

DALLA MICROZONAZIONE SISMICA DI LIVELLO 1 ALLE ANALISI DI MODELLAZIONE DI LIVELLO 3: IL COMUNE DI BARBERINO DI MUGELLO (FI)

M. Baglione¹, P. Fabbroni¹, V. D'Intinosante¹, G. Vannucchi², C. Madiati², J. Facciorusso², E. Gargini²

¹ Ufficio Prevenzione Sismica, Regione Toscana, Firenze

² Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale (DICEA), Università di Firenze

Premessa. Nell'ambito delle attività di Microzonazione Sismica relative al Programma di Valutazione Effetti Locali, denominato Programma VEL (Ferrini *et al.*, 2007), promosse dal Settore Prevenzione Sismica della Regione Toscana, è stato realizzato, con la collaborazione del Dip.to di Ingegneria Civile e Ambientale (DICEA) dell'Università di Firenze, un approfondito studio di Microzonazione Sismica (di seguito indicato con MS) nel centro abitato del comune di Barberino di Mugello. Analisi di Risposta Sismica Locale mono- e bi-dimensionali, effettuate nell'ambito di tale studio, hanno consentito di valutare sul territorio in esame le modificazioni apportate allo scuotimento del suolo dalle condizioni geologico-tecniche e topografiche locali. Per il grado di approfondimento raggiunto, lo studio può essere ritenuto di Livello 3, così come definito dagli "Indirizzi e Criteri di Microzonazione Sismica Nazionale" (di seguito ICMS) (Gruppo di lavoro MS, 2008).

Le attività, finalizzate alla realizzazione della “Carta di Microzonazione Sismica”, sono state articolate nelle seguenti fasi:

1. Individuazione delle aree di indagine;
2. Realizzazione di rilievi geologici finalizzati alla redazione di cartografie geologiche, geomorfologiche e geologico-tecniche in scala 1:2.000;
3. Programmazione ed esecuzione della campagna di indagini geofisiche e geotecniche;
4. Definizione del modello geologico e geotecnico del sottosuolo;
5. Definizione dell'input sismico;
6. Analisi di Risposta Sismica Locale,
7. Produzione di cartografie tematiche e report finali.

Di seguito sono descritti le metodologie, le indagini, le analisi realizzate ed i risultati ottenuti.

Inquadramento geologico. Il Comune di Barberino di Mugello, classificato in zona sismica 2 e situato nell'area del Mugello in provincia di Firenze, si sviluppa lungo la pianura alluvionale del Torrente Stura ad una quota media di 270 m s.l.m. Dal punto di vista sismico l'area rientra in una delle zone più attive dell'Appennino settentrionale e della Toscana ed è contraddistinta da una sismicità che può essere definita medio-alta anche in relazione ai numerosi eventi sismici che hanno interessato l'area (1542 di $M_w=5.9$; 1843 e 1864 di $M_w=5.1$; 1919 di $M_w=6.3$; 1960 di $M_w=5$) (Locati *et al.*, 2011) causando effetti associati fino ad intensità macrosismiche I_{MCS} maggiori o uguali a 7.

In alcuni centri urbani ed aree produttive del comune di Barberino di Mugello, per una superficie totale di circa 3.000 ha complessivi, sono stati realizzati, dai tecnici del Dip.to di Scienze della Terra dell'Università di Firenze, rilievi geologici e geomorfologici di dettaglio in scala 1:2.000. Tali rilievi hanno messo in evidenza, nell'area di indagine, un substrato pre-quaternario di litologia prevalentemente arenacea appartenente all'Unità Tettonica Acquerino (AQR). Tale unità risulta estremamente variabile dal punto vista litologico ed è stata organizzata in tre membri differenti (AQR1-2-3) in base alle alternanze arenaceo-pelitiche e pelitico-arenacee. Per quanto riguarda i depositi di copertura, questi affiorano estesamente in tutta l'area rilevata. I sedimenti sono stati classificati come depositi quaternari di pianura alluvionale attuali (b), depositi fluviali prevalentemente granulari, organizzati in tre ordini di terrazzi (SIV) e depositi fluvio-lacustri (MGO) del Bacino del Mugello, con litologia prevalente di tipo argilloso-limoso. Tali depositi di copertura presentano spessori che variano, in base ai sondaggi eseguiti nell'area, da pochi metri fino a circa 80-100m nelle zone più profonde del bacino.

