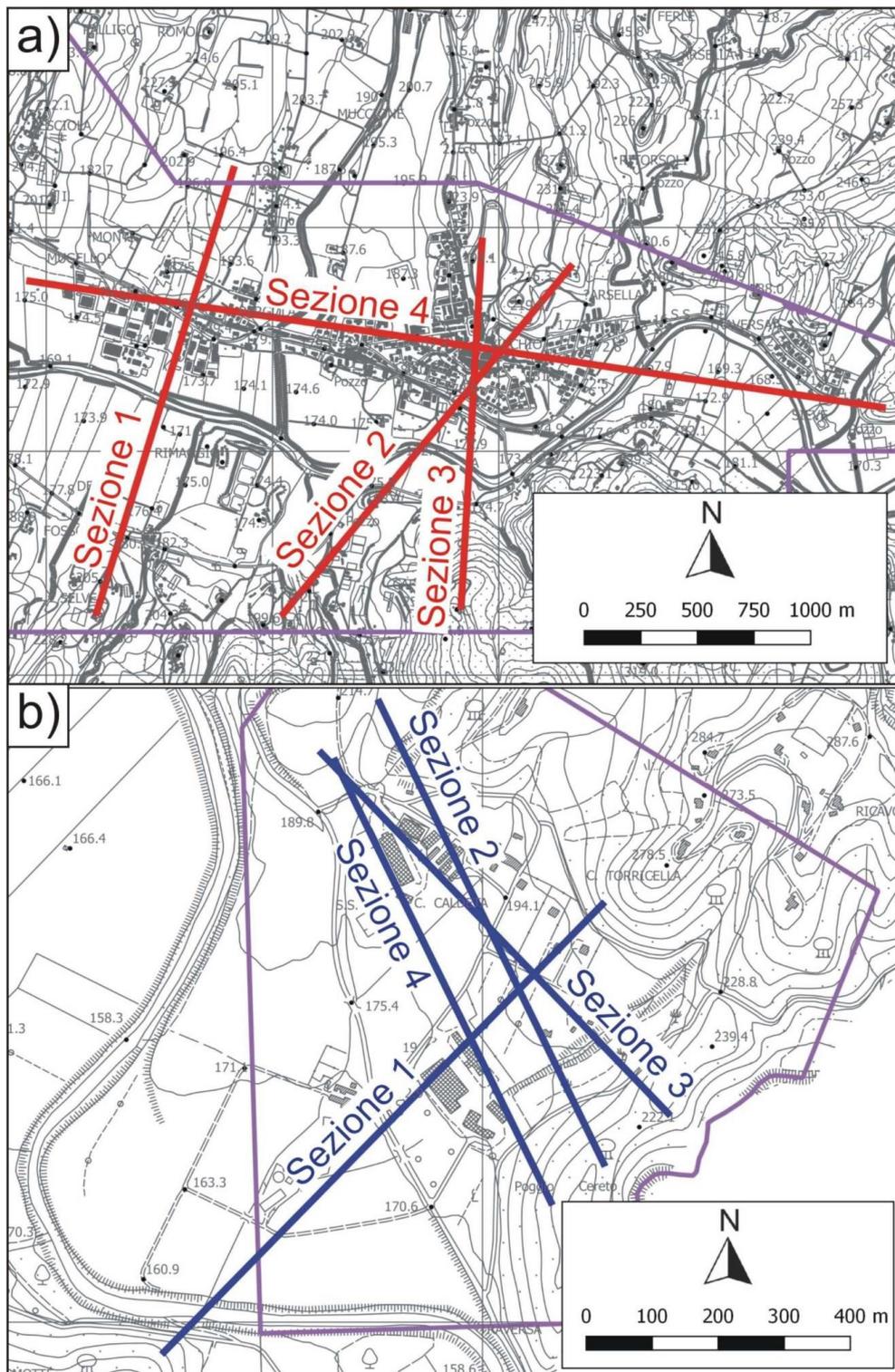


Fig.3.1 – Traccia delle sezioni geologico-tecniche utilizzate per l'esecuzione delle analisi di RSL per la località di Vicchio capoluogo (a) e di Case Caldetta (b)

Sono state scelte due aree di studio: l'area del capoluogo poiché la più importante sotto il profilo dell'esposizione a livello comunale e la frazione di Case Caldetta in virtù del fatto che, sulla base della ricostruzione del modello geologico-tecnico effettuata prevalentemente nell'ambito del Programma VEL (Valutazione degli Effetti Locali) della Regione Toscana (Ferrini et al., 2007), risultò la presenza di un assetto sismostratigrafico potenzialmente predisponente ad un'elevata amplificazione locale.

Le tracce delle sezioni (4 per ognuna delle 2 località) sono riportate in figura 3.1.

I codici di calcolo utilizzati per le analisi di RSL sono il QUAD4M (Hudson et al., 1994) che opera in campo bidimensionale e STRATA (Kottke and Rathje, 2008) che agisce in assetto monodimensionale ed utilizzato per la sezione 1 di Vicchio (in cui non sono state ravviate le condizioni sismostratigrafiche per operare in campo 2D) e come taratura e confronto per le rimanenti sezioni.

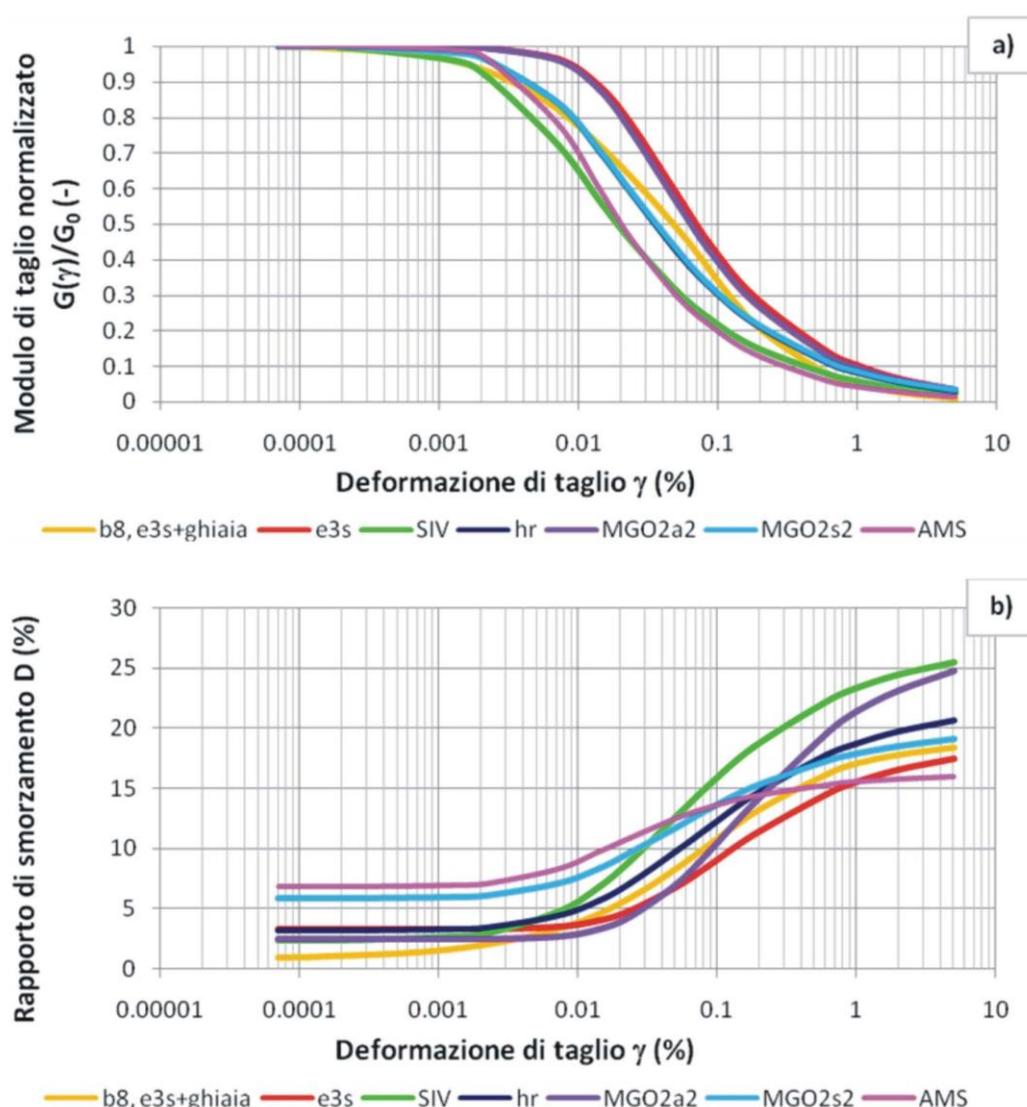


Fig.3.2 – Curve di decadimento della rigidezza (a) e di incremento del rapporto di smorzamento (b) con la deformazione di taglio ottenute per le unità litologiche presenti nell'area di Vicchio



In figura 3.2 è possibile osservare, a titolo d'esempio e rimandando per approfondimenti all'Allegato 1, il totale delle curve di decadimento del modulo di taglio normalizzato (G/G_0) e di incremento del rapporto di smorzamento $D(\gamma)$ utilizzate per simulare il comportamento non lineare dei terreni mediante legame costitutivo lineare equivalente.

