

Committente:



Comune di Casalecchio di Reno

**Studio tecnico finalizzato all'adeguamento della strumentazione territoriale e urbanistica (PSC) in tema sismico, idrogeologico e idraulico (prevenzione del territorio dai rischi naturali) e per la redazione del progetto di rete ecologica di livello comunale.**

Studio e analisi finalizzata alla tutela del territorio comunale dal rischio sismico ed integrazioni presentate a seguito della Variante al PTCP in materia di Riduzione del Rischio Sismico (ai sensi dell'art. 27 della L.R. 20/2000) del 27 luglio 2012 e ulteriori indagini da effettuare nel territorio comunale

reia

ING. GIAN CARLO PICOTTI  
DR. GEOL. VINCENZO PICOTTI  
DOTT. MATTEO BADIALI  
DR. GEOL. ALESSANDRO SIMONI



Rif: Commessa R10010  
Commessa R12011

Zola Predosa

SETTEMBRE 2012

## Indice

1. Premessa.....	3
2. Il territorio di Casalecchio di Reno .....	5
2.1. Inquadramento generale dell'area di studio.....	5
2.2. Inquadramento fisico.....	5
2.3. Inquadramento naturalistico.....	6
3. Introduzione .....	8
4. Inquadramento sismico.....	9
5. Quadro di riferimento normativo.....	10
6. Microzonazione sismica .....	11
6.1. Area di studio .....	11
6.2. Dati acquisiti.....	11
6.3. Schede tecniche.....	16
6.4. Cartografie prodotte.....	18
7. Conclusioni.....	22
8. Bibliografia.....	28

### Allegati:

Schede tecniche ed allegati	31
-----------------------------	----



## 1. Premessa

Il presente lavoro è il risultato di 2 incarichi ricevuti da parte dell'Amministrazione comunale di Casalecchio di Reno sul tema della riduzione del rischio sismico, in ottemperanza a quanto previsto dalla D.R. 3121 del 2 maggio 2007 ("Indirizzi per gli studi di Microzonazione Sismica in Emilia-Romagna per la pianificazione territoriale ed urbanistica) della Regione Emilia-Romagna e ss.mm.ii..

Il primo incarico è stato redatto nel periodo Settembre 2010 – Febbraio 2011 ed ha riguardato aree di riqualificazione urbana identificate dai seguenti toponimi:

- "Andrea Costa";
- "Bastia Est" e "Bastia Ovest";
- "Belvedere";
- "Bolero Est" e "Bolero Ovest";
- "Clementi";
- "Hatù";
- "Michelangelo";
- "Norma".

Queste aree, alla data di assegnazione dell'incarico, sono state indagate ai sensi della normativa vigente in materia al Settembre 2010.

Il secondo incarico è stato redatto nel periodo Settembre 2012 ed ha riguardato le aree di riqualificazione urbana identificate dai seguenti toponimi:

- "Mazzetti – Puccini";
- "Scuole Rubini – Zacconi";
- "Coop Italia";
- "Libertà";
- "Ceretolo";
- "Carbonari";
- "Villa Volpe (solo area Villa Volpe)";
- "Coop (supermercato)";
- "Cimarosa-Cilea";
- "Ex-caserma VV.F";
- "Vivai Betti";
- "Albergo del Sole".

Con le modifiche normative introdotte da:

- Allegati "B e C" della D.G.R. n° 694/2011 della Regione Emilia-Romagna;
- Variante al PTCIP in materia di Rischio Sismico del 27 luglio 2012 della Provincia di Bologna;

gli studi di microzonazione sismica hanno acquisito una maggiore uniformità di redazione nei singoli comuni, allo scopo di creare un unico database regionale in grado di fornire informazioni riproducibili su tutti i territori comunali.

Di conseguenza, si è provveduto ad uniformare le indagini di microzonazione sismica compiute nel primo incarico, alle nuove normative.

Il presente lavoro consta di una relazione descrittiva generale che inquadra e descrive il territorio indagato, la metodologia utilizzata per lo studio di microzonazione sismica ed una conclusione che descrive i risultati ottenuti sul territorio con indicazioni sulla pianificazione territoriale: gli allegati sono costituiti dalle schede tecniche descrittive delle aree indagate e dalla cartografia richiesta dalla D.R. 3121/2007 e ss.mm.ii..

## 2. Il territorio di Casalecchio di Reno

### 2.1. Inquadramento generale dell'area di studio

Il territorio del Comune di Casalecchio di Reno è situato nel tratto vallivo del fiume Reno, alla congiunzione con la Pianura Padana, con una superficie di circa 17 km<sup>2</sup>. Lo sviluppo urbano è determinato dall'intersezione tra la Via Porrettana, in direzione Nord-Sud, e la Via Bazzanese, in direzione Est-Ovest ed è presente, prevalentemente nell'area di fondovalle del Reno. Tale fiume assume una rilevanza fondamentale per la città, di cui assume il nome, per motivi storici ed ambientali: il Reno ha sempre influenzato la vita dei Casalecchiesi, offrendo momenti di svago con la presenza del Lido che i Bolognesi spesso frequentavano per un bagno estivo ma anche momenti di paura e terrore come la piena eccezionale del 1899.

Oggi, il Comune di Casalecchio di Reno risente di una forte antropizzazione che ha prodotto un'elevata urbanizzazione residenziale, artigianale e infrastrutturale; la densità è di 2000 ab/km<sup>2</sup> seconda solo a Bologna in tutto il territorio provinciale.

### 2.2. Inquadramento fisico

Posto al termine del tratto appenninico della valle del Reno, il Comune di Casalecchio di Reno si sviluppa prevalentemente sui territori pianeggianti del fondovalle. Nella parte più settentrionale si assiste al passaggio alla Pianura Padana, ove il rilievo appenninico scompare e la sua ossatura rocciosa si inabissa al di sotto delle coltri alluvionali.

L'aspetto di cui la presente relazione terrà conto è il rischio sismico. Il territorio in esame, infatti, è situato in un'area a media potenzialità sismica, in cui diventa fondamentale l'impegno per diminuire la vulnerabilità delle opere civili. Dal punto di vista delle ricostruzioni dell'assetto sismotettonico, bisogna dire che esistono in letteratura due differenti versioni, che sottendono a differenti valori di pericolosità. Una prima ricostruzione vede nel primo rilievo collinare, che costituisce il margine appenninico, l'espressione di una struttura tettonica, il cosiddetto *Pedeappenninic Thrust Front* (PTF, Boccaletti et al., 1985; 2004; 2010), cioè un grande sovrascorrimento che solleva le rocce dell'attuale rilievo e taglia tutta la crosta fino alla superficie, in particolare tra Bologna e Casalecchio. Questa ricostruzione è stata fatta propria dalla Regione Emilia-Romagna, nonché da alcuni cataloghi nazionali di strutture attive (come il DISS 3.1.1). E' evidente che la pericolosità sismica in questa ricostruzione sia medio-alta, in quanto si prevede che le faglie sismicamente più attive siano localizzate in superficie, con evidente interessamento dei centri abitati di Bologna e Casalecchio di Reno.

Una seconda ricostruzione è stata proposta recentemente: questa prevede che le strutture sismogenetiche appartenenti al PTF si trovino a profondità maggiori di 15 km e non arrivino ad aver espressione in superficie (Picotti e Pazzaglia, 2008). Questo scenario, documentato da una indagine geofisica di dettaglio condotta sul margine pedeappenninico di Zola Predosa, comporta un'approfondimento della sorgente sismogenetica, per cui gli scenari di scuotimento in superficie sono di minore impatto. Tuttavia, gli stessi autori individuano alcune faglie attive in superficie poste nella prima collina, una delle quali condiziona fortemente la morfologia del territorio di Casalecchio. Si tratta della faglia chiamata Reno - San Luca in Picotti et al. (2009), di cui, pur essendo nota la velocità media di movimento, non si conosce l'attività sismogenetica, anche se si ritiene potenzialmente capace di sismi di intensità moderata.

In definitiva, nonostante il dibattito ancora acceso nella comunità scientifica sulla reale localizzazione delle strutture attive e sulla loro potenzialità sismica, possiamo dire che il territorio di Casalecchio è esposto a possibili terremoti con magnitudo fra M 5 e M 5.5. In questo quadro sismotettonico, la legge italiana prevede la necessità di una corretta valutazione dello scuotimento al suolo, nonché degli effetti di sito. Le prescrizioni della legge, da alcuni ricercatori ritenute anche troppo blande e poco efficaci, permettono tuttavia una prima zonazione. E' del tutto evidente che questa procedura non dovrebbe essere applicata solo alle costruzioni nuove, ma anche all'edilizia esistente, a partire da quella di uso pubblico.

Per gli aspetti legati al rischio idrogeologico e idraulico, da una parte il territorio di Casalecchio è abbastanza fortunato, in quanto lo scheletro roccioso delle sue colline è per lo più costituito da una roccia non troppo argillosa dunque meno suscettibile di frane ed i rilievi sono per lo più poco accentuati; dall'altra esso risente dei problemi tipici della collina, quali l'abbandono delle corrette pratiche agricole ed il consumo di suolo con conseguente impermeabilizzazione e difficile gestione delle acque superficiali. La presenza della struttura tettonica Reno-San Luca, di cui si parlerà più estesamente, ha una grande influenza anche sull'assetto morfologico della valle del Reno nel tratto di Casalecchio. Il versante di San Luca, infatti è molto ripido, trovandosi nel lembo rialzato della faglia, mentre il versante opposto è meno acclive. In questo versante sinistro sono conservati lembi di alluvioni antiche terrazzate, a formare ripiani, come il "Belvedere", che si alternano a tratti più ripidi, fino a vere proprie scarpate, come quella che sovrasta via Leonardo da Vinci. I problemi su questi versanti sono quasi tutti associati alla cattiva gestione delle acque superficiali, con conseguente erosione canalizzata e formazione di colate di fango

Il fiume Reno, grande presenza nel territorio per importanza ambientale e storica, costituisce un'opportunità, ma anche un rischio, per come è stato trattato il suo alveo nell'ultimo secolo, in particolare con il prelievo e consumo eccessivo di acqua e con il prelievo ed l'intrappolamento del sedimento, che hanno prodotto la forte diminuzione di portata liquida e solida. Nel caso del Comune di Casalecchio di Reno, questo processo ha portato alla forte erosione dell'alveo a valle della Chiesa di Casalecchio, con conseguente esposizione a rischio di scalzamento delle opere civili. Il tratto a monte, invece, non ha subito questa incisione, e tutto il settore meridionale da entrambe le sponde (zona Cava ex - SA.PA.BA. in sinistra, Parco della Chiesa in destra) risulta esposto a rischio di esondazione.