Indagini realizzate e modello geologico-tecnico di sottosuolo. Dai rilievi geologici effettuati, erano emerse, nell'area di indagine, numerose problematiche e diversi aspetti da definire mediante successive e più approfondite indagini finalizzate alla definizione del modello geologico e geotecnico di sottosuolo comprendente sia la parametrizzazione dinamica dei terreni investigati, sia la ricostruzione degli spessori e delle geometrie sepolte. In primo luogo si è cercato di definire i depositi di copertura superficiali (detrito di versante, depositi alluvionali), identificandone la geometria dei corpi e la variabilità spaziale dei parametri geofisici. Un'altra problematica era connessa alla conoscenza della profondità del bedrock sismico, alla determinazione dello spessore dei depositi fluvio-lacustri e dei relativi parametri geofisici e dinamici (soprattutto la velocità di propagazione delle onde S, V_s). In base alle indagini eseguite si è potuto definire la morfologia e i rapporti dei vari bacini di sedimentazione; ciò ha consentito di analizzare i fenomeni di amplificazione sismica sia di natura stratigrafica che dovuti alla morfologia sepolta, che possono risultare particolarmente importanti in prossimità dei fianchi del bacino dove lo spessore della copertura tende a rastremarsi ed assottigliarsi (come ad esempio, in corrispondenza dell'abitato di Barberino e della frazione di Galliano).

Per approfondire tali problematiche e soprattutto per determinare spessori, geometrie e parametri dinamici (in particolare le velocità V_{SH}) sono state quindi svolte successive campagne di indagini geofisiche di sismica a rifrazione in onde P e SH, indagini geotecniche e geofisiche

in foro di tipo down-hole con onde P e SH, misure strumentali e prove di laboratorio dinamiche sui campioni indisturbati prelevati nel corso dei sondaggi geotecnici.

Nello specifico le campagne di indagini sono state complessivamente caratterizzate, nell'area di indagine, da:

- n. 13 linee di sismica a rifrazione con onde P e SH (di lunghezza variabile da 96 a 240 m per ciascuna linea);
- n. 17 sondaggi a carotaggio continuo (di profondità variabile da 15 m a 80 m) con prove SPT in foro, prelievo di campioni indisturbati di terreno ed esecuzione di prove geofisiche di tipo down-hole con onde P e SH;
- n. 17 prove dinamiche di laboratorio (colonna risonante, taglio torsionale ciclico e triassiale ciclica) su 21 campioni prelevati nel corso dei sondaggi.
- N. 10 misure HVSr (HVSr - Nakamura, 1989) ed SSR [Standard Spectral Ratio SSR: Borchardt (1970)].

Tutte le indagini sono state realizzate da imprese specializzate nel settore e sono state successivamente validate da apposita Commissione di Collaudo costituita dai tecnici della Regione Toscana e da rappresentanti della comunità scientifica nazionale. Tali indagini sono visualizzabili al seguente sito web: <http://www.rete.toscana.it/sett/pta/sismica/lr56/VEL/indagini/mugello/mugello/mugello.htm>

A seguito di tutte le indagini geologiche, geofisiche e geotecniche svolte nelle aree di studio del Comune di Barberino di Mugello, sono stati ricostruiti per ciascuna area dei modelli geologici, geofisici e geotecnici di sottosuolo; definendo altresì la/e sezione/i geologica/che rappresentativa/e dell'area e fornendo una parametrizzazione geofisica di riferimento. Naturalmente è opportuno sottolineare che tale parametrizzazione, poiché deriva dalle indagini eseguite su un'area estesa risulta indicativa e non deve quindi essere utilizzata a scala di progettazione, ma esclusivamente per la pianificazione territoriale.

Dall'analisi delle carte rilevate e dalle 12 sezioni geologiche realizzate nelle aree di indagine sono state formulate ipotesi ragionevoli relative all'andamento del substrato roccioso: ad esempio in corrispondenza del centro storico di Barberino è presumibile la presenza di un contatto tettonico con direzione NE-SW e immergente verso nord che porta la Formazione dell'Acquerino da una profondità di circa 80 m ad una di circa 11 m (come testimoniato dal sondaggio S5 presso il Municipio). Spostandosi verso sud, quindi verso l'area produttiva e verso l'invaso del Bilancino, si può ipotizzare un ulteriore approfondimento del bacino di sedimentazione fluvio-lacustre fino a spessori superiori agli 80 m (presumibilmente intorno ai 100 m), come suggerito dal sondaggio S13 (con profondità del fondo foro di 80 m) presso la località Casalunga che non individua il *bedrock* sottostante. La parte dell'area industriale posta a SE del capoluogo evidenzia un approfondimento del bacino muovendosi verso SE come è visibile osservando la stesa di sismica a rifrazione ST7 e il sondaggio S2 che trova l'Unità dell'Acquerino ad una profondità di 60 m.