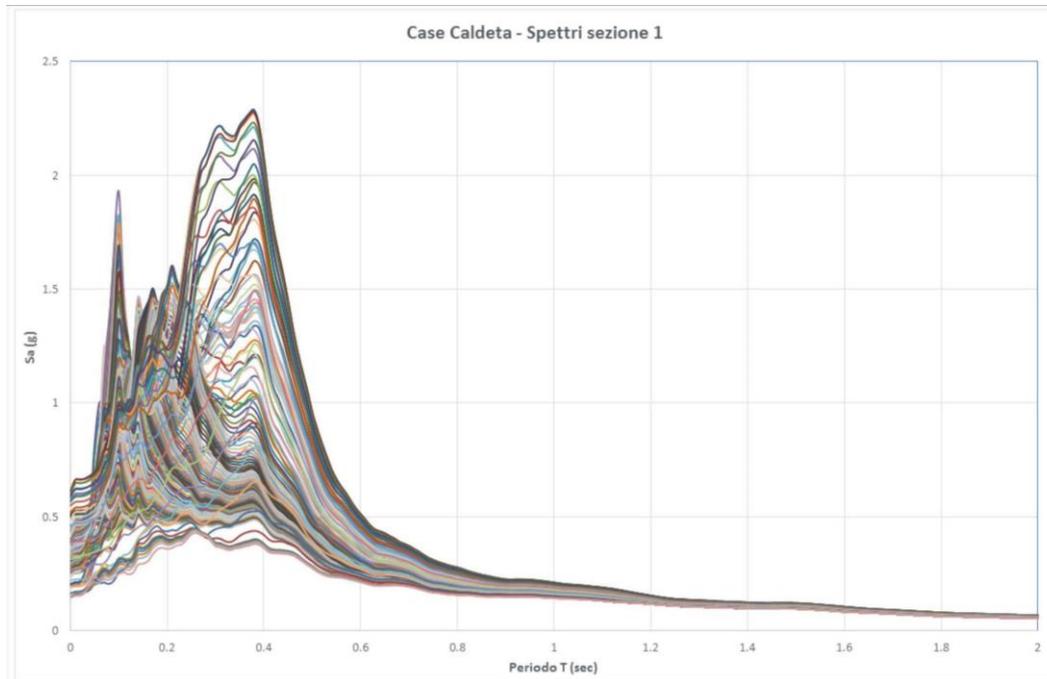


Fig.3.3 – Spettri di risposta elastici (Damping = 5%) relativi alla sezione 1 di Case Caldeta

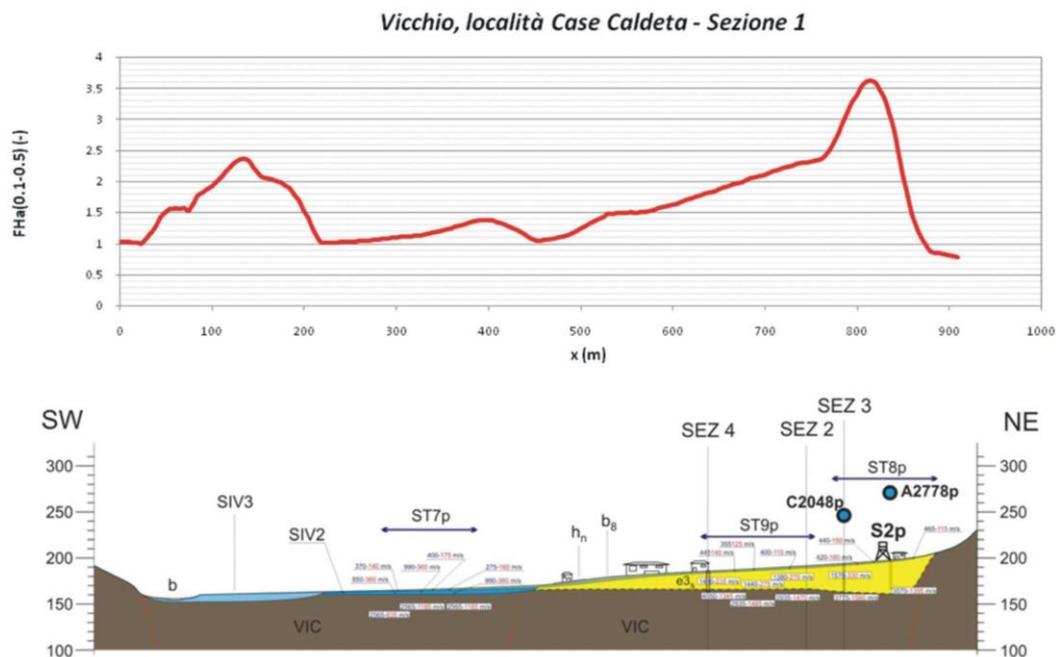


Fig.3.4 – Andamento del Fattore di amplificazione FA (0.1s-0.5s) per la sezione 1 di case Caldeta (gli spettri di risposta elastici sono illustrati in figura 3.2)



Esse sono state desunte principalmente dalla banca dati realizzata in ambito VEL sui medesimi terreni indagati o, al limite su terreni analoghi sotto il profilo fisico-meccanico a quelli indagati e campionati in ambito VEL nell'area del Mugello.

Lungo ognuna delle sezioni analizzate in assetto 2D è stato previsto un numero molto fitto di nodi di output, caratterizzati mediamente da una distanza reciproca di soli 5m circa.

In figura 3.3 sono riportati i 188 spettri di risposta elastici (Damping = 5%) relativi ai nodi di output della sezione 1 di case Caldeta, sulla base dei quali è stato possibile rappresentare in maniera pressoché continua i Fattori di Amplificazione sismica (in fig. 3.4 un esempio relativo alla distribuzione del fattore FA0105 nella medesima sezione indicata nella figura precedente).