### **2.3. Inquadramento naturalistico**

Il Comune di Casalecchio di Reno presenta delle peculiarità ecologiche di elevato pregio come i siti della rete Natura 2000 "Boschi di San Luca e Destra Reno (Area SIC-ZPS)" e "Gessi di Monte Rocca, Monte Capra e Tizzano (Area SIC)", riconosciuti a livello comunitario. Questi siti sono frammentati dalla presenza dell'area urbana di Casalecchio di Reno: nonostante la presenza di questo disturbo antropico, il fiume Reno, attraverso i numerosi rii che scendono dalle colline, funge da elemento di connessione delle due aree naturali, svolgendo una funzione ecologica indispensabile per garantire il *continuum* di biodiversità. Il versante che dall'Eremo di Tizzano scende verso il fondovalle si presenta con un paesaggio agricolo-rurale, dove le formazioni boschive presenti alla sommità della collina cedono il passo a campi coltivati e filari di vigneti fino ai margini del sistema urbano.

L'habitat naturale che caratterizza la porzione di territorio naturale in sinistra Reno si fonda prevalentemente, secondo quanto descritto dalle schede che descrivono il SIC dei Gessi, sulla presenza di Castagneti e di formazioni erbose secche oltre ad elementi tipici del sistema carsico. La porzione di territorio che dall'Eremo di Tizzano scende verso il Rio Pozzarone

accoglie un importante querceto acidofilo relitto pedecollinare. Le formazioni arbustive tendono ad evolvere generalmente verso il bosco e sono caratterizzate spesso dalla ginestra odorosa. Anche la fauna risente, per fortuna, delle formazioni geologiche dell'area e sono presenti popolazioni di *Rhinolophus hipposideros* e *Rhinolophus ferrumequinum*. L'avifauna è presente con specie di ambiente tipicamente termofilo collinare mentre le specie faunistiche, più in generale, si riconducono agli habitat tipicamente mediterranei. L'area in destra Reno presenta un habitat che risente maggiormente della presenza del fiume, poichè più a ridosso della collina: l'area pedecollinare presenta boschi e boschetti ripariali a stretto contatto con formazioni boschive di natura submediterranea. La varietà di ambienti, dal fiume al calanco alle formazioni gessoso-solfifere che continuano dall'area dei gessi di Monte Rocca verso Est, permette l'insediamento di specie quali il carpino e la roverella, oltre a tutte le formazioni tipiche dell'area perfluviale, quali salice e pioppo. Gli aspetti più salienti sono di natura floristica, grazie alla presenza di specie di interesse conservazionistico tra cui si citano *Galanthus nivalis*, *Lilium martagon*, *Centaurea deusta* e *Dianthus armeria*. La fauna, in questa porzione del territorio di Casalecchio di Reno, comprende una popolazione isolata di *Salamandrina terdigitata*, localizzata in prossimità del sentiero dei Bregoli, a Est della Chiesa di San Martino. Tra i mammiferi si riscontra la presenza del *Rhinolophus ferrumequinum*, come nell'area dell'Eremo di Tizzano, ma è soprattutto per l'avifauna che l'area assume importanza: questa zona è segnalata come area di riproduzione, sosta e alimentazione per diverse specie, in particolare rapaci ed uccelli migratori.

### 3. Introduzione

L'analisi dei fenomeni macrosismici ha evidenziato la stretta correlazione che sussiste tra le caratteristiche geologiche e geomorfologiche locali e l'entità del danno registrato. Pertanto, per adottare corrette politiche di riduzione del rischio sismico bisogna effettuare studi più approfonditi, la cosiddetta microzonazione sismica. Uno studio con queste finalità, consente di prevedere la distribuzione degli effetti di un terremoto in un'area antropizzata e poter individuare dei criteri di gestione del territorio che abbiano la funzione di mitigare i danni di un evento sismico.

La microzonazione sismica stima la pericolosità e la vulnerabilità sismica di un'area indagata, nell'ottica di poter quantificare il rischio sismico: per questo motivo è indispensabile sapere come la geologia superficiale influisca sulla propagazione delle onde sismiche. Per studiare localmente gli effetti di un terremoto si può far ricorso a metodi sperimentali che registrano il "rumore sismico ambientale" oppure alla simulazione della propagazione delle onde sismiche in modelli del sottosuolo, grazie al contributo di ulteriori elementi (sondaggi geotecnici, per esempio).

Per "Pericolosità Sismica" si indica il probabile livello di scuotimento del terreno, in presenza di un evento sismico: la classificazione del territorio è realizzata dal Servizio Sismico Nazionale. Ogni comune del territorio è stato inserito in quattro categorie, ognuna con diversi valori di PGA (picco di accelerazione del suolo). Tale classificazione, non contemplando i possibili effetti di amplificazione dovuti alla copertura sedimentaria superficiale, può essere inadatta per situazioni locali e non essere in grado di rappresentare i parametri che possono portare a gradi di pericolosità sismica assai diversi.

Di conseguenza, la microzonazione sismica rappresenta l'attività svolta ad un livello di dettaglio superiore, in grado di tener conto maggiormente delle condizioni locali. Oggi, attraverso gli "Indirizzi e criteri per gli studi di Microzonazione Sismica" adottati anche nelle recenti normative regionali, è possibile uniformare le indagini sismiche per la pianificazione territoriale su più comuni, in maniera tale da omogeneizzare le informazioni sismiche ottenute e confrontarle in ambito di pianificazione del territorio.

In particolare, questi studi acquisiscono elevata importanza per la stesura dei Piani Strutturali Comunali, permettendo una caratterizzazione di aree dettagliate e definendo i criteri tecnico-normativi per la tutela del territorio.

Infatti, gli studi di Microzonazione Sismica prevedono una suddivisione in livelli di indagine, il primo dei quali dev'essere previsto almeno all'interno della pianificazione provinciale (PTCP), mentre il secondo è previsto all'interno della pianificazione comunale (PSC). Il terzo e ultimo livello di indagine è previsto nelle aree che subiscono questa classificazione all'interno della pianificazione comunale.

## 4. Inquadramento sismico

La sismicità della Regione Emilia-Romagna può essere classificata come moderata, in relazione alla sismicità nazionale, tuttavia le caratteristiche di vulnerabilità del patrimonio edilizio determinano un livello di rischio non trascurabile: la magnitudo massima registrata dai sismografi si attesta attorno ai 5,5 – 6° della scala Richter e l'intensità massima registrata è pari all'VIII – IX grado della Scala Mercalli.

La classificazione sismica dei comuni dell'Emilia-Romagna, prevista con ordinanza del P.C.M. n° 3274/2003, attribuisce il valore 3, zona a sismicità bassa, al Comune di Casalecchio di Reno, per la quale sono previsti valori di scuotimento (PGA) compresi tra 0.05 e 0.15 g.

Nella figura sottostante viene riportato lo scenario di pericolosità sismica della Regione Emilia-Romagna, ottenuto ricostruendo una distribuzione equipotenziale dell'accelerazione orizzontale massima (PGA) per eventi sismici con un periodo di ritorno di 475 anni (standard Eurocode AC-8, 1993). L'approccio *bayesiano* utilizzato in questo contesto dovrebbe arrivare a proporre una pericolosità sismica più cautelativa. L'esito ottenuto mostra come la sismicità sia abbastanza contenuta nelle aree settentrionali ed occidentali della regione, mentre raggiunge valori più elevati nell'area romagnola. L'area di Casalecchio di Reno si trova a valori di 280 gal (0.28g). Come si vede, questa ricostruzione propone valori più elevati (quasi il doppio del massimo) rispetto al range proposto dalle ricostruzioni dell'INGV ([www.ingv.it](http://www.ingv.it)) ed adottate a livello normativo. La ragione di queste differenze probabilmente riguarda la massima magnitudo attesa. E' importante notare come anche la profondità dello strato sismogenetico sia importante per determinare questi parametri: anche su questo, come accennato nella introduzione, esistono differenti valutazioni, le cui conseguenze sono ben rappresentate da queste discrepanze nei valori di PGA.