Al modello geologico di sottosuolo definito sulla base dei rilievi geologici e delle indagini geognostiche e rappresentato mediante n. 12 sezioni geologiche rappresentative, è stata associata una parametrizzazione geofisica media suddivisa per le varie formazioni geologiche e distinta per quanto riguarda i parametri desunti dalle indagini geofisiche di superficie da quelli ricavati dalle indagini geofisiche in foro. Questi parametri sono stati usati per le successive analisi di modellazione bidimensionali.

Tutti i risultati delle indagini geofisiche a rifrazione e geofisiche in foro di tipo down-hole sono stati diagrammati in grafici al fine di verificarne la loro variabilità in relazione ai litotipi di riferimento. I parametri presi in considerazione sono V_p , V_s e il rapporto V_p/V_s . Da un primo confronto si nota una separazione piuttosto netta tra i valori appartenenti ai depositi alluvionali (SIV1 e SIV2 con V_p generalmente comprese tra 500 e 1000 m/s e V_s comprese tra 200 e 400 m/s) e i valori ricavati per i depositi fluvio-lacustri (MGO1-a1, con V_p comprese tra 1300 e 2100 m/s e V_s tra 200 e 1000 m/s). Inoltre si nota come la distribuzione delle V_{sh} dei depositi alluvionali

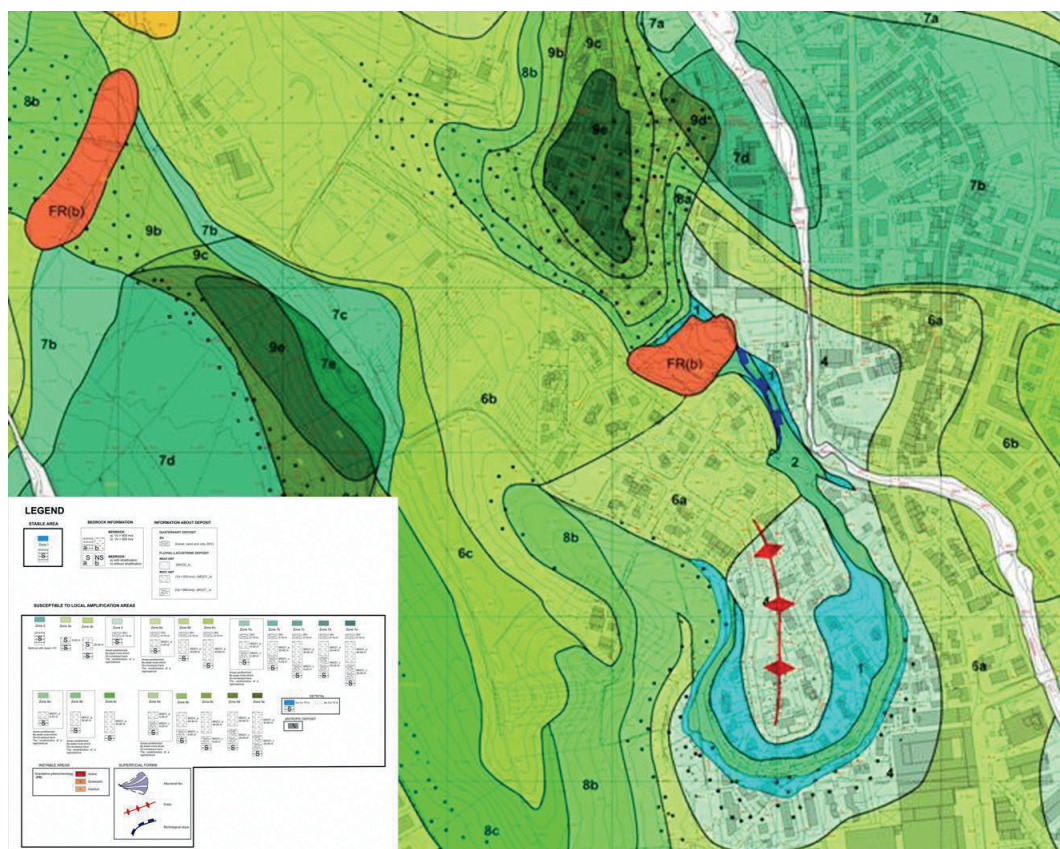


Fig. 1 – Cartografia di Microzonazione Sismica di livello 1 (MOPS) di Barberino, località Capoluogo e Cavallina.

