

REGIONE
TOSCANA



Direzione Generale Ambiente,
Energia e Cambiamenti Climatici
Prevenzione Sismica



PROTEZIONE CIVILE

Presidenza del Consiglio dei Ministri
Dipartimento della Protezione Civile



CONFERENZA DELLE REGIONI E
DELLE PROVINCE AUTONOME

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

MICROZONAZIONE SISMICA

Relazione Illustrativa
COMUNE DI POPPI
Novembre 2013



Veduta panoramica del centro storico di Poppi

<http://www.comune.poppi.ar.it/multimedia/gallerie-immagini>

a cura di:

P. Fabbroni¹, M. Baglione¹, V. D'Intinosante¹, V. Nencini¹

con la collaborazione tecnica di: C. Caputo²

¹ Regione Toscana – Direzione Generale Ambiente, Energia e Cambiamenti Climatici – Ufficio Tecnico del Genio Civile Area Vasta Firenze, Arezzo, Prato e Pistoia Prevenzione Sismica; Via S. Gallo 34a, 50134 Firenze – Tel. 055/4389055 Fax 055/4389072 – www.rete.toscana.it/sett/pta/sismica - sismica@regione.toscana.it

² Università di Firenze Dipartimento Ingegneria Civile Ambientale – svolgimento tirocinio formativo presso Regione Toscana – Direzione Generale Ambiente, Energia e Cambiamenti Climatici – Ufficio Tecnico del Genio Civile Area Vasta Firenze, Arezzo, Prato e Pistoia Prevenzione Sismica; Via S. Gallo 34a, 50134 Firenze

INDICE

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------------|----------------|
| 1.0. Introduzione..... | Pag. 3 |
| 2.0. Definizione della pericolosità di base e degli eventi di riferimento..... | Pag. 15 |
| 3.0 Assetto geologico e geomorfologico dell'area..... | Pag.21 |
| 4.0 Dati geotecnici e geofisici..... | Pag.36 |
| 5.0 Modello del sottosuolo | Pag.38 |
| 6.0. Interpretazioni ed incertezze..... | Pag. 40 |
| 7.0 Metodologie di elaborazione e risultati | Pag.41 |
| 8.0 Elaborati cartografici | .Pag.67 |
| 9.0 Bibliografia..... | Pag.79 |
| APPENDICE 1 (sezioni geologico-tecniche) | Pag.80 |

1.0. Introduzione

Premessa

L'attività di valutazione su un territorio (alla scala comunale) delle modificazioni apportate allo scuotimento del suolo dalle condizioni geologico-tecniche locali e dalle condizioni topografiche locali viene chiamata **microzonazione sismica (MS)**.

Tale attività rientra in un quadro più generale nei programmi di prevenzione e di mitigazione degli effetti di un terremoto, in cui è necessario individuare in via preliminare con criteri speditivi le zone a più elevato rischio sismico da sottoporre a studi particolareggiati.

Si definiscono “**condizioni locali di sito**”:

- la geologia e la geomorfologia locale;
- condizioni geotecniche e stratigrafiche locali;
- prossimità ad una faglia sismicamente attiva.

Le condizioni locali di sito sono responsabili degli effetti locali di sito che possono schematicamente essere così riassunti:

- modifica delle caratteristiche dello scuotimento rispetto a quanto definito in termini di pericolosità di base;
- fenomeni di instabilità del terreno.

Per ciò che attiene alla modifica del moto sismico, si tratta di definire la **pericolosità sismica locale**. Ciò comporta in generale un'amplificazione del moto sismico, la cui causa è riconducibile a motivi stratigrafici (presenza di depositi soffici poggianti su substrato roccioso), topografici (amplificazione del moto sismico lungo pendii o alla sommità di scarpate o pendii) oppure riferibile alla presenza di particolari geometrie sepolte, in grado di modificare le caratteristiche del moto sismico sia in termini di intensità sia per quanto concerne il contenuto spettrale.

Per ciò che attiene ai fenomeni di instabilità dei terreni e delle rocce gli aspetti rilevanti sono quelli che riguardano:

- liquefazione e/o densificazione dei depositi sabbiosi;
- eccessivi cedimenti e deformazioni permanenti del suolo;
- instabilità di pendio in terreni e roccia;
- attività di faglia.

Danni consistenti possono ricorrere quando la frequenza di risonanza di un terreno (depositi alluvionali, falde di detrito) raggiunta durante un evento sismico corrisponde a quella propria dell'edificio (fenomeno della doppia risonanza).