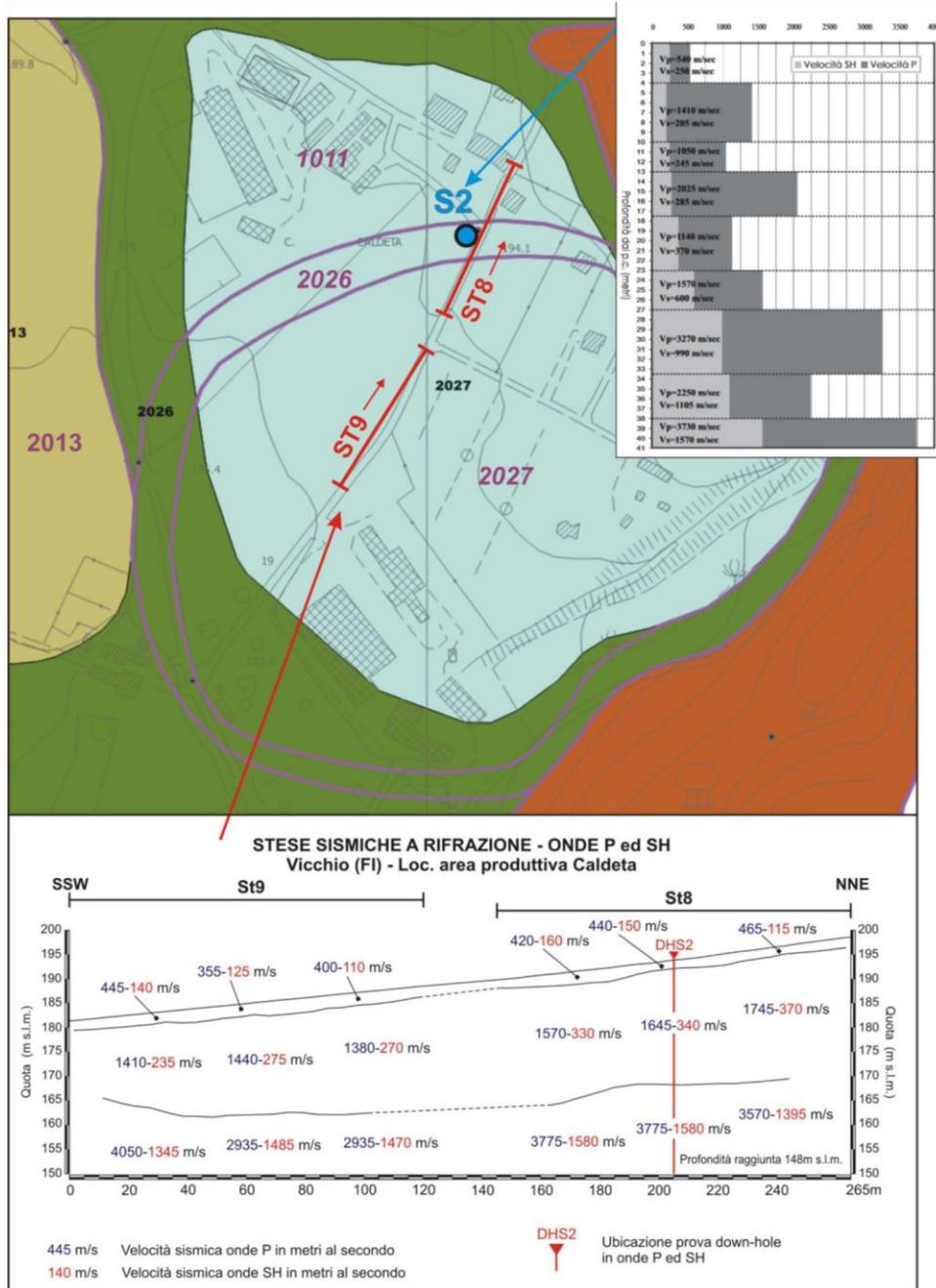


Fig.4.1 – Confronto tra le precedenti geometrie delle zone stabili suscettibili di amplificazione (linee ed etichette viola) e le nuove proposte nell'ambito del presente studio per l'area di Case Caldeta



4. L'implementazione e l'aggiornamento dello studio di microzonazione sismica

Come indicato in precedenza, l'implementazione dello studio di microzonazione sismica per il territorio comunale di Vicchio ha previsto la realizzazione di carte di microzonazione sismica di terzo livello per le aree del capoluogo e di Case Caldetta.

L'aggiornamento dello studio ha previsto, inoltre, la revisione (per le suindicate aree anche della cartografia delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (MOPS) ed il loro aggiornamento ai più recenti standard (versione 4.0), sia per quanto riguarda le zone stabili suscettibili di amplificazione sia per quanto concerne le zone instabili.

4.1 Le modifiche alla cartografia MOPS

La revisione dello studio di MS1 ha confermato sostanzialmente la buona qualità e completezza delle analisi effettuate nella zonazione qualitativa propria di una cartografia MOPS.

Tuttavia, per l'area di case Caldetta, dal controllo incrociato tra le caratteristiche sismostratigrafiche delle microzone individuate e dei risultati delle indagini geofisiche in foro e di superficie presenti nell'area, si è manifestata la necessità di modificare le geometrie di alcune microzone.

In figura 4.1, infatti, è possibile osservare il confronto tra le geometrie delle microzone stabili suscettibili di amplificazione proposte nel 2015 (indicate da linee ed etichette viola) e le nuove geometrie proposte nel presente studio.

Tali modifiche sono relative ad una nuova definizione della microzona 2027 (caratterizzata dalla presenza di coperture limoso-sabbiose con spessori variabili tra 10 e 30 metri al di sopra del substrato sismico), al fine di pervenire ad un completo accordo con le risultanze sia della prova down-hole S2 e delle stese sismiche a rifrazione St8 ed St9.

Di conseguenza, vengono variate le geometrie della microzona 2026 (in cui gli spessori delle coperture sono al massimo di 10m) e della zona stabile 1011.

Infine, sia per il sito di Case Caldetta, sia per l'area del capoluogo è stata rimossa la diffusa zona di attenzione ($Z_{A_{liq}}$) al rischio di liquefazione per le seguenti motivazioni:

1. Nella zona di fondovalle di Case Caldetta, poiché dalle prove geognostiche reperite per le aree in esame risultano terreni alluvionali caratterizzati dalla presenza di granulometrie prevalenti di tipo fine e, quindi, non predisponenti da un punto di vista granulometrico al fenomeno della liquefazione dinamica;
2. Nell'area del capoluogo di Vicchio a seguito di un'approfondita analisi effettuata congiuntamente dalla Regione Toscana e dal DICEA dell'Università di Firenze nell'ambito di uno specifico Accordo di Collaborazione Scientifica inerente l' "Analisi e studi finalizzati alla verifica della suscettibilità a liquefazione dei terreni nell'area del Mugello" approvata con Decreto Dirigenziale n. 5100 del 27/11/2013 e integrata con ulteriori elaborazioni effettuate nell'ambito della Tesi di Laurea Magistrale "Studio del Rischio di liquefazione con metodi semi-empirici e metodi dinamici semplificati: applicazione al territorio comunale di Vicchio (FI)" di Vincenzo Sortino.

In riferimento al secondo punto in elenco, la procedura di analisi si è basata preliminarmente su una ricerca storica (le aree di Cistio e Rabatta furono interessate in concomitanza del forte evento sismico del 1919 da fenomeni di liquefazione dinamica), basata sulla consultazione del



“Nuovo Catalogo Nazionale dei processi di liquefazione avvenuti in occasione dei terremoti storici in Italia” (Galli e Meloni, Il Quaternario 1993), affiancata successivamente da un’analisi qualitativa sulle caratteristiche granulometriche ed idrogeologiche a vasta scala. Successivamente, sono state eseguite verifiche di suscettibilità alla liquefazione con metodologie semplificate (secondo differenti metodologie conosciute in Letteratura) su un campione di 298 verticali tra sondaggi geognostici e prove penetrometriche statiche (con punta meccanica o elettrica), basandosi sulla scelta di parametri di input (valori di Magnitudo e PGA) estremamente conservativi.

Le uniche due aree della piana di Vicchio che hanno dimostrato un rischio non trascurabile sono le aree di Cistio (già indicata come zona di suscettibilità alla liquefazione ZS_{liq} nell’ambito dello studio di MS del 2015, a cui si rimanda per le relative analisi effettuate) e l’area di Arsella, in cui alcune verticali relative a prove CPT mostrano indici di liquefazione di poco superiori a 2, con valore dell’indice di rischio definito moderato (tab. 2.1).

Pertanto, le rimanenti aree di fondovalle, indicate nel precedente studio con zone di attenzione, diventano nell’ambito dell’aggiornamento in oggetto zone stabili suscettibili di amplificazione (in fig. 4.2 è illustrato un estratto della carta di MS3 dell’area del capoluogo di Vicchio).

Tab. 4.1 – Valori dell’Indice di Liquefazione e rischio collegato per alcune delle 298 verticali esaminate

	LPI_{dyn}	RISCHIO DI LIQUEFAZIONE
Arsella_CPT1_PRG_47	2,044	MODERATO
Arsella_CPT2_PRG_48	0,921	BASSO
Arsella_CPT3_PRG_49	2,006	MODERATO
Cistio_CPT1_2197	0,444	BASSO
Cistio_CPT1_PRG_23	0,936	BASSO
Cistio_CPT2_PRG_24	0,102	BASSO
Gracchia_CPT1_977	0,742	NULLO
LeonardoDaVinci_CPT1_1869	0,346	BASSO
(MATTAGNANO) Gracchia_CPT1_2112	0,115	BASSO
Mattagnano_CPT1_2849	0,437	BASSO
Mattagnano_CPT2_2849	0,535	BASSO
Mattagnano_CPT3_2849	0,708	BASSO
Mattagnano_CPT4_2849	0,150	BASSO
Mattagnano_CPT1_PRG_28	0,653	BASSO
Mattagnano_CPT2_PRG_29	1,363	BASSO
Mattagnano_CPT3_PRG_30	0,709	BASSO
Mattagnano_CPT4_PRG_31	0,259	BASSO
Mattagnano_CPT1_PRG_50	0,237	BASSO
Mattagnano_CPT1_PRG_51	0,147	BASSO
Mattei_CPT1_1_170	1,307	BASSO
Mattei_CPT2_3_170	0,105	BASSO
Mattei_CPT3_6_170	0,263	BASSO
Mattei_CPT7_9_170	1,269	BASSO
Merciaie_CPT1_2238	0,184	BASSO

4.2 La carta di MS3

Per quanto attiene agli aspetti propri dell’analisi di terzo livello, le aree di Cistio e Arsella diventano zone di suscettibilità alla liquefazione (ZS_{liq}) e caratterizzate (come previsto dai



vigenti Standard Nazionali) sia da un valore dell'Indice di Liquefazione (IL) sia da un valore dell'amplificazione locale (fig. 4.2).