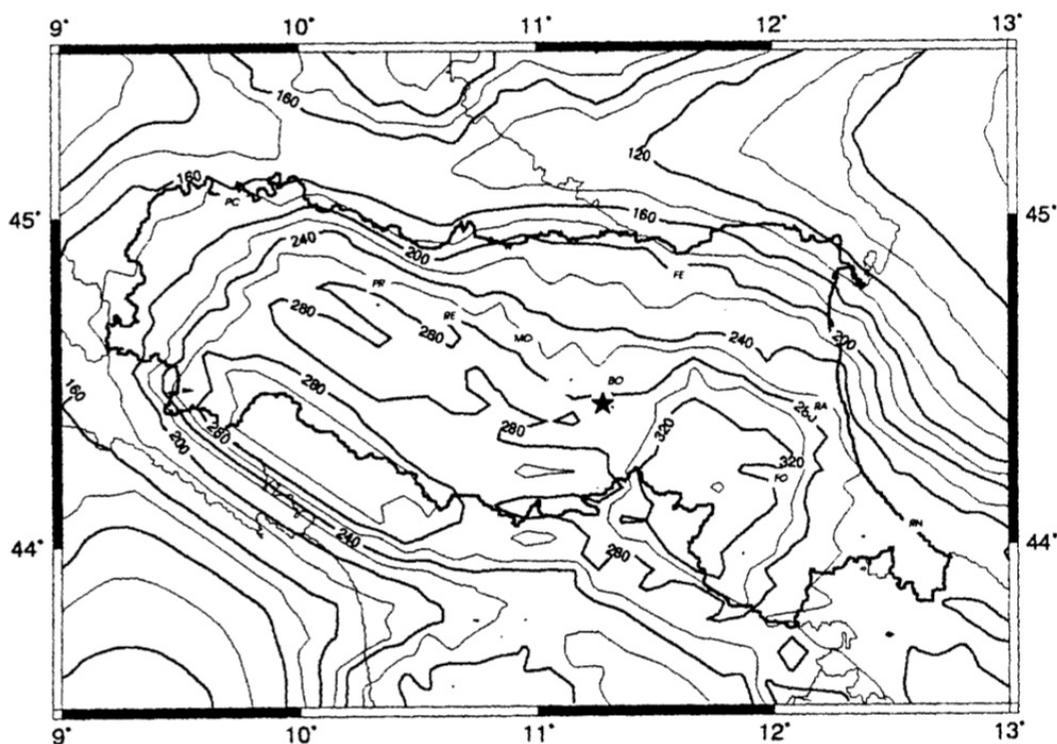


Figura 1 - Scenario di pericolosità sismica ricostruito in termini di PGA (gal) con periodo di ritorno di 475 anni, analisi con approccio bayesiano, tratto da Viel et alii, 2006. La posizione di Casalecchio di Reno è indicata dall'asterisco.

## 5. Quadro di riferimento normativo

Le principali normative che impongono alla Regione Emilia-Romagna la predisposizione di studi e indirizzi da applicare in sede di pianificazione urbanistica per la riduzione del rischio sismico che richiedono indagini geologiche nelle zone classificate sismiche, la definizione della pericolosità sismica locale e la realizzazione di appositi studi di riferimento sono:

- **L.R. 49/1995**, “Modifiche e integrazioni alla L.R. 19 giugno 1984, n° 35, recante norme per lo snellimento delle procedure per le costruzioni in zone sismiche”;
- **L.R. 20/2000**, “Disciplina generale sulla tutela e l’uso del territorio”;
- **L.R. 31/2002**, “Disciplina generale dell’edilizia”, art.37 “Parere sugli strumenti di pianificazione urbanistica nelle zone sismiche”;
- **Delibera G.R. 1435/2003**, “Prime disposizioni di attuazione dell’ordinanza PCM n° 3274/2003” recante “Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zone sismiche”;
- **Delibera G.R. 1677/2005**, “Prime indicazioni applicative in merito al decreto ministeriale 14 settembre 2005” recante “Norme tecniche per le costruzioni”;
- **Delibera G.R. 2131/2007**, “Approvazione dell’atto di indirizzo e coordinamento tecnico ai sensi dell’art. 16, comma 1, della L.R. 20/2000 “Disciplina generale sulla tutela e l’uso del territorio” in merito a “Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica”;
- **L.R. 19/2008**, “Norme per la riduzione del rischio sismico e documenti correlati”;
- **L.R. 23/2009**, “Norme in materia di tutela e valorizzazione del paesaggio, modifica della legge regionale 24 marzo 2000, n° 20 (Disciplina generale sulla tutela e uso del territorio) e norme transitorie in merito alla legge regionale 30 ottobre 2008, n° 19 (Norme per la riduzione del rischio sismico)”;
- **D.G.R 694/2011**, “Criteri per gli studi di Microzonazione Sismica ed assegnazione e concessione dei contributi di cui all’ OPCM 3907/2010 e ss.mm.ii.”;

La principale normativa di riferimento introdotta dalla Provincia di Bologna è:

- **Variante** in materia di riduzione del rischio sismico (ai sensi dell’art. 27 della L.R. 20/2000) del 26 luglio 2012.

## 6. Microzonazione sismica

### 6.1. Area di studio

Come già accennato nell'introduzione, l'assetto sismotettonico del territorio di Casalecchio è dominato dalla presenza di una struttura d'importanza regionale, nota come PTF (*Pedeapenninic Thrust Front*), responsabile del sollevamento del rilievo collinare e ritenuta capace di generare terremoti di magnitudo medio-alta (circa M 5.5). Le strutture tettoniche attive riconosciute nel settore collinare del territorio sono di dimensione e potenziale sismico minore. Nell'insieme, il Comune di Casalecchio è inserito in zona 3 dall'ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n°3274 del 20 marzo 2003. Lo scenario di scuotimento previsto, con possibilità di superamento del 10% in 50 anni, è di 0.15 g come accelerazione orizzontale massima su substrati dotati di Vs (Velocità delle onde sismiche secondarie) > 800 m/sec. Scopo della caratterizzazione microsismica, quindi, è di fornire dati che permettano di valutare il comportamento geotecnico dei terreni superficiali, in modo da implementare i valori indicati dalla normativa nazionale con quelli misurati direttamente sul terreno.

Un'analisi del territorio attraverso la microzonazione sismica si prefigge il duplice compito di fornire una documentazione cartografica di dettaglio, con un formato immediatamente utilizzabile da parte dei diretti interessati, e di raccogliere i dati geologici, geotecnici e sismici in grado di implementare le informazioni per la microzonazione.

### 6.2. Dati acquisiti

Il lavoro di caratterizzazione delle aree per cui è stata richiesta microzonazione sismica è consistito in un censimento iniziale di tutte le fonti bibliografiche a disposizione, riguardanti sondaggi e penetrometrie svolte da società di consulenze geologiche per conto di costruttori edili: con queste informazioni, unite alle conoscenze dell'area geologica di Casalecchio di Reno, è stato possibile effettuare un primo inquadramento litologico dei punti di riqualificazione urbana, come da accordi previsti nel disciplinare d'incarico. Individuati i punti sul territorio comunale, si è passati ad un rilievo di maggiore dettaglio utilizzando una prova geotecnica di uso corrente quale la *sismica passiva* adottando l'HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio) per la misura del rumore sismico con la valutazione delle frequenze di risonanza dei terreni. Questa metodologia di acquisizione dati è conosciuta anche come "tecnica Nakamura": tale metodologia è stata introdotta da Nogoshi e Igarashi (1971) sulla base degli studi di Kanai e Tanaka del 1961. Le prove sono state compiute all'interno del perimetro delle aree di riqualificazione urbana da indagare (o in prossimità di esse) ed in corrispondenza di prove (sondaggi e penetrometrie) geomeccaniche o di affioramenti significativi tramite i quali la stratigrafia del sottosuolo analizzato si può dire sufficientemente nota.

#### Aspetti teorici

Questa tecnica si basa essenzialmente sul rapporto spettrale H/V di rumore ambientale (seismic noise) e permette di valutare gli effetti locali di sito.

La tecnica proposta da Nakamura assume che i microtremiti (il cosiddetto rumore di fondo registrabile in qualunque momento posizionando un sensore sismico sul terreno) consistano principalmente di un tipo di onde superficiali, le onde di Rayleigh, che si

propagano in un singolo strato soffice su semispazio e che la presenza di questo strato sia la causa dell'amplificazione al sito.

Per l'applicazione e l'interpretazione di questa tecnica è fondamentale una buona conoscenza dell'ingegneria sismologica combinata con un background di informazioni relative alla geologia, geofisica e prove geotecniche presenti nel sito.

Questa tecnica presenta il vantaggio di poter essere adoperata pressoché ovunque, purché siano garantite l'assenza di forti vibrazioni indotte da attività umane nelle vicinanze del punto di misura o condizioni meteoriche sfavorevoli (pioggia, eccessivo vento).

Il metodo è generalmente applicato per studi di microzonazione e per valutare la risposta sismica locale.

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto si rende necessario valutare l'effetto della risposta sismica locale mediante specifiche analisi.

Per la definizione dell'azione sismica si può anche fare riferimento ad un approccio semplificato che si basa sull'individuazione di categorie di sottosuolo di riferimento (Tab. 1).

**Tabella 1 - Categorie di sottosuolo**

<b>Categoria</b>	<b>Descrizione</b>
<b>A</b>	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi</i> caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m.
<b>B</b>	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti</i> con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $N_{SPT,30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina).
<b>C</b>	<i>Deposit</i> di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < N_{SPT,30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < c_{u,30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina).
<b>D</b>	<i>Deposit</i> di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 180 m/s (ovvero $N_{SPT,30} < 15$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} < 70$ kPa nei terreni a grana fina).
<b>E</b>	<i>Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m</i> , posti sul substrato di riferimento (con $V_s > 800$ m/s).

Fatta salva la necessità della caratterizzazione geotecnica dei terreni nel volume significativo, ai fini della identificazione della categoria di sottosuolo la classificazione si effettua in base ai valori della velocità equivalente  $V_{s30}$  di propagazione delle onde di taglio entro i primi 30 m di profondità.

Per sottosuoli appartenenti alle ulteriori categorie S1 ed S2 di seguito indicate (Tab. 2), è necessario predisporre specifiche analisi per la definizione delle azioni sismiche, particolarmente nei casi in cui la presenza di terreni suscettibili di liquefazione e/o di argille d'elevata sensibilità possa comportare fenomeni di collasso del terreno.