La pericolosità di base è di norma definita mediante approccio di tipo probabilistico. In generale, per la determinazione della pericolosità di base è necessario definire:

- la sismicità storica;
- le zone sismogenetiche;
- le relazioni di attenuazione;
- le leggi di ricorrenza.

A tal fine è necessario raccogliere e interpretare dati e informazioni riguardanti la sismicità regionale, la sismo-tettonica, dati e registrazioni ottenuti da reti sismiche nazionali e locali.

Per quanto riguarda la stima della pericolosità sismica locale, essa è da ricondurre ad una serie di caratteri geologico-tecnici di un'area più o meno ampia che viene presa in esame. Tali caratteri geologico tecnici come è noto riguardano: la morfologia di superficie, la morfologia sepolta, le litologie, le caratteristiche fisico meccaniche, le condizioni idrogeologiche s.l. Queste condizioni infatti oltre ad essere causa di possibile amplificazione degli effetti sismici possono provocare i

cosiddetti fenomeni indotti, quali: attivazione e rimobilizzazione di fenomeni gravitativi, liquefazione in terreni granulari saturi, deformazioni permanenti in terreni di fondazione.

La **valutazione degli effetti locali** di amplificazione del moto sismico e quindi la pericolosità sismica locale sono di norma valutati attraverso analisi di risposta sismica locale dei depositi di terreno.

Tutti i dati così acquisiti saranno organizzati in banche dati geografiche (GIS) al fine di omogeneizzare le procedure di acquisizione, archiviazione e gestione oltre che per la rappresentazione cartografica.

A riguardo la normativa di riferimento (D.M. 14.09.2008) consente di valutare gli effetti locali di amplificazione del moto sismico sia in modo semplificato, sia con modalità analitiche più rigorose.

Uno degli aspetti più importanti di queste normative è quello di definire e di valutare l'amplificazione sismica dei terreni sulla base della definizione del parametro V_s , cioè della velocità delle onde di taglio.

Metodologia di lavoro e obiettivi

Nell'ambito delle attività di microzonazione sismica previste per l'Attuazione dell'articolo 11 della legge 24 giugno 2009, n.77 e finanziate dall'OPCM 3907/2010, il Settore Coordinamento Regionale Prevenzione Sismica è stato incaricato dal Comune di Poppi, mediante la stipula di apposita convenzione di collaborazione tecnica, per la predisposizione degli studi di Microzonazione Sismica Comunale (di seguito MS) nel rispetto degli "Indirizzi e Criteri di Microzonazione Sismica Nazionale" (di seguito ICMS) e delle specifiche tecniche regionali per la microzonazione sismica approvate con Deliberazione di G.R.T. n.261/2011.

Nei citati ICMS vengono definite le procedure, le metodologie di analisi al fine di individuare e caratterizzare le zone stabili, le zone stabili suscettibili di amplificazione locale del moto sismico e le zone suscettibili di instabilità.

La realizzazione di uno studio di MS, secondo quanto esplicitato nei suddetti ICMS, è uno strumento conoscitivo dalle diverse potenzialità, che ha costi differenziati in funzione del livello di approfondimento.

Al momento di decidere l'esecuzione e il livello dello studio, occorre tener presente l'utilità che da esso può derivare, in modo da compararla con i costi da affrontare. Il miglioramento della conoscenza prodotto dagli studi di MS può contribuire concretamente, insieme a studi di vulnerabilità ed esposizione, all'ottimizzazione delle risorse rese disponibili per interventi mirati alla mitigazione del rischio sismico.

In funzione dei diversi contesti e dei diversi obiettivi gli studi di MS possono essere effettuati a vari livelli di approfondimento, con complessità ed impegno crescenti, passando dal livello 1 fino al livello 3. Il livello 1 è un livello propedeutico ai veri e propri studi di MS, in quanto consiste in una raccolta di dati preesistenti, esecuzione di nuove indagini in situ e realizzazione di elaborati per suddividere il territorio in microzone qualitativamente omogenee. Il livello 2 introduce l'elemento quantitativo associato alle zone omogenee, utilizzando ulteriori e mirate indagini, ove necessarie, e definisce una vera carta di MS. Infine il livello 3 restituisce una carta di MS con approfondimenti su tematiche o aree particolari.