Fig.4.2 – Le due aree di suscettibilità alla liquefazione: a sinistra l'area di Cistio ed a destra il sito di Arsella

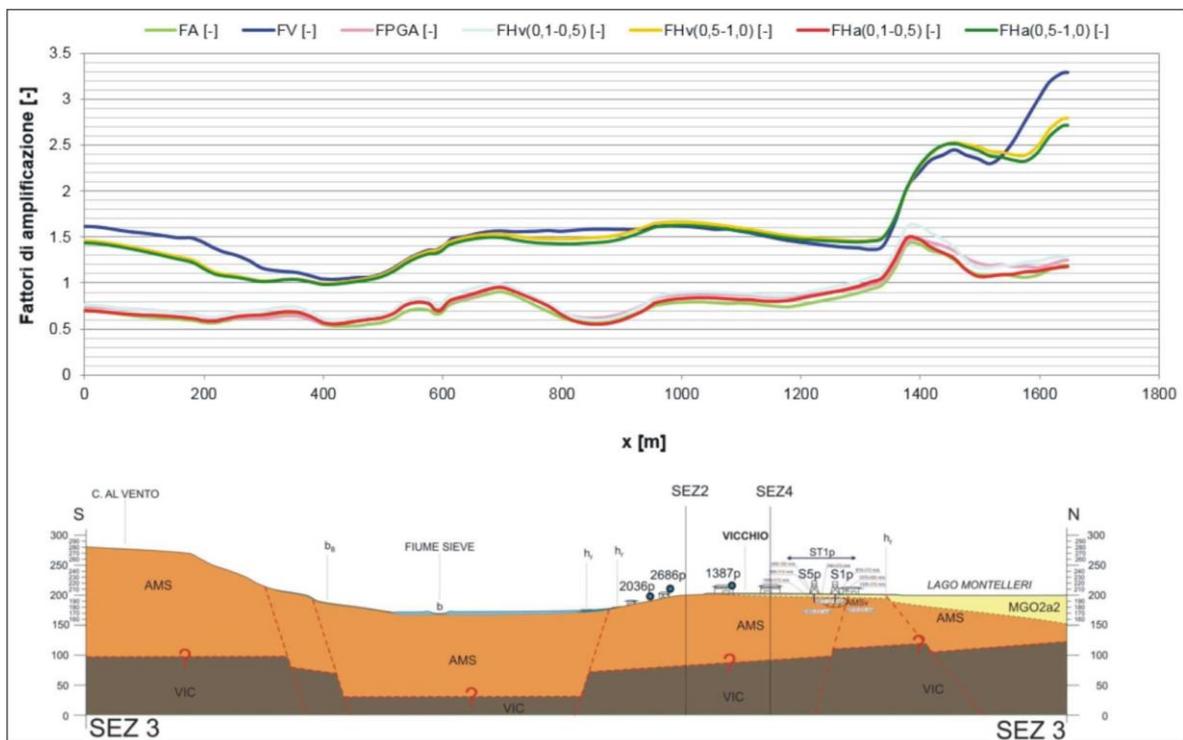


Fig.4.3 – Andamento dei differenti Fattori di Amplificazione calcolati per la sezione 3 di Vicchio

Per quanto attiene, invece, alle zone stabili e stabili suscettibili di amplificazione, lo studio di RSL ha valutato molteplici fattori di amplificazione previsti dagli Standard Nazionali (un esempio relativo alla sezione 3 di Vicchio è illustrato in fig. 4.3).

Ne risulta che, come verificato in precedenti studi di MS3 in Toscana settentrionale (D'Intinosante et al., 2015a, 2015b), i fattori di amplificazione insistenti su medesimi periodi spettrali mostrano un andamento similare. Inoltre, mentre nell'area di Case Caldetta, in virtù del peculiare assetto sismostratigrafico, i fattori basati su bassi periodi sono sempre più rappresentativi del livello di amplificazione locale, nell'area di Vicchio (soprattutto nel settore ovest dove gli spessori delle coperture diventano elevati) i fattori di amplificazione calcolati su alti periodi tendono ad essere più cautelativi.

Pertanto, si è deciso di rappresentare per le due località indagate una duplice carta di MS3 relativa sia al Fattore di amplificazione a basso periodo - FA (0.1s-0.5s) sia al Fattore di amplificazione ad alto periodo - FA (0.5s-1s).

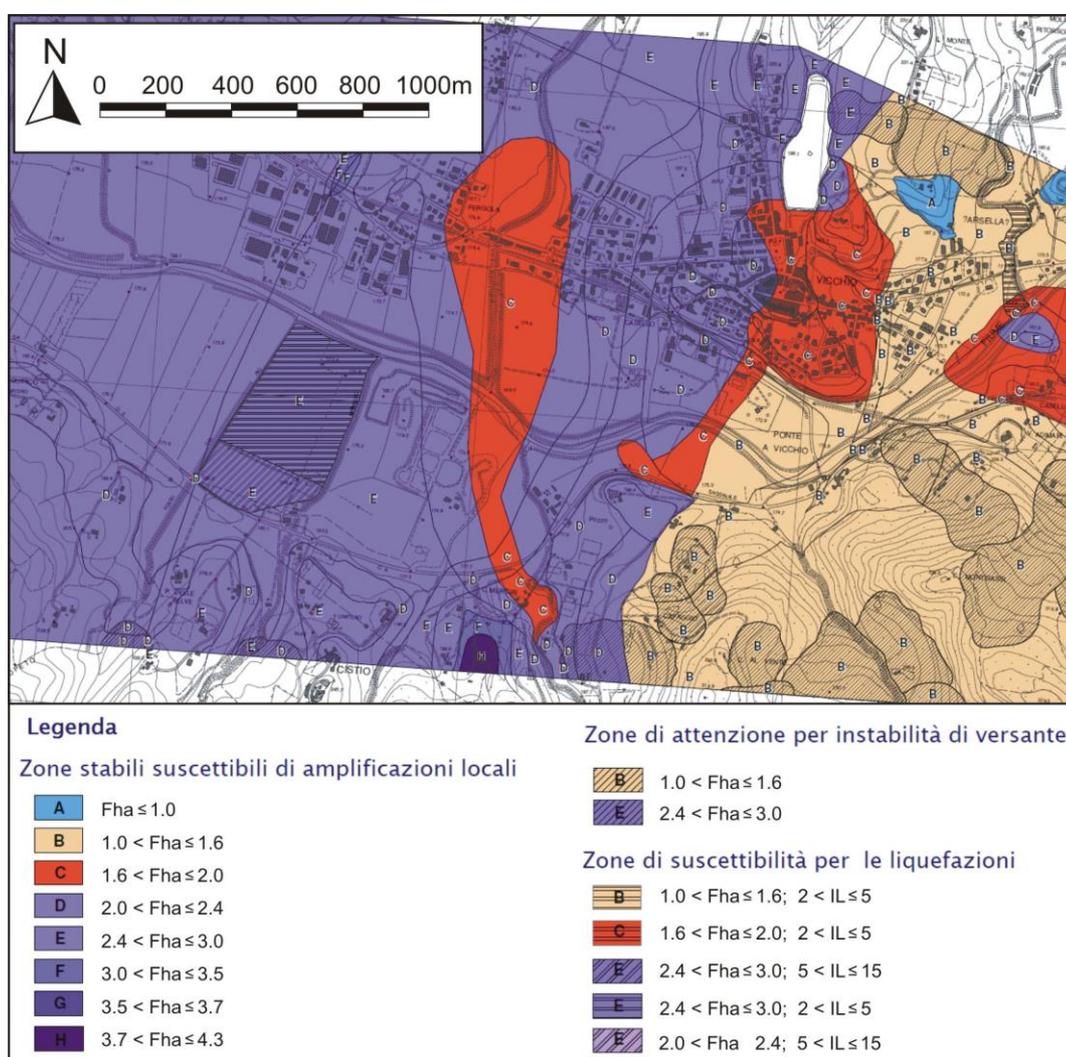


Fig.4.4 – Stralcio della carta di MS3 per l'area di Vicchio capoluogo

A tal proposito, i risultati in termini di FA, desunti dalle analisi 2D effettuate in corrispondenza delle sezioni geologico-tecniche rappresentative del modello di sottosuolo ed

opportunamente confrontate con le omologhe analisi in contesto monodimensionale, sono stati estesi arealmente mediante l'ausilio combinato della cartografia geologico-tecnica e della cartografia MOPS.

Il modello logico su cui si è basata l'estrapolazione areale dei dati di amplificazione, per entrambe le aree interessate dalla redazione di cartografie di microzonazione sismica di livello 3, è stato il seguente:

1. rappresentazione su mappa di tutti i punti di output delle modellazioni dinamiche effettuate, con il relativo valore di FA.
2. individuazione del modello geologico-tecnico alla base di ogni valore di FA desunto;
3. identificazione sulle cartografie tematiche esistenti (in particolare geologico-tecniche e MOPS) di analoghe condizioni geologico-tecniche su aree in cui non sono disponibili analisi di risposta sismica per assenza di dati di base;
4. raggruppamento di situazioni tipologiche ed amplificative simili mediante la discretizzazione dell'area in classi distinte da differenti intervalli di FA;
5. rappresentazione della cartografia prodotta mediante software operante in ambiente GIS.