**Tabella 2 - Categorie aggiuntive di sottosuolo**

Categoria	Descrizione
S1	Depositi di terreni caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 100 m/s (ovvero $10 < c_{u,30} < 20$ kPa), che includono uno strato di almeno 8 m di terreni a grana fina di bassa consistenza, oppure che includono almeno 3 m di torba o di argille altamente organiche.
S2	Depositi di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti.

La velocità equivalente delle onde di taglio  $V_{s30}$  è definita dall'espressione:

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{V_i}}$$

dove  $h_i$  e  $V_i$  indicano lo spessore (in m) e la velocità delle onde di taglio (per deformazioni di taglio  $\gamma < 10^{-6}$ ) dello strato  $i$ -esimo, per un totale di  $N$  strati presenti nei 30 m superiori.

Il sito verrà classificato sulla base del valore di  $V_{s30}$ .

Le basi teoriche dell'HVSR in un sistema stratificato in cui i parametri variano solo con la profondità (una dimensione) è abbastanza semplice. Si consideri un sistema in cui gli strati 1 e 2 si distinguono per le diverse densità ( $\rho_1$  e  $\rho_2$ ) e le diverse velocità delle onde sismiche ( $V_1$  e  $V_2$ ). Un'onda che viaggia nel mezzo 1 viene parzialmente riflessa dall'orizzonte che separa i due strati, e questa una volta riflessa interferisce con quelle incidenti, sommandosi e raggiungendo le ampiezze massime (condizione di risonanza) quando la lunghezza dell'onda incidente ( $\lambda$ ) è 4 volte (o suoi multipli dispari) lo spessore  $h$  del primo strato.

In altre parole la frequenza fondamentale di risonanza ( $f_r$ ) dello strato 1 relativa alle onde P è pari a:

$$f_r = V_{p1}/(4h)$$

mentre quella relativa alle onde S è:

$$f_r = V_{s1}/(4h)$$

Teoricamente questo effetto è sommabile cosicché la curva HVSR mostra come massimi relativi le frequenze di risonanza dei vari strati.

Questo, insieme ad una stima della velocità, è in grado di fornire previsioni sullo spessore  $h$  degli strati.

Questa informazione è per lo più contenuta nella componente verticale del moto ma la prassi di usare il rapporto degli spettri orizzontali e quello verticale, piuttosto che il solo spettro verticale, deriva dal fatto che il rapporto fornisce un'importante normalizzazione del segnale per *a)* il contenuto in frequenza, *b)* la risposta strumentale e *c)* l'ampiezza del segnale quando le registrazioni vengono effettuate in momenti con rumore di fondo più o meno alto.

La normalizzazione, che rende più semplice l'interpretazione del segnale, è alla base della popolarità del metodo.

Si rileva inoltre come i microtremori siano solo in parte costituiti da onde di volume, P o S, e in misura molto maggiore da onde superficiali, in particolare da onde di Rayleigh (Lachet e Bard, 1994).

Tuttavia ci si può ricondurre a risonanza delle onde di volume poiché le onde di superficie sono prodotte da interferenza costruttiva di queste ultime e poiché la velocità dell'onda di Rayleigh è molto prossima a quella delle onde S. L'applicabilità pratica della semplice formula è stata già dimostrata in molti studi sia nell'ambito delle prospezioni geofisiche che nell'ambito ingegneristico.

Poiché la situazione illustrata è tipica delle coltri sedimentarie sovrastanti basamenti rocciosi, il metodo HVSR è parso immediatamente applicabile alla determinazione dello spessore delle coltri sedimentarie (Ibs-Von Seht e Wohleberg, 1999).

La misura prevede la registrazione, senza utilizzo di alcun strumento di energizzazione del terreno, del microtremore sismico ambientale nel dominio del tempo, sulle tre componenti dello spazio attraverso il posizionamento di adeguati strumenti sismometrici costituiti da sensori tridimensionali.

Per queste misure è sconsigliato l'impiego di accelerometri, non sufficientemente sensibili a frequenze inferiori a 1 Hz, né accelerometri sismologici.

Essendo la stabilità una caratteristica fondamentale non sono impiegabili sismometri broadband con periodo naturale  $> 20$  sec. in quanto richiedono lunghi tempi di stabilizzazione, come non sono raccomandabili sensori con frequenza naturale inferiore alla più bassa frequenza di interesse.

Indicativamente la frequenza di sito è funzione diretta della vicinanza del bedrock dalla superficie topografica e della rigidità dei materiali.

Per l'installazione lo strumento sarà da orientare secondo le direzioni geografiche (E e W) e dovrà essere dotato di bolla sferica per il posizionamento mentre l'accoppiamento con la superficie dovrà essere diretto o assicurato con piedini o puntazze in terreni morbidi.

Sarà da fare attenzione alla presenza di radici, sottoservizi, vicinanza edifici, vento ecc. in quanto creano disturbo nel segnale H/V inducendo una forte perturbazione a bassa frequenza.

Per uno studio di risposta di sito è consigliabile effettuare almeno tre misure per punto, possibilmente in tempi diversi durante la giornata, da cui derivare il valore di frequenza di risonanza.

La strumentazione di acquisizione presenta le seguenti specifiche:

1. Trasduttori tricomponenti (N-S, E-W, verticale) a bassa frequenza ( $< 1-2$  Hz);
2. Amplificatori;
3. Digitalizzatore;
4. Frequenza di campionamento:  $> 50$  Hz;
5. Convertitore A/D (analogico digitale) a 24 bit.
6. Durata registrazione:  $> 10$  minuti.
7. Collegamento al tempo GPS per la referenziazione temporale.

L'elaborazione dei dati raccolti impiega un software (**Geopsy**) in grado di consentire la determinazione delle frequenze di risonanza del sottosuolo mediante la tecnica dei rapporti spettrali secondo le linee guida del progetto europeo SESAME (Site EffectS assessment using Ambient Excitations, 2005).

Il *processing* dei dati verte sul rapporto spettrale tra il segnale del sensore verticale e quelli orizzontali operando su finestre di selezione del segnale che dovranno essere non meno di 10 per un segnale complessivo utile non inferiore a 200-400 secondi.

I principali passi del processing sono i seguenti:

1. FFT (incluso il tapering);
2. Operatore di Smoothing (Konno & Ohmachi)
3. Merging dei componenti orizzontali
4. H/V Spectral Ratio per ogni finestra utilizzata (>10)
5. Media degli spettri H/V
6. Valutazione della deviazione standard.

Le risultanze dell'elaborazione sono presentate mediante graficazione dei rapporti spettrali H/V delle varie componenti indicando il massimo del rapporto HVSR nel valore di  $f_0$  – Frequenza/e di risonanza e la sua deviazione standard.

Il certificato finale della prova presenta:

1. I criteri di attendibilità della misura;
2. I criteri di validità del picco di  $f_0$ ;
3. I valori di soglia delle condizioni di stabilità;
4. Analisi dei criteri in particolare con verifica rispetto alla frequenza del sensore ed alla presenza di rumore di origine industriale;
5. Interpretazione di  $f_0$  e dello spettro H/V nei termini di caratteristiche del sito.

Per quanto riguarda la prima la mappatura delle frequenze principali di risonanza, permette di valutare il grado di omogeneità sulla risposta di sito relativamente alle frequenze dei materiali di sito.

L'analisi di queste, permette di definire il campo delle frequenze significative di risonanza da utilizzare direttamente nella progettazione degli edifici.

L'assunzione di base è che, per un modello di sottosuolo monodimensionale (stratificazione piana e parallela) costituito da sedimenti soffici sovrastanti il substrato, la frequenza di risonanza  $f_r$  dovuta alla propagazione di onde S incidenti perpendicolarmente la base del substrato è data dalla relazione:

$$f_r = \frac{V_s}{4Z}$$

dove Z è lo spessore dello strato di sedimenti e  $V_s$  dipende dalla velocità delle onde di taglio al suo interno.

In base a tale relazione, quindi, a partire da valori misurati di  $f_r$  e  $V_s$  è possibile stimare lo spessore della coltre sedimentaria di un bacino.

Tuttavia non essendo sempre presente la misura di  $V_s$  come profilo sismico fino al bedrock geofisico allora si può far riferimento alla relazione Ibs-von Seht e Wohlenberg (1999).

Poiché l'andamento del log in  $V_s$  in terreni sedimentari è principalmente regolato dall'incremento del modulo di rigidità al crescere della pressione di confinamento e quindi della profondità, a partire dai valori di  $V_s$  per la porzione più superficiale del terreno, è possibile estrapolare l'andamento delle  $V_s$  a profondità più elevate tramite l'impiego di relazioni empiriche.



Figura 2 - Immagine dello strumento utilizzato per l'acquisizione dei dati

### 6.3. Schede tecniche

In allegato, suddivise per toponimi, vengono riportate le schede di microzonazione sismica per le aree indagate, sia nel periodo Settembre 2010 – Febbraio 2011 che nel periodo Settembre 2012: per ogni area è presente una cartografia planimetrica del punto in cui è stata effettuata la rilevazione, un'immagine da foto aerea (o satellitare) dell'ubicazione del punto, il certificato di ciascuna prova HVSr effettuata e la stima della velocità delle onde di taglio di ciascuna prova realizzata.

Complessivamente son state effettuate n° 22 prove di sismica passiva.