Nello specifico la MS individua e caratterizza:

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

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

Per la definizione delle zone e della loro perimetrazione si rimanda a quanto definito al par. 1.6.3.1.2 degli ICMS.

Gli studi di MS rivestono una notevole importanza nella pianificazione territoriale, fornendo una base conoscitiva della pericolosità sismica locale, al fine di stabilire gerarchie di pericolosità utili per la programmazione di interventi di riduzione del rischio sismico a varie scale, orientare la scelta di aree per nuovi insediamenti, definire gli interventi ammissibili in una determinata area, programmare le indagini e i livelli di approfondimento, stabilire orientamenti, modalità e priorità di intervento nelle aree urbanizzate.

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

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

In particolare possono essere predisposti i seguenti livelli:

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

Va sottolineato che i livelli 1 e 2 di MS servono solo per la pianificazione territoriale, mentre il livello 3 di MS può fornire utili indicazioni per la progettazione delle opere.

Per una maggiore definizione dei livelli di approfondimento sismico si rimanda al par.1.6.3 degli ICMS.

Per ognuno dei livelli di approfondimento individuati è obbligatorio:

- la realizzazione di opportune indagini geologiche, geofisiche e geotecniche al fine di definire il quadro conoscitivo;
- l'effettuazione di opportune analisi ed elaborazioni;
- la predisposizione di risultati finali.

Le tabelle riepilogative sottostanti (da tabella 1.1 a tabella 1.3) forniscono un quadro di sintesi del quadro conoscitivo minimo che deve essere raggiunto per ogni livello sulla scorta delle indicazioni contenute al par.1.6.3 degli ICMS.

Tab. 1.1 – Sintesi del quadro conoscitivo del livello 1

| | |
|-------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| INDAGINI MINIME OBBLIGATORIE | <ol style="list-style-type: none"> 1) <u>Raccolta di tutti i dati pregressi esistenti nell'area</u>: rilievi geologici, geomorfologici, geologico-tecnici, indagini geofisiche, sondaggi e stratigrafie desunte da pozzi; 2) <u>Rilevamenti geologici di controllo sul terreno</u>; 3) <u>Nuove indagini: Esecuzione di ulteriori indagini geofisiche e geotecniche</u>, qualora la raccolta dei dati pregressi non consenta la ricostruzione di un quadro conoscitivo sufficientemente attendibile rispetto agli obiettivi del livello 1; 4) <u>Misura passiva del rumore ambientale</u>, mediante tecnica a stazione singola; |
| ANALISI ED ELABORAZIONI | <ul style="list-style-type: none"> • <u>Sintesi dei dati e delle cartografie disponibili</u>; • <u>Rilettura, sintesi dei dati ed eventuali nuovi rilievi geologici</u>. |
| PRODOTTI FINALI OBBLIGATORI | <ul style="list-style-type: none"> • <u>Carta delle indagini</u> (sia esistenti che di nuova realizzazione); • <u>Carta geologico-tecnica per la microzonazione sismica</u> almeno alla scala 1:5.000-1.10.000; • <u>Carta delle Microzone omogenee in prospettiva sismica (MOPS)</u> almeno alla scala 1:5.000-1.10.000; • <u>Relazione tecnica illustrativa della carta MOPS</u>; • <u>Carta delle frequenze fondamentali dei depositi</u>. |

Il principale elaborato previsto in questo livello è la ***Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (MOPS)***. Questa carta individua le microzone ove, sulla base di osservazioni geologiche e geomorfologiche e in relazione all'acquisizione, valutazione ed analisi dei dati geognostici e di alcune tipologie di dati geofisici, è prevedibile l'occorrenza di diverse tipologie di effetti prodotti dall'azione sismica (amplificazioni, instabilità di versante, liquefazione, ecc.). Di particolare importanza a questo scopo risulta la ricostruzione del modello geologico-tecnico dell'area, l'individuazione dei litotipi che possono costituire il substrato rigido (ovvero dei materiali caratterizzati da valori delle velocità di propagazione delle onde di taglio S significativamente maggiori di quelli relativi alle coperture localmente presenti) accompagnata da una stima approssimativa della loro profondità rispetto al piano di campagna (del tipo: "qualche metro", "una decina di metri", "alcune decine di metri", "oltre i 100 metri"), una stima di massima del contrasto di impedenza sismica atteso (del tipo: "alto" o "basso"). Di particolare importanza sarà l'individuazione di eventuali discontinuità e morfologie sepolte potenzialmente in grado di causare inversioni della velocità di propagazione delle onde di taglio ed effetti di RSL bi- e tri-dimensionali. Pertanto, per acquisire tali informazioni di tipo semiquantitativo al fine di consentire la predisposizione della cartografia delle *Microzone Omogenee in prospettiva sismica (MOPS)* si ritiene che sia necessaria l'acquisizione, oltre alle informazioni già previste al par. 1.6.3.1.2 degli ICMS, dei risultati di indagini geofisiche utili alla ricostruzione geometrica dei corpi sepolti (sismica a rifrazione, ERT, gravimetria, ecc.) e alla individuazione di eventuali contrasti di impedenza sismica e possibili fenomeni di risonanza (campagne di misura delle frequenze naturali di sito da vibrazioni ambientali o da terremoti).