presenti una bassa variabilità, mentre le V_{sh} dei depositi fluvio-lacustri sono caratterizzate da un'alta variabilità legata presumibilmente alle diverse caratteristiche granulometriche dei depositi che possiedono due principali facies: argillosa-siltosa poco consistente e argilloso-limosa più consistente con intercalazioni ghiaiose. Da notare, inoltre, come in alcuni casi i valori di V_{sh} dei depositi fluvio-lacustri, presenti anche a profondità di varie decine di metri, siano maggiori di 800 m/s con velocità quindi caratteristiche di un *bedrock* sismico. Il substrato roccioso è prevalentemente costituito dai tre membri della Formazione dell'Acquerino (AQR) con litologie da pelitiche ad arenaceo-pelitiche e ciò si rispecchia sulla distribuzione molto variabile delle V_{sh} .

Cartografie di microzonazione sismica di livello 1. Tutte le informazioni acquisite nella fase di rilevamento e riportate nelle cartografie geologiche prodotte, unitamente ai dati di base pregressi reperiti e a tutte le indagini geologiche, geofisiche e geotecniche realizzate nell'ambito del Programma VEL, hanno permesso di realizzare la cartografia (Fig. 1) delle "Microzone omogenee in prospettiva sismica" (MOPS). Tale cartografia è stata redatta nel rispetto degli ICMS (Gruppo di lavoro MS, 2008) e definisce le seguenti microzone:

- Zona stabile (Zona 1), caratterizzata dal substrato roccioso rigido in affioramento o subaffiorante, con topografia orizzontale o con pendenza indicativamente inferiore ai 15° . Il substrato rigido è rappresentato dalla Formazione Acquerino (AQR2-3) e dalla Formazione del Falterona (FAL3);
- Zone stabili suscettibili di amplificazione locali (Zona da 2 a 15). Tali zone sono state differenziate in relazione alle possibili combinazioni tra le varie unità deposizionali

distinguendo le aree in cui i depositi alluvionali quaternari poggiano direttamente al di sopra del substrato roccioso, dalle aree in cui sono presenti anche i depositi fluvio-lacustri. Sono state anche fornite indicazioni preliminari circa gli spessori delle coperture e sono state indicate anche le aree in cui sono presenti rocce deboli (per esempio la Formazione di Sillano - SIL) che non sempre presentano le caratteristiche di un substrato rigido. Nell'ambito di queste zone, rientrano anche le aree caratterizzate da substrato rigido lapideo stratificato, posto su un versante acclive (pendenza indicativamente superiore a 15°) e tale da non escludere fenomeni di amplificazione di tipo topografico.

- Zone suscettibili di instabilità. Sono state distinte esclusivamente le aree instabili connesse a fenomenologie gravitative di versante e le aree caratterizzate da fenomeni di contatto litologico/tettonico tra litologie con caratteristiche meccaniche significativamente differenti.

Definizione dell'input sismico e analisi della risposta sismica locale. La scelta dei segnali accelerometrici da utilizzare come input sismico nelle analisi di Risposta Sismica Locale è stata effettuata da EUCENTRE, su commissione dell'Ufficio Prevenzione Sismica della Regione Toscana. I sette segnali forniti sono stati quindi scalati al valore di accelerazione massima attesa su sito di riferimento rigido per il comune di Barberino di Mugello ($a_g = 0.196$ g). Dall'analisi dei sette segnali sismici, è emerso che due di essi (IT3 e IT6) non erano particolarmente significativi ai fini delle analisi di risposta sismica locale, avendo caratteristiche molto simili a quelle degli altri. Pertanto, dopo aver verificato che la rimozione dei due segnali IT3 e IT6 non determinava alcun sostanziale cambiamento nello spettro elastico medio in pseudo-accelerazione (con riferimento ad uno smorzamento $\xi=5\%$ dello smorzamento critico) del set, si è deciso di utilizzare nelle analisi i soli accelerogrammi IT1, IT2, IT4, IT5, IT7, essendo comunque il loro numero (5) superiore a quello minimo (4) indicato dagli ICMS (2008). In questo modo è stato possibile ridurre l'onere computazionale che per le analisi di RSL bidimensionali risulta particolarmente gravoso.