I punti indagati hanno assunto la seguente denominazione:

- “Bolero Est”;
- “Bolero Ovest”;
- “Bastia Est”;
- “Bastia Ovest”;
- “Clementi”;
- “Andrea Costa”;
- “Hatù”;
- “Belvedere”;

- “Michelangelo”;
- “Norma”;
- “Mazzetti – Puccini”;
- “Scuole Rubini – Zacconi”;
- “Coop Italia”;
- “Libertà”;
- “Ceretolo”;
- “Carbonari”;
- “Villa Volpe (solo area Villa Volpe)”;
- “Coop (supermercato)”;
- “Cimarosa-Cilea”;
- “Ex-caserma VV.F”;
- “Vivai Betti”;
- “Albergo del Sole”;
- “Tiro a Volo”.<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> Nell’affidamento di incarico per le aree di riqualificazione da indagare durante il periodo Settembre 2012, il toponimo “Tiro a Volo” non era presente in quanto l’area era già stata oggetto di valutazione sismica qualitativa (senza applicazione della tecnica HVSR) nel primo incarico, svolto tra Settembre 2010 e Febbraio 2011. Nel secondo incarico, all’atto dell’acquisizione dati in campo da parte di REIA S.r.l., si è valutato di attribuire all’area “Vivai Betti” un’informazione identica a quella registrata nell’area “Albergo del Sole”, in virtù di medesime caratteristiche geologiche e geomorfologiche; si è scelto tuttavia di mantenere il numero di prove di sismica passiva previste nel secondo incarico, cioè 12, effettuando un’ulteriore prova di indagine nell’area “Tiro a Volo” per meglio caratterizzare il sito e dare conferma del giudizio qualitativo espresso per quell’area nel primo incarico.

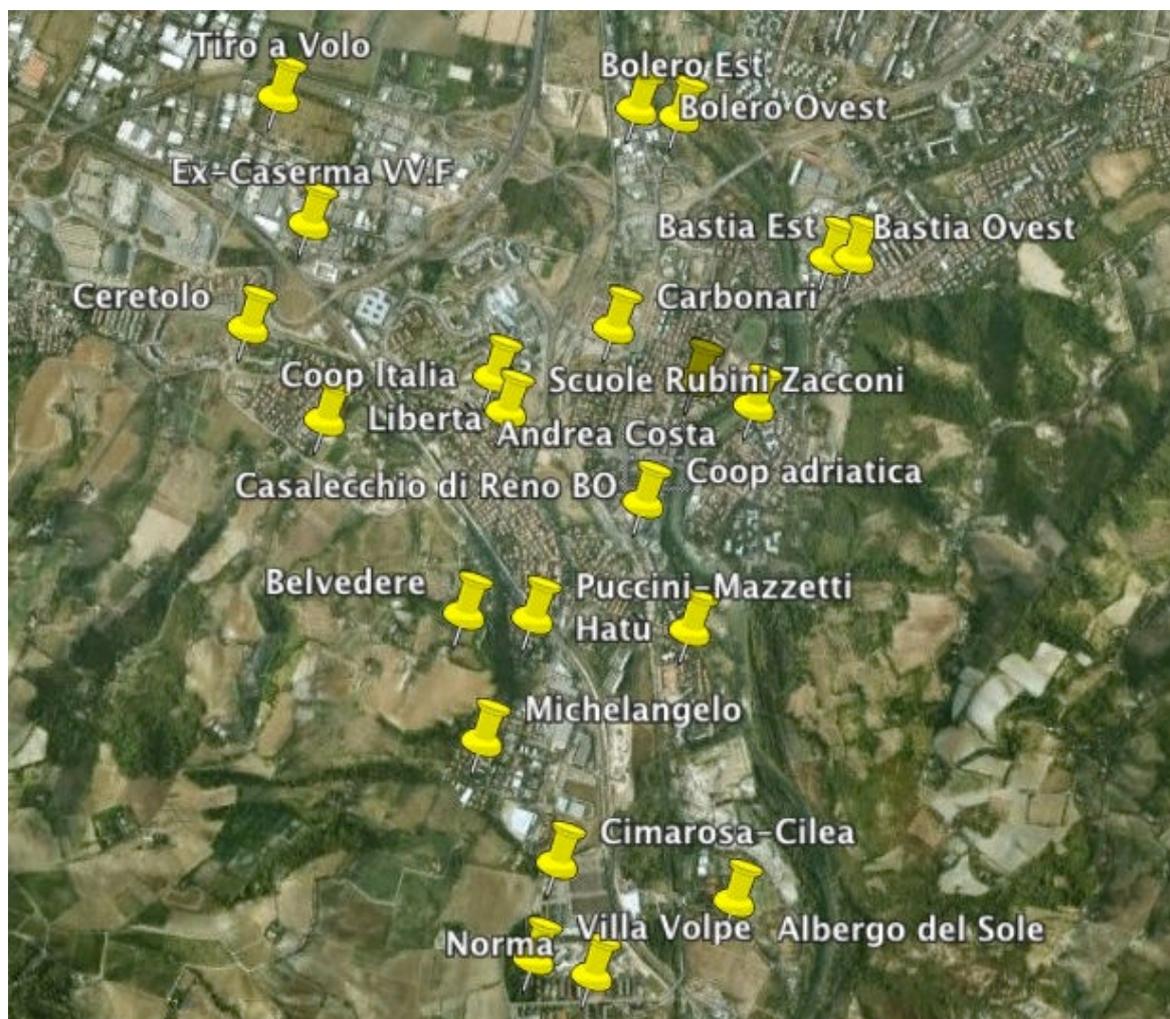


Figura 3 - Ubicazione delle prove di microzonazione sismica, Comune di Casalecchio di Reno (Immagine da Google Earth)

#### 6.4. Cartografie prodotte

Lo studio di Microzonazione Sismica prevede la produzione di cartografia di dettaglio per il primo e secondo livello di indagine.

Per il Comune di Casalecchio di Reno sono state prodotte 7 cartografie complessive:

- Carta delle indagini – Tav. A 1;
- Carta lito-morfologica – Tav. A 2.1, A 2.2, A 2.3, A 2.4;
- Carta delle frequenze naturali dei terreni – Tav. A 3.1, A 3.2, A 3.3, A 3.4, A 3.5;
- Carta degli effetti locali attesi – Rischio Sismico – Tav. A 4.1, A 4.2, A 4.3, A 4.4;
- Carta della velocità delle onde di taglio S ( $V_s$ ) – Tav. A 5;
- Carta dei fattori di amplificazione – Tav. A 6.1, A. 6.2;

- Carta di sintesi – Livelli approfondimento Microzonazione Sismica – Tav. A. 7

La cartografia è stata prodotta in scala 1:5.000 e in scala 1:10.000, a seconda dei livelli di dettaglio richiesti.

I fogli di riferimento sono: 220111, 220112, 220121, 220122, 220123, 220124.

#### Carta delle indagini (scala 1:10.000)

È stata predisposta sulla base delle CTR sopra elencate. Per ogni area di indagine si è evidenziato:

- Sito dove si è effettuata prova di Microzonazione Sismica (con tecnica HVSR);
- Area di riqualificazione urbana individuata dall'amministrazione comunale;
- Ubicazione e tipologia delle prove pregresse;
- Confine comunale

Le prove pregresse sono state recuperate dal database della Regione Emilia-Romagna – Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli, disponibile attraverso la cartografia on-line: queste prove, hanno fornito un supporto ulteriore per descrivere le aree sottoposte a Microzonazione Sismica permettendo di ricostruire la stratigrafia del substrato.

Le prove geognostiche sono state suddivise in 6 categorie:

- Carotaggio continuo;
- CPT con punta dinamica;
- CPT con punta meccanica;
- Prova dinamica generica;
- Sondaggio a distruzione;
- CPT statica.

#### Carta lito-morfologica

La carta degli elementi litologici e morfologici è caratterizzata dalle seguenti informazioni:

- Coperture (Ghiaie, Limi e argille, Frane, Depositi);
- Pendenze (o acclività);
- Alvei attivi;
- Informazioni geologiche lineari (Faglie);
- Affioramenti geologici (Vena del Gesso);
- Confine comunale.

Queste informazioni sono state reperite tramite il Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli della Regione Emilia-Romagna e tramite il Quadro Conoscitivo elaborato dalla Provincia di Bologna per ciò che riguarda la variante al PTCP sul "Rischio Sismico": le informazioni sono state integrate sulla base delle osservazioni in campo per ciò che concerne le informazioni geologiche lineari e gli affioramenti geologici.

Le pendenze sono state divise in 4 categorie: pendenze < 15°, pendenze comprese tra 15°-30°, pendenze comprese tra 30°-50° e pendenze > 50°.

Le informazioni geologiche lineari sono state arricchite con l'inserimento della faglia "Reno-San Luca" sulla sponda destra del fiume Reno nella porzione di territorio compresa anche all'interno della fascia di vegetazione dei "Boschi di San Luca e Destra Reno", nonché dalle faglie Meloncello e Sabbiuno, anch'esse presenti in destra Reno.

Gli affioramenti geologici sono stati implementati inserendo l'area carsica presente in prossimità del toponimo "Ca Bianca", in destra Reno, al confine comunale con Sasso Marconi: tale area appartiene alla formazione "Gessoso-Solfifera" presente anche in sinistra Reno e che prosegue verso Est col nome di "Vena del Gesso".

Per il comune di Casalecchio di Reno sono state prodotte 4 cartografie in grado di rappresentare tutto il territorio comunale, a scala 1:5.000, suddivise in quadranti.

#### Carta delle frequenze naturali dei depositi

La carta delle frequenze naturali dei depositi localizza i siti dov'è stata effettuata l'indagine di Microzonazione Sismica, attribuendo delle categorie in funzione del valore di frequenza registrato.

Si è scelto di aggiungere anche l'immagine del picco di frequenza registrato, per offrire sulla cartografia il dato acquisito nella prova sismica.

Sono state prodotte 5 cartografie in scala 1:5.000 in grado di rappresentare tutto il territorio comunale.

#### Carta degli effetti locali attesi – Rischio Sismico.

La carta degli effetti locali attesi rappresenta l'elemento principale per il 1° livello di Microzonazione Sismica, da cui trarre informazioni per i successivi livelli di approfondimento.