Per meglio rappresentare queste caratteristiche la carta dovrà essere corredata da sezioni geolito-logiche rappresentative della situazione lito-stratigrafica e strutturale presente.

Attraverso questo livello, quindi, sarà possibile:

- la definizione delle caratteristiche litologiche e geometriche delle unità geologiche del sottosuolo;
- l'individuazione delle aree a minore pericolosità locale (zone stabili);
- l'individuazione delle aree per le quali sono necessari ulteriori livelli di approfondimento;
- definire il livello di approfondimento richiesto nelle aree che necessitano di approfondimenti;

- la programmazione di indagini di approfondimento, sulla base delle diverse tipologie di effetti attesi.

Nell'ambito di questo livello di approfondimento, potrà anche essere possibile fornire una preliminare indicazione sulle situazioni geologiche e morfologiche complesse per le quali può essere presumibile che l'approccio semplificato previsto dalle NTC (2008) non sia da ritenersi idoneo per una stima corretta della RSL. Si precisa però che tale indicazione rientra nell'ambito della raccolta di informazioni e non può essere direttamente applicabile in questa prima fase; al contrario dovrà comunque essere approfondita nei successivi livelli di MS al fine di un suo possibile utilizzo diretto in fase di pianificazione territoriale e di progettazione edilizia.

Un elenco delle possibili situazioni geologiche e morfologiche complesse viene sinteticamente proposto sotto:

- geometria articolata del substrato rigido sepolto alla scala di interesse (presenza di paleoalvei, substrato rigido deformato da strutture tettoniche, andamento del substrato a *Horst* e *Graben*, ...);
- zona di raccordo tra rilievo e pianura (zona di unghia con substrato rigido sepolto in approfondimento sotto la pianura, in maniera continua o discontinua);
- geometria del substrato rigido che crea una valle stretta colmata di sedimenti soffici ($C > 0.25$, dove C è il coefficiente di forma, $C = h/l$, dove h è lo spessore della coltre alluvionale e l è la sua semi-ampiezza)
- successione litostratigrafica che preveda terreni rigidi su terreni soffici (possibile profilo di V_s con inversioni di velocità);
- substrato rigido profondo alcune decine di metri;
- presenza di marcati contrasti di impedenza sismica;
- presenza di possibili cavità sepolte;
- eventuale presenza di aree soggette a instabilità.

Per la predisposizione della **cartografia delle indagini** e delle **cartografia delle Microzonazione Omogenee in prospettiva sismica (MOPS)** si rimanda ai par. 2.2 e 2.3 degli ICMS in cui vengono presentate le procedure di riferimento per la realizzazione delle suddette carte.

Per una stima del livello di qualità raggiunto per la redazione delle cartografie del livello 1 si deve fare riferimento alla procedura semi-quantitativa definita dal Gruppo di Lavoro MS (rapporto interno del DPC – 2011) e meglio definita in Appendice 1.

Tale procedura deve essere utilizzata in due differenti fasi:

- in fase di predisposizione dello studio di MS di livello 1 dal soggetto realizzatore, al fine di poter valutare se il quadro conoscitivo desunto sia sufficiente per la redazione dello studio di MS di livello 1 o se al contrario debbano essere effettuati approfondimenti di indagine, anche in relazione alla complessità geologico-tecnica dell'area;
- in fase di controllo sui risultati prodotti, da parte del soggetto validatore, come strumento di ausilio e supporto in fase istruttoria.