La cartografia di microzonazione sismica di livello 3, meglio illustrata nei precedenti capitoli, deve rappresentare la base per la stesura della cartografia di pericolosità sismica di cui al regolamento regionale 53R/2011, la quale permetterà di individuare le condizioni di fattibilità sismica nell'ambito della revisione dello strumento urbanistico comunale.

Si ritiene che, a fini cautelativi ed in considerazione della differente risposta sismica locale tra le due aree indagate, la suindicata carta di pericolosità sismica debba essere estrapolata dalla carta del massimo Fattore di Amplificazione (tra i due computati), definito F_{max} .

Uno stralcio della carta di MS3 dell'area del capoluogo in termini di F_{max} è presentata in figura 4.4. La scelta del fattore FA, tra i molteplici disponibili ed analizzati (fig. 4.3), è coerente con le scelte effettuate (anche in territori comunali limitrofi) nell'ambito di precedenti studi di MS3 in Toscana.

Ognuna delle microzone individuate presenta, oltre che un valore simile in termini di fattore di amplificazione, anche un valore omogeneo del "tipo_z", ovvero delle caratteristiche stratigrafiche medie della microzona. Per le aree instabili, oltre ad una omogenea condizione geologica di base, viene indicato (in coerenza con i vigenti standard nazionali) anche il parametro relativo all'amplificazione sismica e, nel caso delle aree soggette a liquefazione dinamica non trascurabile, anche il valore dell'Indice di Liquefazione (IL).

Per ogni microzona, sia appartenente alle aree stabili, sia relativa alle aree instabili, sono stati calcolati gli spettri di risposta medi in termini di PGA e restituiti secondo le procedure indicate dagli standard nazionali. Gli spettri medi (illustrati in fig. 4.5 per l'area di case Caldetta ed in fig. 4.6 per la zona del capoluogo) sono stati calcolati mediando gli spettri di risposta relativi ai nodi di output contenuti dalla microzona in esame.

Come possibile osservare nelle suindicate figure, in virtù della già citata differenza del modello sismostratigrafico di base per le due aree in esame, gli spettri medi tendono ad avere aspetto differente.

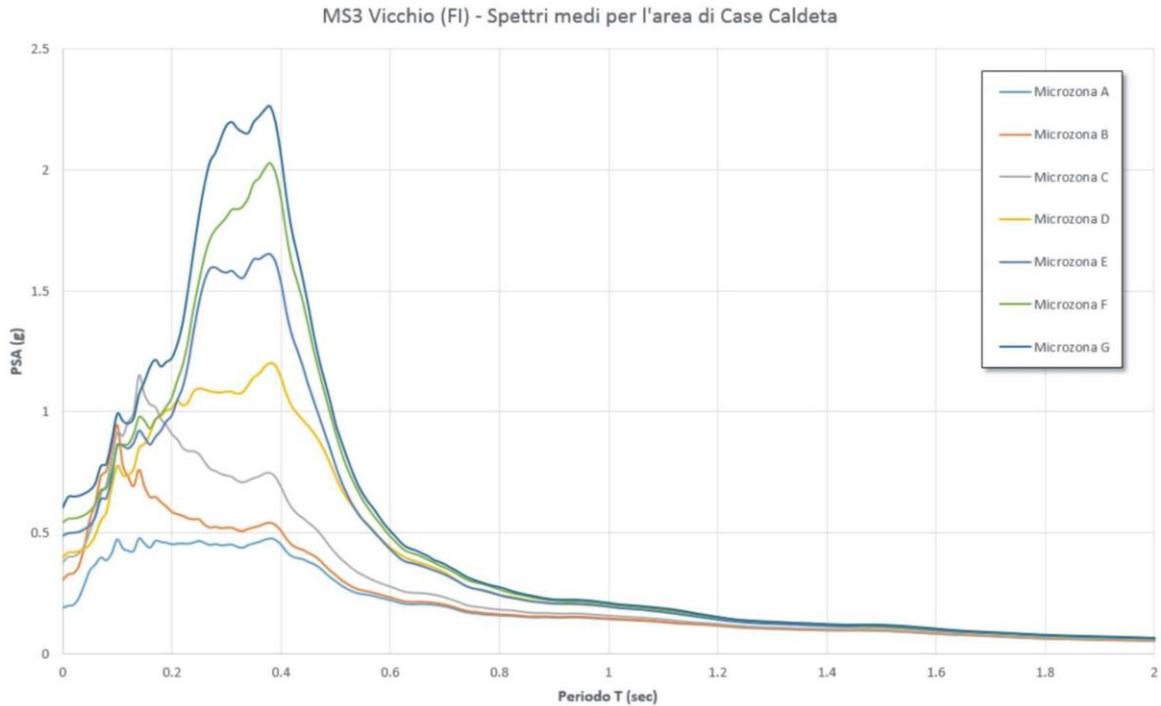


Fig. 4.5 – Spettri di risposta elastici in pseudoaccelerazione relativi alle 7 microzone stabili suscettibili di amplificazione locale per l'area di Case Caldeta

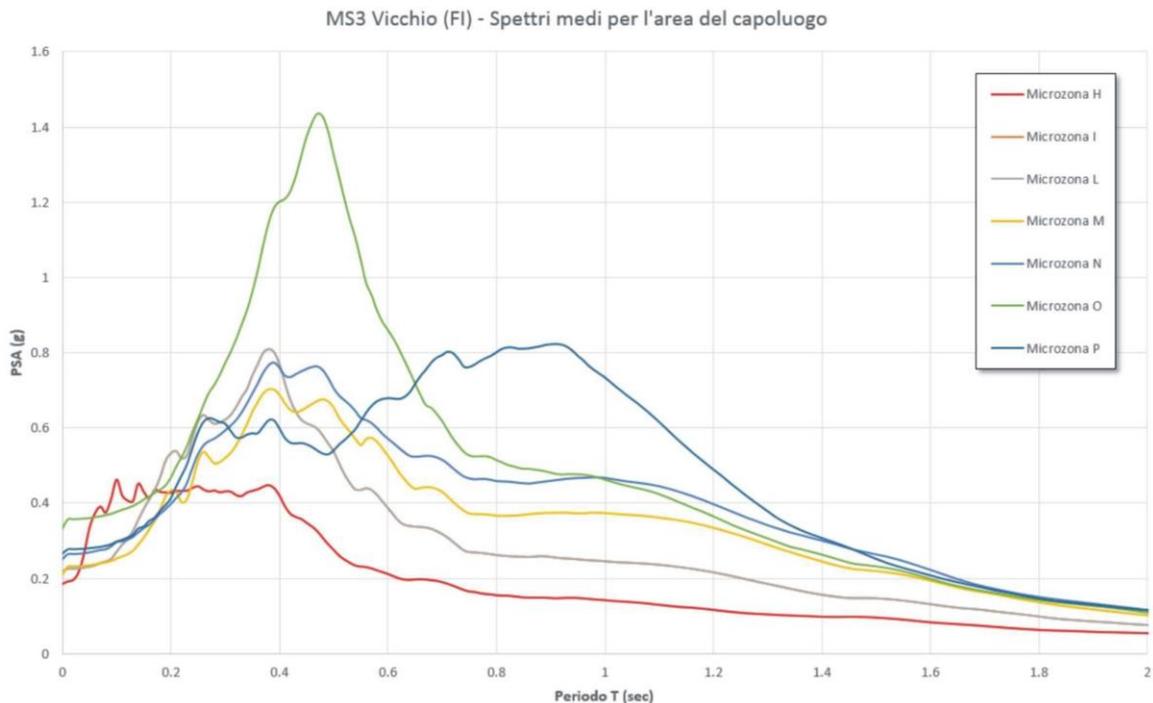


Fig. 4.6 – Spettri di risposta elastici in pseudoaccelerazione relativi alle 7 microzone stabili suscettibili di amplificazione locale per l'area di Vicchio capoluogo

Mentre nell'area di case Caldeta l'amplificazione (in media molto elevata) è piccata su bassi periodi e si esaurisce già entro 0.6-0.7 sec di periodo, nell'area di Vicchio, a fronte di valori di

accelerazione spettrale di picco generalmente più contenuti, si assiste ad una distribuzione non trascurabile dell'energia anche su periodi elevati.

Per questo motivo si è deciso di considerare in maniera distinta le microzone relative alle due località indagate, sebbene caratterizzate da valori omologhi del fattore di amplificazione.