Questa carta è stata redatta tenendo in considerazione le proposte emerse dalla Variante in materia di Rischio Sismico della Provincia di Bologna, che prevede una suddivisione del territorio, sulla base delle informazioni lito-morfologiche, nei differenti livelli di indagine previsti dagli studi di Microzonazione Sismica.

Nello specifico, secondo le indicazioni della Provincia di Bologna, sono stati attribuiti al 3° livello di indagine le seguenti aree:

- Fasce soggette ad amplificazione e potenziali cedimenti differenziali- FAGLIE;
- Aree instabili e soggette ad amplificazione per caratteristiche litologiche e topografiche – FRANE ATTIVE > 15°;
- Aree instabili e soggette ad amplificazioni per caratteristiche litologiche – FRANE;
- Aree potenzialmente instabili e soggette ad amplificazione per caratteristiche litologiche e topografiche – FRANE QUIESCENTI > 15°;
- Aree potenzialmente instabili e soggette ad amplificazioni per caratteristiche litologiche – FRANE QUIESCENTI;
- Aree potenzialmente instabili per scarpate con acclività > 50°;
- Aree soggette ad amplificazione per caratteristiche litologiche e a potenziale liquefazione – SABBIE;

- Aree soggette ad amplificazione per caratteristiche litologiche e a potenziali cedimenti – LIMI e ARGILLE;
- Aree potenzialmente instabili per presenza cavità sotterranee;

Sono stati attribuite al 2° livello di indagine le seguenti aree;

- Aree potenzialmente soggette ad amplificazioni per caratteristiche litologiche e topografiche – DEPOSITI ALLUVIONALI > 30°;
- Aree potenzialmente soggette ad amplificazioni per caratteristiche litologiche;
- Aree potenzialmente soggette ad amplificazioni per caratteristiche litologiche e topografiche;
- Aree potenzialmente instabili per caratteristiche litologiche con pendenze < 15°.

Sono state prodotte 4 cartografie in scala 1:5.000 in grado di descrivere il territorio comunale.

#### Carta delle velocità delle onde di taglio (Vs)

La carta delle velocità delle onde di taglio è predisposta sulla base della carta degli effetti locali attesi a cui si aggiungono le informazioni relative alla profondità del substrato in prossimità delle aree indagate e la Vs correlata.

È stata prodotta 1 cartografia in scala 1:10.000.

#### Carta dei fattori di amplificazione delle aree in cui sono richiesti approfondimenti di secondo livello

La carta dei fattori di amplificazione ha il compito di fornire delle informazioni, quantificate attraverso l'uso di metodologie semplificate come abachi e leggi empiriche, per la pianificazione del territorio. Essere a conoscenza dell'amplificazione sismica locale di un territorio può infatti indirizzare il governo di un'amministrazione verso scelte che tengano conto delle criticità sismiche peculiari di un dato comune.

Partendo dalle aree indagate nel 1° livello di approfondimento, si è proceduto ad ampliare la caratterizzazione sismica anche alle frazioni abitate prossime ai siti dove si è effettuata la Microzonazione Sismica: questo è stato possibile incrociando le informazioni stratigrafiche con quelle topografiche.

Per il calcolo dei fattori di amplificazione si è fatto ricorso all'allegato A2 della Delibera dell'Assemblea Legislativa n° 112 sugli "Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna per la pianificazione territoriale ed urbanistica", in cui sono definito i valori degli abachi dei fattori di amplificazione, tenendo conto delle particolari condizioni litostratigrafiche e topografiche della Regione Emilia-Romagna.

L'abaco che si è scelto di utilizzare per definire i fattori di amplificazione del territorio di Casalecchio di Reno riguarda l'Appennino e il margine Appennino-Padano: si è assunto che il substrato detensionato individuato sopra lo strato superficiale di lavorazione antropica (tipicamente della profondità massima di 2 metri) equivalga ad una copertura pertanto si è scartato l'abaco del substrato affiorante e si utilizzato l'abaco del substrato marino caratterizzato da  $V_s < 800$  m/s, di sotto riportato:

F.A. P.G.A.										
$V_{SH}$ H	200	250	300	350	400	450	500	600	700	800
5	2.0	1.7	1.5	1.4	1.3	1.2	1.2	1.2	1.1	1.0
10	2.3	2.0	1.8	1.6	1.5	1.4	1.3	1.2	1.1	1.0
15	2.5	2.2	1.9	1.8	1.6	1.5	1.4	1.2	1.1	1.0
20	2.3	2.2	2.1	1.9	1.7	1.6	1.4	1.3	1.1	1.0
25	2.1	2.1	2.1	1.9	1.7	1.6	1.5	1.3	1.1	1.0
30	1.9	2.0	2.0	1.9	1.7	1.6	1.5	1.3	1.1	1.0
35	1.8	1.9	2.0	1.9	1.7	1.6	1.5	1.3	1.1	1.0
40	1.7	1.9	2.0	1.8	1.7	1.6	1.5	1.3	1.1	1.0

F.A. INTENSITA' SPETTRALE - 0.1s < To < 0.5s										
$V_{SH}$ H	200	250	300	350	400	450	500	600	700	800
5	1.7	1.5	1.4	1.4	1.4	1.3	1.3	1.2	1.1	1.0
10	2.2	1.9	1.7	1.6	1.5	1.4	1.3	1.2	1.1	1.0
15	2.6	2.2	1.9	1.7	1.6	1.5	1.4	1.2	1.1	1.0
20	2.6	2.5	2.2	1.9	1.7	1.5	1.4	1.2	1.1	1.0
25	2.4	2.6	2.3	2.0	1.8	1.6	1.5	1.3	1.1	1.0
30	2.2	2.4	2.3	2.1	1.9	1.7	1.6	1.3	1.1	1.0
35	2.0	2.2	2.3	2.2	1.9	1.8	1.6	1.4	1.2	1.0
40	1.8	2.0	2.3	2.3	2.1	1.8	1.6	1.4	1.2	1.0

F.A. INTENSITA' SPETTRALE - 0.5s < To < 1.0s										
$V_{SH}$ H	200	250	300	350	400	450	500	600	700	800
5	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.3	1.3	1.2	1.1	1.0
10	1.6	1.5	1.4	1.4	1.4	1.3	1.3	1.3	1.1	1.0
15	1.9	1.7	1.5	1.4	1.4	1.4	1.3	1.3	1.2	1.0
20	2.1	1.9	1.7	1.5	1.4	1.4	1.4	1.3	1.2	1.0
25	2.4	2.4	1.9	1.7	1.5	1.4	1.4	1.3	1.3	1.0
30	2.8	2.8	2.4	1.9	1.6	1.5	1.4	1.3	1.3	1.0
35	3.0	2.9	2.7	2.1	1.7	1.6	1.5	1.3	1.3	1.0
40	3.1	3.0	2.8	2.3	1.9	1.7	1.5	1.4	1.4	1.0

Per definire i valori di ingresso all'abaco, sia per l'altezza del substrato che per la velocità delle onde S del substrato, si sono arrotondati i valori di H e Vs alle unità più vicine. P.e., con H pari a 17 si è scelto un valore di ingresso corrispondente a 15. Con Vs pari a 380 si è scelto un valore di ingresso corrispondente a 400.

I dati in ingresso sono evidenziati per ogni area indagata: sotto a tali valori, sono stati inseriti i valori di Fattore di Amplificazione riscontrati, sia per P.G.A. che per valori di intensità spettrale compresi tra  $0,1s < T_0 < 0,5s$  che tra  $0,5s < T_0 < 1,0s$ .

È stato indagato anche l'effetto topografico per verificare l'eventuale contributo da moltiplicare ai fattori di amplificazione registrati. Sono state prese in considerazione le aree con acclività  $> 15^\circ$ , tuttavia si è riscontrato che tali aree non rientrano nelle aree di indagine per cui il contributo topografico risulta nullo.

Sono state prodotte 2 cartografie in scala 1:5.000 in grado di rappresentare tutto il territorio.

### Carta di sintesi – Livelli di approfondimento della Microzonazione Sismica

In accordo con il Comune di Casalecchio di Reno, si è scelto di produrre una cartografia di sintesi in grado di evidenziare immediatamente quali aree del territorio comunale richiedessero il 2° livello di approfondimento per le indagini di Microzonazione Sismica e quali il 3° livello di approfondimento.

## **7. Conclusioni**

Le indagini di sismica passiva eseguite presso le aree di riqualificazione urbana del PSC di Casalecchio di Reno sono state validate tramite informazioni geologiche dirette (affioramenti, sondaggi) o indirette (penetrometrie e sondaggi) e hanno permesso la ricostruzione dei

parametri di rigidità locale del substrato, indispensabili per valutare il rischio sismico del territorio oggetto di analisi.

Le informazioni su indagini pregresse, sondaggi e penetrometrie in particolare, sia a livello di strumenti urbanistici e di piano utilizzati a differenti livelli (comunale, provinciale e regionale), che a livello di studi geologici, hanno fornito una mole di dati sufficiente a caratterizzare le aree oggetto di studio: il sondaggio effettuato nell'area "Bolero Est", in corrispondenza del parco "ex-Cave" ha colmato la lacuna sulle conoscenze della litologia dell'area di pianura che si sviluppa a Nord dell'asse attrezzato "Bologna-Vignola S.P. 569". L'esito del sondaggio è riportato nell'allegato delle attività svolte nel 1° incarico (Settembre 201 - Febbraio 2011). Laddove le informazioni erano scarse, come nell'area "Scuole Rubini - Zacconi" e "Coop Italia", si è provveduto a ricostruire il profilo delle aree da indagare attraverso la cartografia geologica regionale.