Per la redazione delle **cartografie geologico-tecniche per la microzonazione sismica** si dovrà fare riferimento ai criteri di cui al par. 3.4.2 degli ICMS e dovranno essere rispettate le legende previste all'interno degli "Standard di Rappresentazione e Archiviazione Informatica" redatti dal DPC (versione 3 – Ottobre 2013).

Per la redazione delle **relazioni tecniche illustrative** si rimanda alle indicazioni contenute al par.1.6.4 degli ICMS.

Tab. 1.2 – Sintesi del quadro conoscitivo del livello 2

| | |
|-------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| INDAGINI MINIME OBBLIGATORIE | 5) <u>Programmazione ed esecuzione di nuove indagini</u> : indagini geofisiche attive di superficie, prove geofisiche in foro, sondaggi geognostici, prove geotecniche in situ e in laboratorio |
| ANALISI ED ELABORAZIONI | <ul style="list-style-type: none"> • <u>Correlazioni e confronto con i risultati del livello 1.</u> • <u>Definizione del modello geologico-tecnico di sottosuolo.</u> • <u>Predisposizione di abachi per i fattori di amplificazione, abachi e formule empiriche per le instabilità di versante e per la liquefazione.</u> |
| PRODOTTI FINALI OBBLIGATORI | <ul style="list-style-type: none"> • <u>Carta delle indagini</u>, implementata rispetto a quella del livello 1 con le nuove indagini; • <u>Carta di Microzonazione Sismica</u> almeno alla scala 1:5.000-1.10.000; • <u>Relazione tecnica illustrativa della Carta di Microzonazione Sismica.</u> |

Per la predisposizione delle **cartografie di Microzonazione Sismica** si rimanda al par. 2.4 degli ICMS in cui viene presentata la procedura di riferimento per la realizzazione delle suddette cartografie.

Per la redazione delle **relazioni tecniche illustrative** si rimanda alle indicazioni contenute al par.1.6.4 degli ICMS.

Tab. 1.3 – Sintesi del quadro conoscitivo del livello 3

| | |
|-------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| INDAGINI MINIME OBBLIGATORIE | 6) <u>Programmazione ed esecuzione di nuove indagini</u> : integrazioni ed approfondimenti delle medesime indagini rispetto al livello 2; analisi dinamiche di laboratorio |
| ANALISI ED ELABORAZIONI | <ul style="list-style-type: none"> • <u>Analisi numeriche di risposta sismica locale</u> almeno 1D e/o 2D per amplificazioni sismiche e/o deformazioni permanenti |
| PRODOTTI FINALI OBBLIGATORI | <ul style="list-style-type: none"> • <u>Carta delle indagini</u>, implementata rispetto a quella del livello 1 e/o 2 con le nuove indagini; • <u>Carta di Microzonazione Sismica con approfondimenti</u> almeno alla scala 1:5.000-1.10.000; • <u>Relazione tecnica illustrativa della Carta di Microzonazione Sismica con approfondimenti.</u> |

Per la predisposizione delle **cartografie di Microzonazione Sismica con approfondimenti** si rimanda al par. 2.4 degli ICMS in cui viene presentata la procedura di riferimento per la realizzazione delle suddette cartografie.

Per la redazione delle **relazioni tecniche illustrative** si rimanda alle indicazioni contenute al par. 1.6.4 degli ICMS.

Per quanto concerne i dati di base raccolti, le nuove indagini e i rilievi effettuati nel corso dei vari livelli di approfondimento degli studi di MS si dovrà rispettare le indicazioni generali riportate nel par. 1.6.2 degli ICMS e si dovrà tener conto delle procedure per la predisposizione delle indagini riportate al par. 2.1 degli stessi ICMS.

Per quanto riguarda la modalità di realizzazione, acquisizione dati e presentazione dei risultati inerenti le indagini e i rilievi geologici, le indagini geofisiche e geotecniche si deve fare riferimento a quanto contenuto al par.3.4 degli ICMS e per quanto non specificato alle I.T. del Programma VEL.

Per quanto attiene gli aspetti tecnici, il Settore Coordinamento Regionale Prevenzione Sismica ha realizzato, nell'ambito dei centri urbani significativi del Comune di Poppi, uno studio di MS di livello 1 ed in aggiunta per il solo capoluogo anche lo studio di MS di livello 3 secondo le indicazioni previste dagli ICMS. Per quanto concerne la metodologia di lavoro per la redazione

degli studi di MS di livello 3, oltre alle indicazioni degli ICMS, ci si è attenuti anche alla metodologia prevista dal Programma Regionale VEL.