In corrispondenza delle 12 sezioni realizzate, ritenute rappresentative ai fini della valutazione degli effetti amplificativi, sono state eseguite, presso il Dip.to di Ingegneria Civile e Ambientale (DICEA) dell'Università di Firenze, analisi della risposta sismica locale con il programma di calcolo automatico QUAD 4M. Tale programma consente di effettuare analisi bidimensionali agli elementi finiti (FEM) e quindi di tener conto sia degli effetti legati alla successione stratigrafica (effetti stratigrafici) sia degli effetti legati alla morfologia superficiale (effetti topografici) e sepolta (effetti di valle).

Per ciascuna sezione in esame il deposito viene discretizzato mediante un numero finito di elementi di forma quadrangolare o triangolare, secondo uno schema a masse concentrate collegate tra loro da molle e smorzatori viscosi. Per ciascun elemento vengono assegnate oltre alle coordinate dei nodi, le proprietà fisiche e meccaniche del materiale costituente, in termini di densità, coefficiente di Poisson, modulo di taglio iniziale G_0 , rapporto di smorzamento iniziale D_0 e leggi di variazione, con la deformazione di taglio, del modulo di taglio normalizzato e del rapporto di smorzamento, ovvero $G(\gamma)/G_0$ e $D(\gamma)$. L'accelerogramma di input viene applicato alla base del deposito, in corrispondenza dei nodi appartenenti alla superficie di contatto tra terreno e bedrock sismico.

Caratterizzazione geotecnica. Sulla base del modello geologico di sottosuolo e dei risultati delle prove geotecniche in sito e di laboratorio disponibili, è stato ricostruito, in corrispondenza di ciascuna sezione geologica rappresentativa, selezionata ai fini delle analisi della risposta sismica locale, il modello geotecnico da impiegare nelle successive analisi numeriche. Per ognuna delle sezioni modellate sono quindi state definite le principali unità litostratigrafiche e per ciascuna di esse: i valori del peso di volume γ , del coefficiente di Poisson ν , della velocità di propagazione delle onde di taglio V_s , del rapporto di smorzamento iniziale D_0 e le curve di decadimento del modulo di taglio e di incremento del rapporto di smorzamento con la deformazione.

Scelta del fattore di amplificazione. Per fattore di amplificazione si intende in termini generali il rapporto tra un parametro relativo all'accelerogramma determinato in corrispondenza del piano di campagna e lo stesso parametro relativo all'accelerogramma di input. In linea teorica la scelta potrebbe ricadere su uno qualsiasi dei parametri rappresentativi dell'input sismico, tuttavia non tutte le scelte sono ugualmente significative come evidenziato anche in letteratura (Madiati e Simoni, 2010).

Tra i vari fattori di amplificazione disponibili in letteratura (F_A , F_v – GdL_MS, 2008; F_{PGA} , F_{HV} , F_{HA}), è stato scelto di adottare il parametro F_{HA} , basato sull'utilizzo degli spettri di risposta in pseudoaccelerazione del moto sismico in superficie e di quello di input, con intervallo di integrazione prossimo al periodo fondamentale delle tipologie edilizie esistenti nell'area ($T=0.1\div0.5$ s). L'espressione di F_{HA} è la seguente:

$$F_{HA(0.1\div0.5)} = \frac{\int_{0.1}^{0.5} S_{A,s}(\xi, T) dT}{\int_{0.1}^{0.5} S_{A,i}(\xi, T) dT}$$

L'adozione di fattori di amplificazione che fanno riferimento a grandezze integrali calcolate su intervalli del periodo ben definiti permette di ovviare ai problemi di instabilità dei risultati, conseguenti alla variabilità degli estremi di integrazione, e alla dipendenza dei parametri stessi dalle caratteristiche del segnale di input, che risulta invece significativa per F_A ed F_v .

Sulla base del confronto tra i risultati ottenuti dalle elaborazioni numeriche (Facciorusso *et al.*, 2012) e tenuto conto delle precedenti osservazioni, del fatto che il patrimonio edilizio presente nell'area in esame è contraddistinto dalla presenza di costruzioni ad elevata rigidità, in muratura o in cemento armato con limitato numero di piani, e che di norma, nella progettazione, la definizione dell'azione sismica viene fatta a partire dallo spettro di risposta in pseudoaccelerazione, è sembrato ragionevole assumere il parametro $F_{HA(0.1\div0.5)}$ quale fattore di amplificazione più idoneo ai fini della redazione della carta di microzonazione sismica di Livello 3 per l'area in esame.