Le informazioni sismiche sono state acquisite grazie alla tecnica della *sismica passiva* (HVSR - Horizontal to Vertical Spectral Ratio): per ogni stazione si è ricostruita la stratigrafia del substrato in modo da invertire i dati ottenuti attraverso l'HVSR con un modello geologico validato. In presenza di discordanze con il modello geologico, si è proceduto ad ulteriori affinamenti e verifiche delle informazioni geologiche sino ad ottenere un valore soddisfacente.

I siti in cui si è applicata la tecnica della *sismica passiva* non presentano la stessa omogeneità litologica: l'area "Bolero" è quasi interamente interessata da ghiaie del conoide, come si riscontra dalla ricostruzione litologica del sondaggio in allegato. I terrazzi attorno al fiume Reno presentano, in buona sostanza, una litologia superficiale con i primi 5 metri caratterizzati da una stratigrafia caratterizzata da ghiaie (meno di 1 metro) a cui seguono livelli di eguale spessore di sabbie-limose e limi-sabbiosi. Al di sotto di questi depositi alluvionali, si trova la roccia, sempre più rigida verso il basso, man mano che si passa lo strato alterato e detensionato superficiale. In direzione dei versanti, i depositi alluvionali sono ricoperti da limi sabbiosi o argillosi prodotti dal ruscellamento di suolo del versante (o colluvio), come nell'area "Belvedere". Le informazioni si fanno più complesse nelle aree di conoide dei rii tributari del Reno, dove non è possibile distinguere una stratigrafia ben precisa e prende il sopravvento la presenza di materiale detritico fine (limi e argille). Tali aree, come si riscontra anche nei sondaggi di *sismica passiva*, mostrano una riduzione delle velocità delle onde  $V_s$  proprio in questi intervalli, con conseguente riduzione delle caratteristiche tecniche del substrato. Tale caratterizzazione del profilo è evidente nell'aree "Michelangelo", "Scuole Rubini-Zacconi", "Puccini-Mazzetti", collocate sopra ad un conoide torrentizio, dove si sono registrate velocità  $V_{s30}$  più basse rispetto alle altre porzioni di territorio considerate.

Basse velocità sono state registrate anche in prossimità dell'alveo del fiume Reno nelle area "Coop Adriatica": infine, anche le indagini svolte nella porzione di territorio più a Nord (aree "Carbonari", "Ex-Caserma VV.F." e "Tiro a Volo") hanno registrato basse velocità delle  $V_{s30}$ .

Si è scelto al momento dell'acquisizione dati, dopo verifiche approfondite sulla base della letteratura disponibile, di attribuire all'area di indagine "Vivai Betti" le stesse informazioni che si possono ricavare dall'area di indagine "Albergo del Sole": quindi si è scelto di non effettuare una prova di microzonazione sismica all'interno dell'area "Vivai Betti" ma di attribuirle le stesse informazioni di frequenza naturale,  $V_{s30}$  e frequenza di amplificazione dell'area "Albergo del Sole", viste le analogie litologiche e geomorfologiche, nonché le informazioni stratigrafiche disponibili.

Si è scelto di effettuare un'indagine di microzonazione sismica nell'area "Tiro a Volo" per dare validazione al giudizio qualitativo espresso nel precedente incarico (Settembre 2010 – Febbraio 2011).

Per riassumere, le aree che sono state oggetto d'indagine ed inserite in categoria di sottosuolo B ( $V_{s30}$  comprese tra 360 m/s e 800 m/s), sono:

per l'indagine svolta tra Settembre 2010 e Febbraio 2011

- "Bastia Est" e "Bolero Ovest";
- "Belvedere";
- "Bolero Est" e "Bolero Ovest";
- "Andrea Costa";
- "Clementi";
- "Hatù";
- "Norma";

per l'indagine svolta a Settembre 2012

- "Ceretolo";
- "Libertà";
- "Coop Italia";
- "Cimarosa-Cilea";
- "Villa Volpe";
- "Albergo del Sole".

Le aree che sono state inserite nella categoria di suolo C ( $V_s$  comprese tra 180 m/s e 360 m/s) sono:

per l'indagine svolta tra Settembre 2010 e Febbraio 2011

- "Michelangelo";

per l'indagine svolta a Settembre 2012

- "Scuole Rubini-Zacconi";
- "Puccini-Mazzetti";
- "Coop Adriatica";
- "Carbonari";
- "Ex-Caserma VV.F.";
- "Tiro a Volo".

Entrando nel merito delle aree che sono indicate con categoria di suolo C, è opportuno precisare quanto segue:

- l'area "Michelangelo" è stata inserita prudenzialmente nella categoria di sottosuolo C per una velocità delle  $V_{s30}$  non eccessivamente alta (403 m/s) e per la presenza di un deposito di colluvio complice di peggiorare la qualità del substrato. Questo tipo

di classificazione risulta in armonia con studi di microzonazione effettuati per altri comuni, dov'è stato mantenuto un approccio cautelativo nelle aree in cui il valore delle  $V_{s30}$  è *border line*, il che si traduce in una sovrastima dell'informazione acquisita con la *sismica passiva*, con un relativo abbassamento della categoria di suolo, in particolare nelle aree dove la struttura litologica risulta lateralmente molto variabile;

- l'area "Scuole Rubini-Zacconi" presenta una velocità molto bassa ed un contrasto di impedenza tra 3 e 14 metri di profondità dal piano campagna: questa informazione ottenuta tramite l'HVSR ci permette di comprendere che la qualità del terreno è indubbiamente scarsa e che il substrato è fortemente detensionato. Non sono presenti indagini geognostiche in prossimità dell'area per cui risulterà indispensabile compiere una campagna di indagini sismiche approfondita per ricostruire la stratigrafia del terreno nel momento in cui si dovrà intervenire per la riqualificazione urbana dell'area;
- l'area "Puccini-Mazzetti" presenta la velocità più bassa registrata in tutta la campagna di acquisizione dati svolta nei 2 incarichi, pari a 285 m/s: l'origine di questo risultato, non completamente atteso, è ascrivibile in parte alla presenza del detrito di colluvio che si è accumulato nel tempo, proveniente dalla scarpata in prossimità dell'area "Belvedere". È allo stesso tempo certo che ad una profondità compresa tra i 10-15 metri si debba registrare un'accelerazione della  $V_{s30}$  per la presenza del terrazzo alluvionale del Reno. In realtà non si è avuta evidenza di questa informazione nella lettura delle velocità acquisite tramite lo strumento di acquisizione dati e il software di elaborazione, pertanto risulterà indispensabile effettuare un'indagine sismica approfondita all'avvio dell'intervento di riqualificazione urbana;
- le aree "Coop Adriatica", "Carbonari" ed "Ex-Caserma VV.F." presentano dei risultati facilmente attendibili, vista la natura litologica del substrato presente;
- l'area "Tiro a Volo", per cui si è voluto effettuare un'indagine di sismica passiva per confermare il giudizio qualitativo espresso nella prima campagna di indagini di Settembre 2010 – Febbraio 2011, presenta un valore di  $V_{s30}$  basso, ma compatibile con il substrato litologico presente nell'area. Inoltre si evidenzia la presenza di un contrasto di impedenza probabilmente dovuto alla presenza di una falda acquifera.

Alla luce dei dati di frequenza naturale ottenuti nelle aree indagate nel 2° incarico (Settembre 2012), è importante fare le seguenti considerazioni relativamente alle informazioni ottenute nel 1° incarico (Settembre 2010 – Febbraio 2011):

- la frequenza naturale registrata con la tecnica HVSR nella stazione "Bastia Est" risulta troppo elevata: pertanto la frequenza registrata nella stazione "Bastia Ovest" può essere rappresentativa di entrambe le aree;
- la frequenza naturale registrata nella stazione "Norma" risulta essere troppo elevata: si ritiene che la frequenza registrata nell'area "Villa Volpe" possa essere rappresentativa anche dell'area "Norma";
- le frequenze naturali registrate nelle aree "Hatù", "Andrea Costa" e "Clementi" risultano anch'esse troppo elevate e possono essere rappresentate dalla frequenza registrata nell'area "Coop Adriatica".

Ampliando il discorso al territorio comunale di Casalecchio di Reno, si può affermare che quasi tutto il territorio urbanizzato o da urbanizzare, prevede un secondo livello di approfondimento per le indagini di microzonazione sismica: le aree soggette ad un terzo livello sono rappresentate esclusivamente dai corpi di frana, dalle aree con acclività > 50° e dalle aree che presentano cavità. Queste ultime 2 aree sono di modeste dimensioni e confinate nella porzione collinare in destra Reno dove non sono previste urbanizzazioni. Per ciò che concerne i corpi di frana, si ritiene importante sottolineare che è buon senso evitare di costruire in aree che presentano forti criticità come le zone in dissesto, indipendentemente dalla classificazione “frane attive” o “frane quiescenti”, per cui riteniamo che non debbano essere previste urbanizzazioni in queste aree.

### Elementi per ValSAT

Gli elementi principali da considerare ai fini della tutela dal rischio sismico sono vulnerabilità ed esposizione. La vulnerabilità esprime un fattore di rischio dipendente dalla tipologia di costruzione realizzata nel territorio urbano: per ridurre la vulnerabilità bisogna osservare attentamente i criteri normativi di costruzione e verificare che la frequenza naturale del terreno sia in fase con la frequenza di risposta dell'edificio ad un evento sismico. L'esposizione esprime il fattore relativo al numero di individui che possono subire un danno a seguito di un evento sismico. L'esposizione è quindi strettamente correlata alla categoria di suolo cui si riferisce l'area oggetto di indagine e quindi alla velocità delle onde S nei primi 30 metri di profondità (Vs30).

La prevenzione si ottiene agendo direttamente su Vulnerabilità ed Esposizione.