5. Indicazioni dei risultati della MS3 per la pianificazione e la progettazione

In via preliminare, rimandando la scelta definitiva al professionista che verrà incaricato della revisione dello strumento urbanistico comunale, si consigliano i seguenti abbinamenti per l'individuazione delle classi di pericolosità sismica (di cui al regolamento regionale 53R/2011) limitatamente alle aree in cui è stata redatta la cartografia di microzonazione sismica di livello 3:

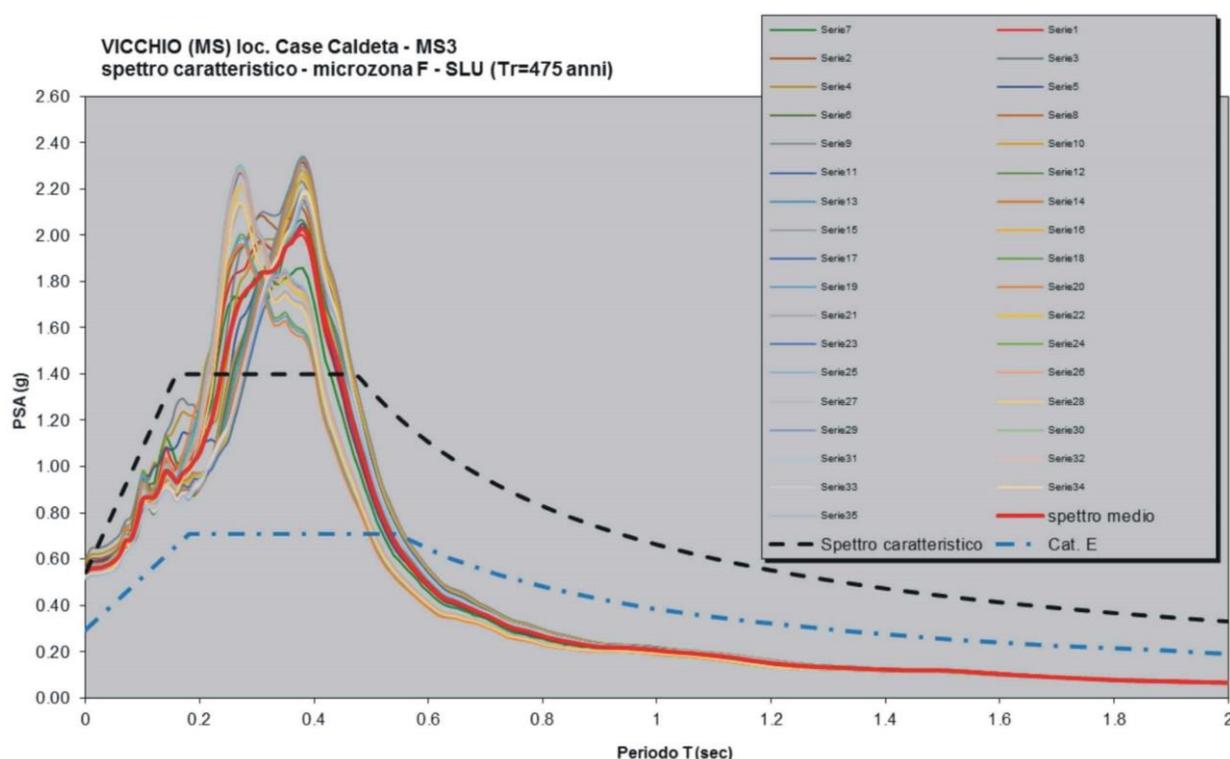


Fig. 5.1 – Spettro medio (curva rossa) relativo alla microzona F della MS3 di Vicchio per un periodo di ritorno di 475 anni. Con linea nera tratteggiata è visibile lo spettro caratteristico normalizzato secondo la procedura descritta nel testo, relativo alla microzona F per un periodo di ritorno pari a 475 anni a confronto con lo spettro semplificato di normativa (linea blu tratteggiata) più attinente alle caratteristiche sismostratigrafiche della microzona in oggetto.

ZONA A (FA = 1) = classe di pericolosità sismica S1 (affioramento di substrato sismico rigido);

ZONA B (FA = 1.5 – 1.6) = classe di pericolosità sismica S2 (zone stabili suscettibili di amplificazioni locali con basso contrasto);

ZONE C, D, E, F e G (con valori di FA > 1.6) = classe di pericolosità sismica S3 (zone stabili suscettibili di amplificazioni locali con elevato contrasto di impedenza sismica atteso tra copertura e substrato rigido entro alcune decine di metri);

Come già precedentemente indicato, i valori di FA si riferiscono al massimo valore, per ogni microzona, tra i due FA determinati dalle analisi di RSL.

Nell'area di Vicchio, sono presenti due aree di suscettibilità alla liquefazione dinamica dei terreni da inserire in classe di pericolosità S4.

Inoltre, sono presenti aree di frana attiva (da inserire in classe di pericolosità S4) o quiescente (da considerare in classe di pericolosità S3, anche in virtù dei valori di FA).

Nelle aree interessate dalla cartografia di livello 3 non si ritiene necessario nell'ambito del regolamento urbanistico un approfondimento in termini di nuove indagini se non limitatamente alle zone attualmente non ancora interessate dalla presenza di indagini geognostiche e dove il valore del fattore d'amplificazione (FA) e/o dei parametri di valutazione dell'instabilità è derivante da estrapolazione.

Infine, limitatamente alle zone indicate con classe di pericolosità S3 si ritiene obbligatorio inserire, nell'ambito del regolamento urbanistico, che la progettazione di edifici strategici e/o rilevanti ricadenti in classe d'indagine 3 e 4 (di cui al reg. regionale 36R/2009) sia effettuata mediante l'ausilio di analisi di risposta sismica locale di sito, adottando le condizioni più cautelative tra quelle ricavate dall'analisi di sito e quelle ottenute mediante la definizione delle categorie di sottosuolo, di cui alle vigenti NTC.

Per quanto riguarda, invece, gli edifici ordinari, è in corso, in ambito regionale toscano, una revisione delle norme relative agli strumenti geologici a supporto della pianificazione urbanistica. Tale revisione discende dalle novità introdotte nella recente L.R. 65/2014 che introduce all'art.104 alcuni elementi di novità nell'ambito della prevenzione e mitigazione del rischio, tra cui quello sismico.

La proposta di aggiornamento, limitatamente agli aspetti sismici, scaturisce da circa 4 anni di applicazione degli studi di MS di livello 1 in Toscana (ad oggi circa il 60% dei Comuni si sono già dotati di tali studi) e prevede, tra le varie innovazioni, la determinazione delle modalità di utilizzo degli studi di MS di livello 2 e 3 per la pianificazione territoriale e per fornire indicazioni utili per la progettazione edilizia.