Modellazione delle sezioni e risultati. In corrispondenza di ciascuna delle 12 sezioni analizzate si è proceduto alla ricostruzione della geometria del deposito, campionando i punti di frontiera di ciascuna delle principali unità litostratigrafiche individuate con un passo in direzione orizzontale pressoché costante e pari a 5 m, più fitto in corrispondenza di variazioni topografiche e morfologiche laddove era richiesto un maggiore dettaglio. Per quanto riguarda invece il passo di campionamento in direzione verticale si è utilizzato un criterio di ottimizzazione per il quale le formazioni di spessore più elevato sono state suddivise in sottostrati.

A titolo esemplificativo si riporta in Fig. 2 il risultato ottenuto per la sezione A''-A''', dalle analisi numeriche 2D della risposta sismica locale effettuate con il codice QUAD4M, in termini di fattore di amplificazione $F_{HA(0.1\div0.5)}$ (indicato nel seguito con f_H). In figura è rappresentato l'andamento del fattore di amplificazione ottenuto con i 5 diversi segnali di input, nonché l'andamento medio, riportando nella parte inferiore della figura la geometria della sezione esaminata. Come è possibile evincere dalla figura, l'andamento del fattore di amplificazione F_H , mediato sui 5 input sismici, mostra marcati fenomeni di amplificazione in corrispondenza del centro di entrambe le paleovalle, dove, si sovrappongono effetti stratigrafici e di valle. In particolare, in corrispondenza dell'estremo sinistro della sezione i valori di F_H sono inferiori a 1 per un tratto molto limitato in prossimità del fianco del bacino per poi risalire rapidamente, in conseguenza di fenomeni di focalizzazione, nei 50 m successivi, fino a raggiungere un massimo elevato ($f_H > 2.5$), oltre la quale l'amplificazione si riduce, mantenendo comunque valori compresi tra 1.5 e 2 fino all'estremo destro. Anche nella paleovalle meno profonda i valori di f_H sono più contenuti, anche se comunque elevati, con valori intorno a 2, dove si sommano gli effetti legati allo spessore del deposito agli effetti di focalizzazione indotti dall'inclinazione elevata del fianco del bacino. Nel tratto compreso tra le due paleovalle, in corrispondenza della risalita

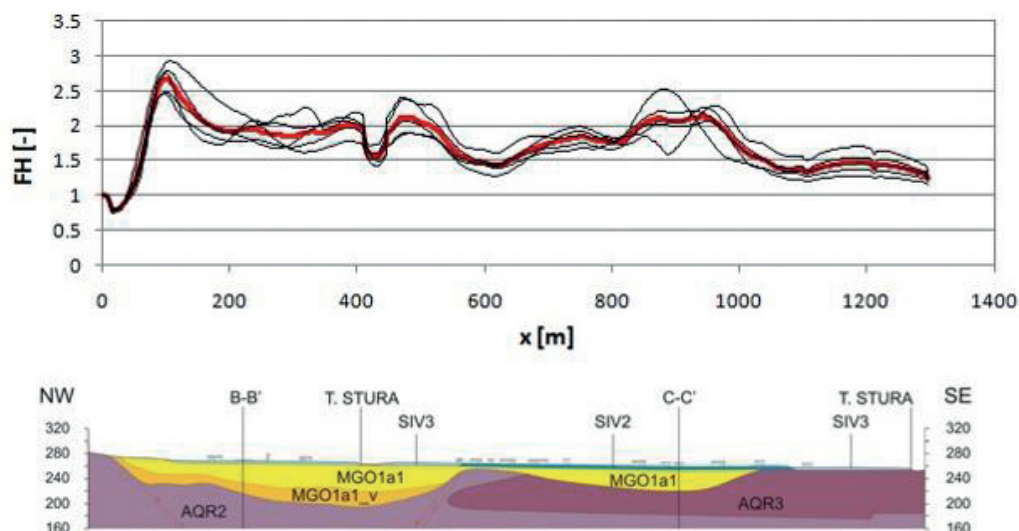


Fig. 2 – Sezione A''-A''' (Barberino Capoluogo): andamento del fattore di amplificazione f_H , medio (linea rossa) e per ciascuno dei 5 segnali sismici di input (linee nere).

del bedrock verso la superficie, i fenomeni amplificativi invece si riducono, pur rimanendo significativi (il valore minimo di f_H è pari a 1.45). Nella zona meridionale della sezione, dove il bedrock è superficiale e coperto da uno strato di limitato spessore di depositi fluviali (SIV), si osservano effetti amplificativi contenuti ($f_H < 1.5$ oltre la progressiva 1140 m circa).