Assicurare condizioni ottimali per la sicurezza delle persone		
Obiettivi generali	Obiettivi specifici	Riferimenti
Ridurre o eliminare la vulnerabilità al rischio sismico	<p>Individuare correttamente la frequenza naturale del terreno e la frequenza di amplificazione sismica, attraverso accurate indagini sismiche.</p> <p>Ottemperare al rispetto della normativa sulle costruzioni, offrendo riscontro della verifica della conformità dell'edificio ai requisiti sismici.</p>	<p>Indagine di Microzonazione Sismica del Comune di Casalecchio di Reno.</p> <p>Tavola delle frequenze naturali registrate.</p> <p>Tavola della frequenza di amplificazione calcolata.</p>
Ridurre o eliminare l'esposizione al rischio sismico	<p>Evitare la realizzazione di edifici strategici (ospedale, scuola, palestra, ecc.) in aree individuate con categorie di suolo C e D.</p> <p>Intervenire, laddove le aree indagate abbiano individuato una propensione ai fenomeni di amplificazione sismica, con tecniche costruttive in grado di migliorare la sicurezza degli edifici.</p>	<p>Indagine di Microzonazione Sismica del Comune di Casalecchio di Reno.</p> <p>Tavola Rischio Sismico.</p> <p>Tavola delle Vs.</p>

### Prescrizioni

Si suggerisce di effettuare un numero di indagini sismiche adeguato alle dimensioni delle aree da riqualificare: per fare un esempio, per superfici piccole e corrispondenti al massimo al perimetro di un isolato bisogna effettuare almeno 4 prove geognostiche abbinate ad un'acquisizione dati tramite prove MASW (tipo di prospezioni sismiche diffuse per l'acquisizione dati delle  $V_s30$ ) o sismica in foro per la definizione dei profili di velocità delle onde. In questi casi è sufficiente almeno un sondaggio a carotaggio continuo che raggiunga i 30 metri e, per le restanti prove, si possono effettuare delle prove penetrometriche (per esempio CPT). Rientrano sicuramente all'interno di queste prescrizioni minime le aree: "Clementi", "Andrea Costa", "Ex-Caserma VV.F.", "Ceretolo", "Libertà", "Coop Italia", "Coop Adriatica", "Cimarosa-Cilea" e "Villa Volpe". Le aree "Scuole Rubini-Zacconi" e "Puccini-Mazzetti" necessitano di indagini più approfondite che siano in grado di descrivere bene la stratigrafia del sottosuolo e che possano spiegare il basso valore di  $V_s30$  registrato nelle indagini eseguite.

Se la superficie dell'area da riqualificare aumenta, si chiede un numero di prove geognostiche maggiore in maniera tale da riuscire a caratterizzare i primi 30 metri di sottosuolo. Tutte le aree non precedentemente elencate rientrano all'interno di queste prescrizioni. In particolare, le aree "Vivai Betti" e "Albergo del Sole" necessitano di un maggior numero di prove vista la maggiore superficie.

I dati geologici e di pericolosità sismica emersi sono propedeutici per valutare gli approfondimenti necessari nelle successive fasi pianificazione di Piano Operativo Comunale (P.O.C.) e/o di Piano Urbano Attuativo (P.U.A.).

Nelle aree soggette ad intervento di riqualificazione urbana o nuova urbanizzazione, che rientrano nel 2° livello di approfondimento (Vedi Tav. A.7), si dovrà determinare, come descritto dalle indicazioni della Delibera dell'Assemblea Legislativa n° 112 del 2007 della Regione Emilia-Romagna (Allegato A2), quanto segue:

- profondità del "bedrock" sismico locale per un perimetro relativo alle aree di intervento;
- velocità delle onde di taglio  $V_s$  nei primi 30 metri dal piano campagna ( $V_s30$ ), misurate con strumentazione idonea ad ottenere un grado di definizione elevato;
- coefficienti di amplificazione sismica delle aree suscettibili di effetti locali, in termini di accelerazione massima orizzontale (P.G.A./P.G.A<sub>0</sub>) e di intensità di "Housner" (S.I./S.I<sub>0</sub>).

Nelle aree soggette ad intervento di riqualificazione urbana o nuova urbanizzazione, che rientrano nel 3° livello di approfondimento (Vedi Tav. A.7), in particolare nelle aree di seguito elencate come da normativa:

- aree soggette a liquefazione e densificazione;
- aree instabili (frane attive) e potenzialmente instabili (frane quiescenti);
- aree in cui le coperture hanno spessore fortemente variabile;
- aree in cui è prevista la realizzazione di opere a rilevante interesse pubblico (scuole, ospedali, ecc.).

dovranno essere effettuate analisi ulteriori a quelle previste per il 2° livello di approfondimento precedentemente descritte e che consistono in:

- definizione degli spettri di risposta sismica delle aree critiche, per un periodo di ritorno di 475 anni e smorzamento pari al 5%;
- esecuzione di prove geognostiche in sito ed in laboratorio;
- determinazione dell'indice di potenziale di liquefazione  $I_L$  in funzione del Fattore di Sicurezza  $F_L$ , a sua volta in funzione della resistenza ciclica normalizzata (C.R.R.) e della tensione indotta dal terremoto (C.S.R.);
- calcolo dei cedimenti post-sismici in terreni granulari e coesivi.

La definizione dei Fattori di Amplificazione (F.A.) sarà ricavata da apposita modellistica di simulazione sismica secondo le necessità. I criteri di elaborazione ed i dati di ingresso dovranno essere esposti, anche in formato numerico, nella relazione geologica che accompagna l'intervento urbano.

Il numero e la qualità delle prove ed indagini geologiche e geofisiche dovrà essere adeguato all'importanza degli eventi sismici attesi, all'ampiezza delle aree oggetto di intervento ed alla possibilità di liquefazione dei sedimenti saturi.

In fase esecutiva le nuove opere dovranno essere progettate e realizzate in conformità con quanto previsto dal Decreto Ministeriale del 14 gennaio 2008 "Norme tecniche per le costruzioni", entrato in vigore il 1 luglio 2009.

## 8. Bibliografia

Boccaletti, M., M. Coli, C. Eva, G. Ferrari, G. Giglia, A. Lazzarotto, A. Merlanti, F. Nicolich, R. Papani, and G. Postpischl (1985), Considerations on the seismotectonics of the Northern Apennines, *Tectonophysics*, 117, 7-38.

Boccaletti, M., M. Bonini, G. Corti, P. Gasperini, L. Martelli, L. Piccardi, C. Tanini, and G. Vannucci (2004), Seismotectonic map of the Emilia-Romagna Region, 1:250,000, Regione Emilia-Romagna-CNR, SELCA, Firenze, Italy.

Boccaletti, M., Corti G., Martelli L., 2010 - Recent and active tectonics of the external zone of the Northern Apennines. *Int. Journ. Earth Sciences (Geol. Rundsch.)*, DOI 10.1007/s00531-010-0545-y

DISS Working Group, 2010 - Database of Individual Seismogenic Sources (DISS), Version 3.1.1: A compilation of potential sources for earthquakes larger than M 5.5 in Italy and surrounding areas. <http://diss.rm.ingv.it/diss/>, © INGV 2010 - Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia - All rights reserved.

Picotti V., and F. J. Pazzaglia (2008), A new active tectonic model for the construction of the Northern Apennines mountain front near Bologna (Italy), *J. Geophys. Res.*, 113, B08412, doi:10.1029/2007JB005307

Picotti V., Ponza A., and Pazzaglia, F.J., 2009 - Topographic expression of active faults in the foothills of the Northern Apennines. *Tectonophysics*, 474, 285-294

Progeo S.r.l. - Microzonazione sismica, HVSR Nakamura

## **Allegati indagine di Microzonazione Sismica**

# **Schede Tecniche e Sondaggio area “Bolero Est”**

**Periodo: Settembre 2010 – Febbraio 2011  
Settembre 2012**

<b>Scheda tecnica “Bolero”</b>	<b>pag. 31</b>
<b>Scheda tecnica “Bastia”</b>	<b>pag. 39</b>
<b>Scheda tecnica “Belvedere”</b>	<b>pag. 45</b>
<b>Scheda tecnica “Andrea Costa”</b>	<b>pag. 49</b>
<b>Scheda tecnica “Clementi”</b>	<b>pag. 53</b>
<b>Scheda tecnica “Hatù”</b>	<b>pag. 57</b>
<b>Scheda tecnica “Norma”</b>	<b>pag. 61</b>
<b>Scheda tecnica “Michelangelo”</b>	<b>pag. 65</b>
<b>Scheda tecnica “Ceretolo”</b>	<b>pag. 69</b>
<b>Scheda tecnica “Libertà”</b>	<b>pag. 75</b>
<b>Scheda tecnica “Scuole Rubini-Zacconi”</b>	<b>pag. 81</b>
<b>Scheda tecnica “Coop Italia”</b>	<b>pag. 87</b>
<b>Scheda tecnica “Puccini-Mazzetti”</b>	<b>pag. 93</b>
<b>Scheda tecnica “Cimarosa-Cilea”</b>	<b>pag. 99</b>
<b>Scheda tecnica “Villa Volpe”</b>	<b>pag. 105</b>
<b>Scheda tecnica “Albergo del Sole”</b>	<b>pag. 111</b>
<b>Scheda tecnica “Coop Adriatica”</b>	<b>pag. 117</b>
<b>Scheda tecnica “Carbonari”</b>	<b>pag. 123</b>
<b>Scheda tecnica “Ex-Caserma VV.F.”</b>	<b>pag. 129</b>
<b>Scheda tecnica “Tiro a Volo”</b>	<b>pag. 135</b>
<b>Sondaggio area “Bolero”</b>	<b>pag. 141</b>