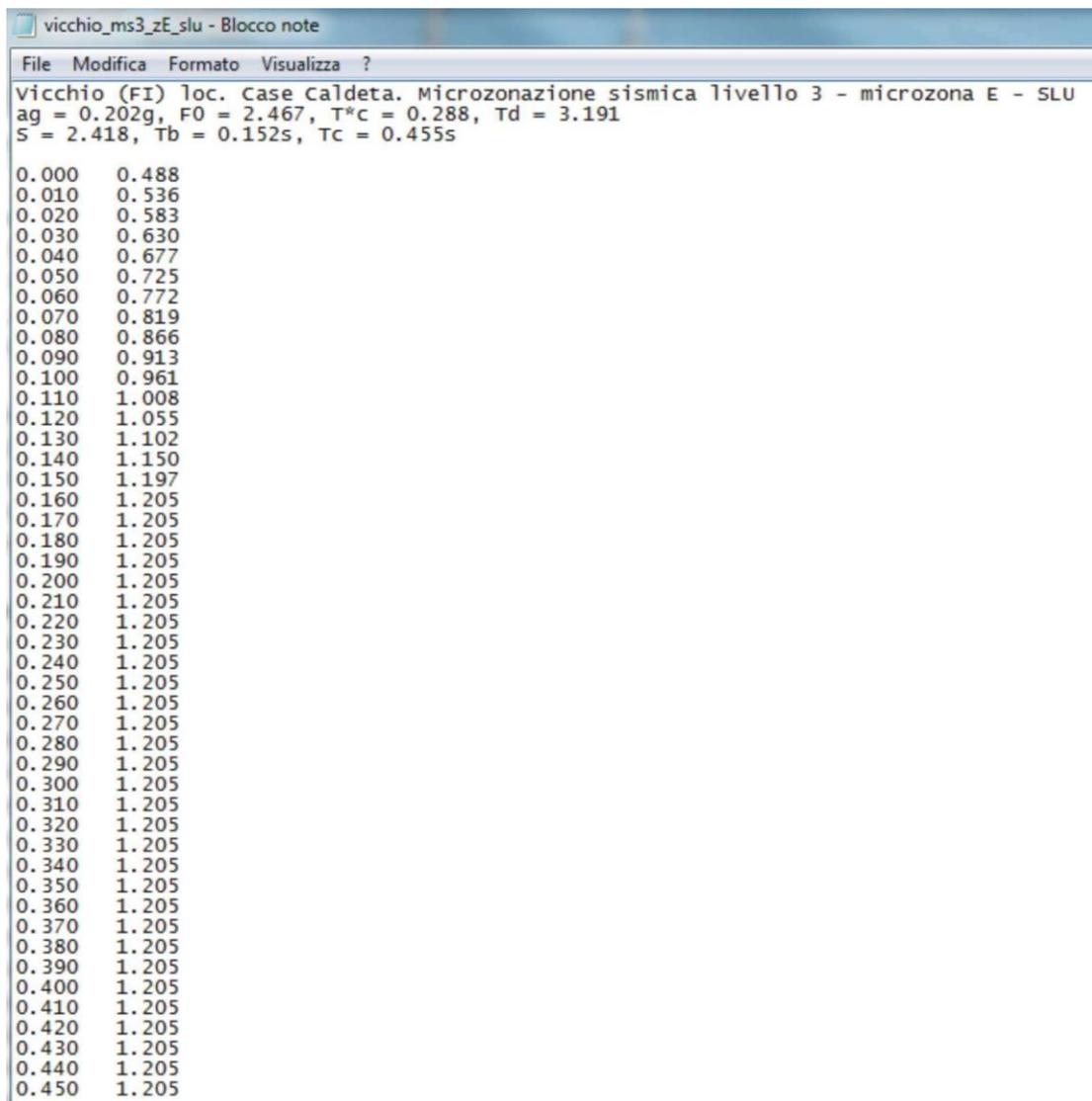


Fig. 5.2 – Schermata del file testo dello spettro caratteristico normalizzato, relativo alla microzona E di Case Caldetta

In riferimento a quest'ultimo aspetto, all'interno della revisione della norma, è stata prevista 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 oltre che da fattori di amplificazione, utilizzati per la quantificazione della minore o maggiore predisposizione dei terreni indagati all'amplificazione locale, anche dagli spettri di risposta elastici (caratterizzati da uno smorzamento del 5%), da cui i fattori di amplificazione vengono calcolati.

In aree come quella di Vicchio, 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.

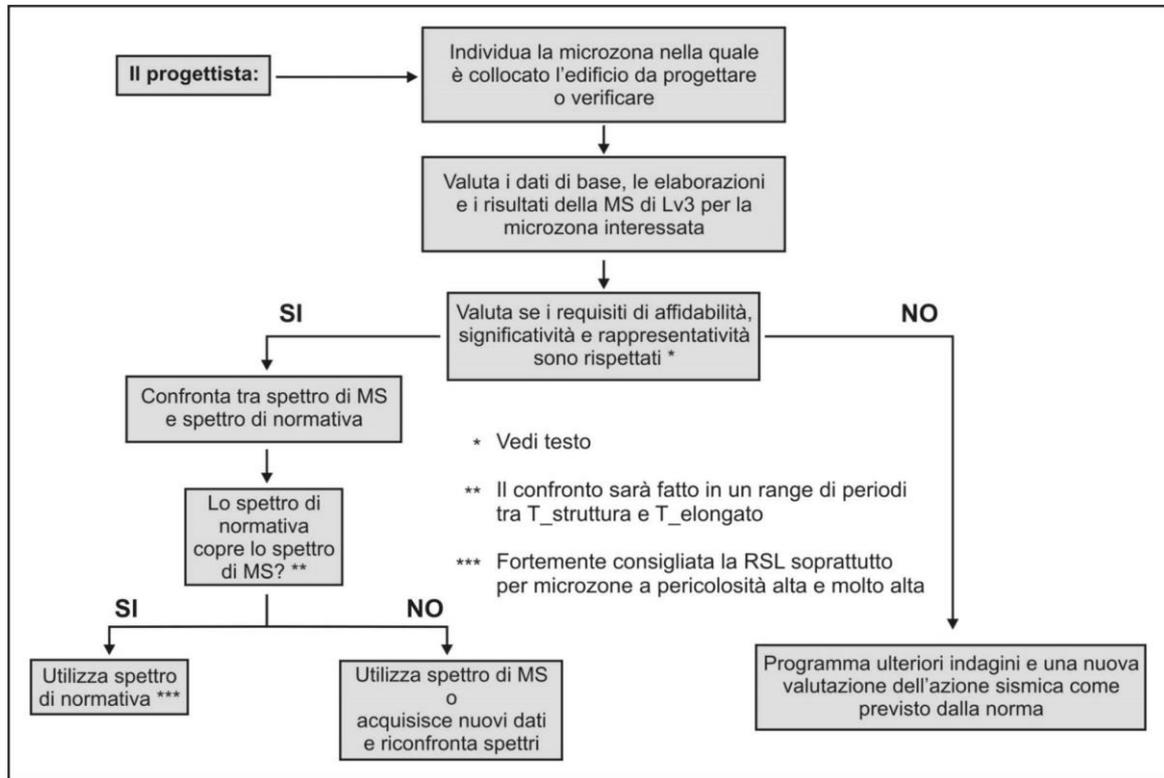


Fig. 5.3 – Diagramma di flusso della procedura per il possibile utilizzo degli spettri di risposta caratteristici (risultato della MS di livello 3) nella progettazione o verifica degli edifici

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 (figg. 4.5 e 4.6);
- 2) operare la regolarizzazione dello spettro medio. Questa operazione permette di definire sia uno spettro di forma simile 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 viene effettuata secondo le procedure illustrate negli ICMS 2008 e meglio specificate da Pergalani e Compagnoni (2013) e D'Intinosante et al. (2015b). In sintesi, secondo tale metodo, dallo spettro medio si ricavano i valori di **TA** (periodo per il quale è massimo il valore in accelerazione), **SA** (valore medio dello spettro in accelerazione per periodi compresi tra **0.5TA** ed **1.5TA**), **TV** (periodo per il quale è massimo il valore in pseudovelocità), **SV** (valore medio dello spettro in pseudovelocità per periodi compresi tra **0.8TV** ed **1.2TV**). Ricavati tali valori

si determinerà l'estensione del plateau (tratto dello spettro con accelerazione costante) tenendo conto che $T_c = 2\pi \cdot (SV/SA)$ e $T_b = 1/3T_c$. Noti i parametri indipendenti dalle condizioni di sito è possibile, infine, ricavare il parametro **S** come a_{max}/ag dove a_{max} è calcolata da analisi di risposta locale. Il parametro **F0**, indipendente dalle condizioni sismostratigrafiche del sito secondo l'approccio semplificato delle NTC2008, nel presente metodo viene reso, invece, dipendente dalle condizioni geologiche locali con valore pari al rapporto tra **SA** ed a_{max} (accelerazione di ancoraggio dello spettro caratteristico). Lo spettro così regolarizzato è visibile con linea nera tratteggiata nell'esempio di figura 5.1, dove è messo a confronto con lo spettro semplificato di normativa (relativo alla categoria di sottosuolo E) più attinente alle condizioni sismostratigrafiche della microzona individuata nell'esempio.

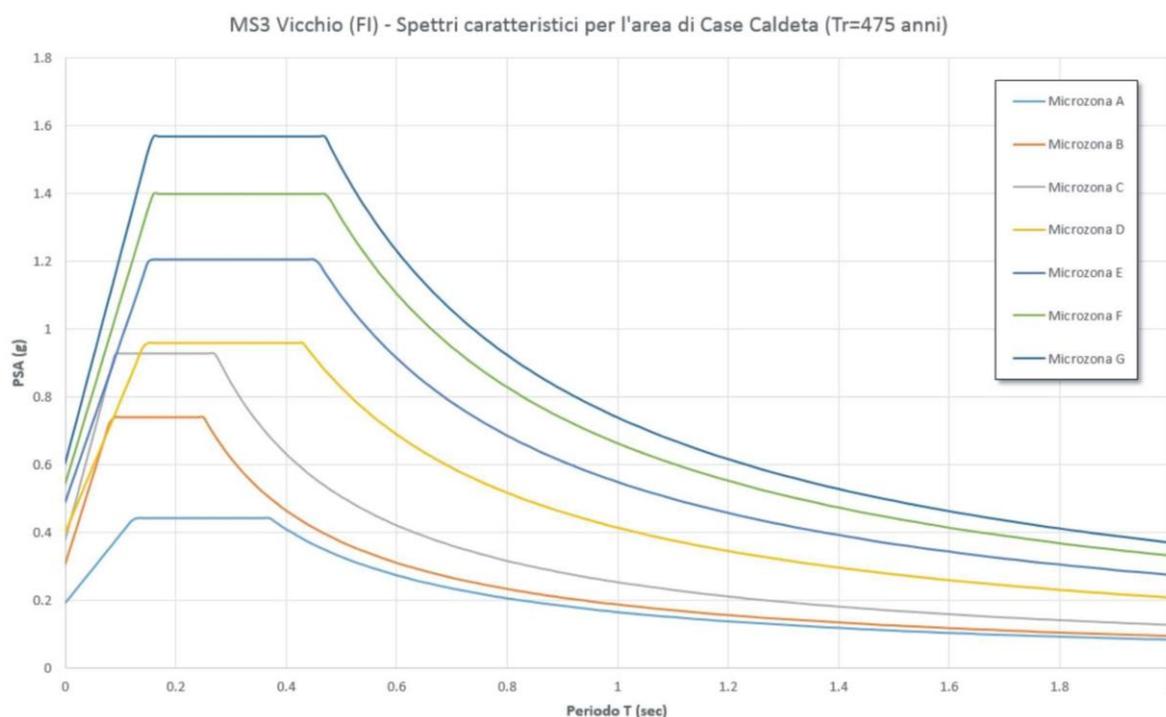


Fig. 5.4 – Spettri caratteristici normalizzati suddivisi per microzona della MS3 di Case Caldeta relativi ad un periodo di ritorno di 475 anni

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 $VN = 50$ anni e Classe d'uso $CU = II$).