Carte di microzonazione sismica di livello 3. La realizzazione delle analisi di risposta sismica locale bidimensionale ha consentito la redazione della cartografia di microzonazione sismica di livello 3, di cui uno stralcio è riportato in Fig. 3. Tali mappe forniscono una stima quantitativa del parametro amplificativo prescelto (fattore d'amplificazione $F_{HA(0.1-0.5)}$). Per quanto concerne la loro elaborazione, i risultati in termini di f_H , desunti dalle analisi 2D effettuate in corrispondenza delle 12 sezioni geologico-tecniche rappresentative del modello di sottosuolo, sono stati estesi arealmente mediante l'ausilio combinato della cartografia geologica 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 tratti relativi ad intervalli di valori desunti dai dati di output delle modellazioni dinamiche effettuate, con il relativo valore di f_H ;
2. individuazione del modello geologico-tecnico alla base di ogni valore di f_H desunto;
3. identificazione sulle cartografie tematiche esistenti (in particolare geologiche 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. confronto con omologhi valori di f_H da analisi bidimensionale e conseguente attribuzione del fattore f_H nelle predette aree;
5. raggruppamento di situazioni tipologiche ed amplificative simili mediante la discretizzazione dell'area in classi distinte caratterizzate da differenti intervalli di f_H ;
6. rappresentazione della cartografia prodotta mediante software operante in ambiente GIS.

Sulla base di quanto illustrato precedentemente, l'area in esame può essere suddivisa in 'microzone' sulla base della seguente classificazione:

ZONA A ($f_H = 1$): include le aree di affioramento del substrato sismico, qui rappresentato dalla formazione dell'Acquerino (AQR) e dalla formazione del Falterona (FAL3).