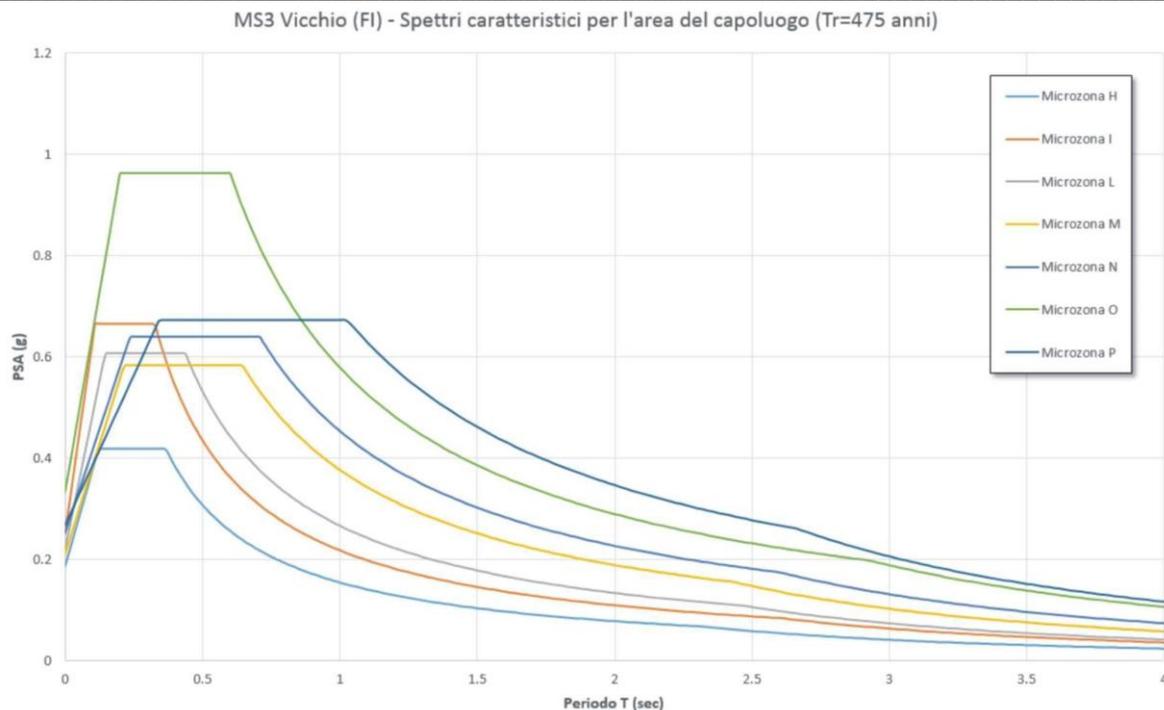


Fig. 5.5 – Spettri caratteristici normalizzati suddivisi per microzona della MS3 di Vicchio relativi ad un periodo di ritorno di 475 anni

Regularizzato lo spettro è possibile produrre un file .txt (figura 5.2) in cui saranno indicati nelle prime 3 righe (header) i dati d'origine dello spettro ed i parametri indipendenti e dipendenti desunti a seguito della regolarizzazione dello spettro medio.

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 i dati presenti nel file .txt (fig. 5.2). 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 presenti nella "header" del file testo (S, F0, TB, TC) combinandoli con i parametri indipendenti (ag, TD) propri della scelta progettuale.

Nelle figure 5.4 e 5.5 sono riportati tutti gli spettri caratteristici normalizzati rispettivamente per l'area di Case Caldetta e per la zona di Vicchio capoluogo, distinti per microzona sismica di appartenenza, mentre le tabelle 5.1 e 5.2 riportano, invece, il riassunto dei parametri collegati agli spettri caratteristici per le due località indagate.

Tab. 5.1 – Parametri dipendenti relativi agli spettri di risposta caratteristici (Tr=475 anni), desunti a seguito del processo di normalizzazione, per il sito di Case Caldetta

Vicchio (FI)
Microzonazione sismica di 3°livello - SLU (Tr=475 anni) – Area di case Caldetta
Spettri caratteristici delle microzone stabili - parametri

ag = 0.202g, T*c = 0.288s						
microzona	località	F0 (-)	S (-)	Tb (s)	Tc (s)	Td (s)
A	CASE CALDETA	2.318	0.941	0.124	0.371	2.360
B		2.428	1.510	0.084	0.251	2.820
C		2.465	1.863	0.091	0.272	3.105
D		2.407	1.970	0.144	0.431	3.191
E		2.467	2.418	0.152	0.455	3.553
F		2.576	2.688	0.158	0.474	3.772
G		2.603	2.986	0.157	0.471	4.013

Tab. 5.2 – Parametri dipendenti relativi agli spettri di risposta caratteristici (Tr=475 anni), desunti a seguito del processo di normalizzazione, per il sito di Vicchio Capoluogo

Vicchio (FI)
Microzonazione sismica di 3°livello - SLU (Tr=475 anni) – Area di Vicchio capoluogo
Spettri caratteristici delle microzone stabili - parametri

ag = 0.199g, T*c = 0.287s						
microzona	località	F0 (-)	S (-)	Tb (s)	Tc (s)	Td (s)
H	VICCHIO CAPOLUOGO	2.265	0.928	0.122	0.367	2.339
I		2.659	1.258	0.109	0.327	2.602
L		2.779	1.096	0.146	0.469	2.472
M		2.792	1.049	0.215	0.646	2.435
N		2.547	1.261	0.236	0.709	2.603
O		2.905	1.666	0.200	0.601	2.926
P		2.525	1.338	0.343	1.028	2.665



Bibliografia

- 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 (2014). Microzonazione sismica. Standard di rappresentazione e archiviazione informatica, versione 4. 0, giugno 2015; Dipartimento delle Protezione Civile Nazionale, Roma. http://www.protezionecivile.gov.it/jcms/it/commissione_opcm_3907.wp]
- Commissione tecnica MS3907 (2015a). Commissione Tecnica per la microzonazione sismica, Microzonazione sismica, Statistiche , dicembre 2014, Dipartimento delle Protezione Civile Nazionale, Roma. [http://www.protezionecivile.gov.it/jcms/it/commissione_opcm_3907.wp]
- 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 MS3907 (2015c). Commissione Tecnica per la microzonazione sismica, Linee guida per la gestione del territorio in aree interessate da liquefazioni (LQ). Dipartimento delle Protezione Civile Nazionale, Roma. [http://www.protezionecivile.gov.it/jcms/it/commissione_opcm_3907.wp]
- Commissione tecnica per la Microzonazione sismica (2016). Microzonazione sismica – Statistiche dicembre 2015. Versione 1.0. Dipartimento delle Protezione Civile Nazionale, Roma, gennaio 2016.
- 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. e GdL Fivizzano (2015a). Analisi di risposta sismica locale del centro abitato di Fivizzano (MS). Atti del XXXIV Convegno Nazionale GNGTS, Trieste.
- D'Intinosante V. e 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.
- 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.
- Kottke A.R. & Rathje E.M. (2008). Technical manual for Strata. University of California, Berkeley.
- Mantovani E., Viti M., Babbucci D., Cenni N., Tamburelli C., Vannucchi A., Falciani F., Fianchisti G., Baglione M, D'Intinosante V. & Fabbroni P. (2012). Potenzialità sismica della Toscana e definizione di criteri di priorità per interventi di prevenzione. Stampa Centro stampa Giunta Regione Toscana.
- 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.
- 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 SpectrumCompatible 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.