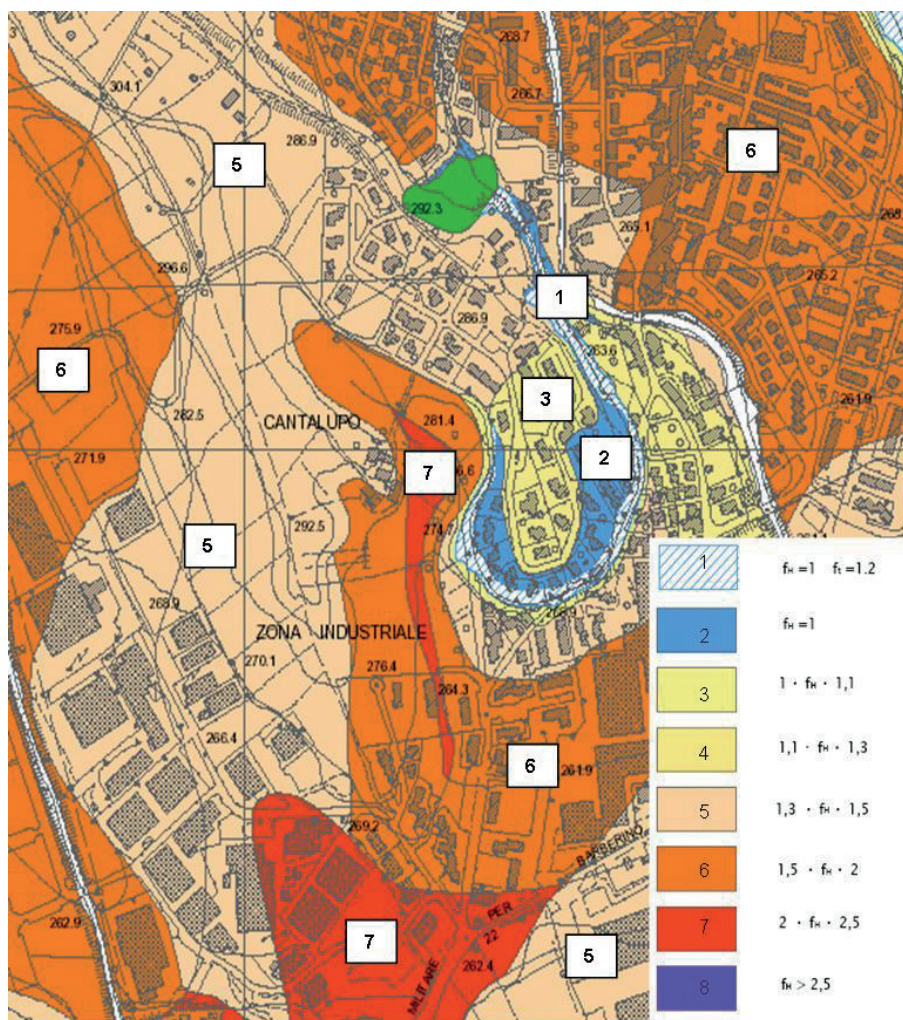


Fig. 3 – Estratto della Carta di Microzonazione Sismica di livello 3 di Barberino di Mugello.

ZONA B ($f_H = 1; f_T = 1.2$): include le aree di affioramento del substrato sismico con pendenza superiore a 15° , per le quali dalle analisi di modellazione bidimensionale non sono emersi effetti di amplificazione stratigrafica, ma esclusivamente di natura topografica (sebbene le misure strumentali non abbiano evidenziato indizi di amplificazione). Tali effetti vengono sintetizzati mediante il fattore di amplificazione topografica f_T .

ZONA C ($1 < f_H < 1.1$): include le aree di affioramento dei depositi alluvionali quaternari che presentano generalmente uno spessore contenuto, al di sopra del bedrock sismico;

ZONA D, E, F, G: individuano aree di affioramento prevalentemente costituite da depositi alluvionali e/o lacustri caratterizzati da una bassa (ZONA D; $1.1 \leq f_H < 1.3$), media (ZONA E; $1.3 \leq f_H < 1.5$), medio-alta (ZONA F; $1.5 \leq f_H < 2.0$), elevata (ZONA G; $2.0 \leq f_H < 2.5$) amplificazione sismica;

ZONA H ($f_H \geq 2.5$): riguarda essenzialmente una piccola porzione dell'area industriale di Cavallina, in cui i fattori di amplificazione sismica sono molto elevati.

Secondo le indicazioni dell'Ufficio Prevenzione Sismica della Regione Toscana: "La cartografia di microzonazione sismica di livello 3 deve rappresentare la 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. 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:

ZONA A = classe di pericolosità sismica S1;

ZONA B, C, D = classe di pericolosità sismica S2;

ZONE E, F, G e H = classe di pericolosità sismica S3

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 (f_H) è derivante da estrapolazione. Limitatamente alle zone E, F, G e H (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 NTC 2008".

Bibliografia

- Borcherdt, R. D.; 1970: *Effects of local geology on ground motion near San Francisco Bay*. Bull. Seismol. Soc. Am. 60, 29–61.
- Facciorusso J., Madiati C., Puliti A., Vannucchi G., Baglione M., Fabbroni P., D'Intinosante V.; 2012: *Seismic microzonation of an urban settlement of central Italy: geological features and selection of a suitable amplification factor*. 2nd Int. Conf. on Performance Based Design in Earth. Geot. Eng., Taormina (Italy).
- Ferrini M., Baglione M., Calderini F., D'Intinosante V., Danese S., Di Lillo R., Fabbroni P., Iacomelli S., Rossi M., Stano S., Calosi E.; 2007: *Istruzioni Tecniche per le indagini geologico – tecniche, le indagini geofisiche e geotecniche, statiche e dinamiche, finalizzate alla valutazione degli effetti locali nei comuni classificati sismici*. "Progetto Terremoto" in Garfagnana e Lunigiana. Dip.to delle Politiche Territoriali e Ambientali, U.O.C. Rischio Sismico, pp. 279.
- ICMS, Gruppo di Lavoro MS; 2008: *Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica*, Conferenza delle Regioni e della Province Autonome – DPC, Roma
- Locati M., Camassi R., Stucchi M. (a cura di); 2011: *DBMI11, la versione 2011 del Database Macrosismico Italiano*. <http://emidius.mi.ingv.it/DBMI11>
- Madiati C., Simoni G.; 2010: *Confronto tra parametri rappresentativi dell'amplificazione locale ai fini della microzonazione sismica*. 29° Convegno Nazionale del Gruppo Nazionale di Geofisica della Terra Solida, Prato, 26-28 Ottobre 2010. pp. 266-269
- Nakamura Y.; 1989: *A method for dynamic characteristics estimations of subsurface using microtremors on the ground surface*. Quarterly Report of Railway Technical Res. Inst., Tokyo, 30, 25-33.