Per quanto concerne le modalità di rappresentazione e archiviazione informativa dei risultati prodotti, è stato utilizzato il documento approvato dalla Commissione Tecnica per la Microzonazione Sismica (Versione 3 – Ottobre 2013).

Programma Regionale VEL

Il Programma regionale di valutazione degli effetti locali (**Programma VEL**) si colloca nell'ambito della L.R.30.07.1997 n. 56 relativa agli interventi sperimentali per la riduzione del rischio sismico. La suddetta legge è stata successivamente aggiornata ed integrata con la L.R. n. 58 del 16.10.2009 inerente le norme regionali in materia di prevenzione e riduzione del rischio sismico.

La fase sperimentale del progetto ha interessato i principali centri urbani della Lunigiana, Garfagnana e Media Valle del Serchio. In queste aree è stata messa a punto la metodologia operativa che è stata poi adottata anche in altre zone classificate sismiche della Toscana quali il Mugello, la Valtiberina, il Casentino e l'Amiata.

L'obiettivo prioritario del Programma VEL è quello di valutare ed individuare all'interno di ambiti territoriali a scala subcomunale (frazioni e centri), le aree a comportamento omogeneo sotto il profilo della risposta sismica locale in corrispondenza di un terremoto atteso, definendo così i possibili effetti sui principali centri urbani e sui singoli edifici strategici e rilevanti in modo da poter fornire agli enti locali informazioni e parametri utili alla progettazione edilizia e pianificazione urbanistica.

In particolare, in questo progetto, per ognuno dei centri urbani individuati, è previsto l'avvio di una serie di attività e di indagini volte alla conoscenza delle caratteristiche geologiche, geotecniche, geofisiche e strutturali dei terreni in funzione dei possibili effetti di amplificazione e di instabilità connessi con un evento sismico.

Gli obiettivi delle singole attività sono nello specifico quelli di:

- concentrare le indagini ed i rilievi nei centri urbani più significativi in termini di esposizione al rischio sismico;
- mettere a confronto più metodologie di indagini per valutare le differenze non solo in termini di risultati e di attendibilità in relazione alle varie situazioni stratigrafiche incontrate ma anche sotto il profilo delle difficoltà di attuazione di tipo logistico e dei costi;
- mettere a confronto più approcci di modellazione numerica per valutare diversi aspetti dell'amplificazione locale (non-linearità, amplificazione stratigrafica, effetti 2D);
- valutare più approcci per la determinazione dell'input sismico (probabilistico, deterministico ed energetico);
- sperimentare nuove metodologie di indagine sia in ambito geofisico che geotecnico e verificarne l'applicabilità in relazione alle diverse problematiche geologico- strutturali.

I dati geologici, geotecnici e geofisici ad oggi acquisiti, hanno permesso di:

- verificare e approfondire le conoscenze geologiche del sottosuolo (con cartografie, sezioni geologiche, logs stratigrafici, sezioni sismostratigrafiche);
- caratterizzare per i siti investigati le unità geologiche in termini di velocità delle onde sismiche di taglio (V_{sh}) e il coefficiente di Poisson dinamico;
- determinare per le unità geologiche campionabili i parametri geotecnici dinamici (curva di decadimento del modulo di taglio, l'incremento dello smorzamento a crescere della deformazione, il coefficiente di Poisson dinamico).

Tali parametri permetteranno la caratterizzazione sismica dei terreni secondo quanto previsto dal D.M. 14/09/2008 (Le Norme Tecniche sulle Costruzioni).

Il programma delle attività è improntato su una filosofia operativa di tipo multidisciplinare ed analitica, assimilabile al livello 3 come meglio definito dagli I&C di Microzonazione Sismica, che prede come riferimento i criteri e le metodologie operative definite ed illustrate nelle Istruzioni Tecniche Regionali e si articola nelle seguenti fasi:

FASE 0. Individuazione delle aree oggetto di indagine

Per ognuno dei Comuni sono definite le aree oggetto delle indagini sulla base di alcuni criteri morfologici, geologici e antropici di interesse ai fini della valutazione degli effetti locali;

FASE 1. Redazione e aggiornamento delle Istruzioni tecniche regionali con l'obiettivo di fissare i criteri e gli standard previsti per l'esecuzione dei rilievi superficiali e delle indagini geofisiche e geotecniche di esplorazione del sottosuolo;

FASE 2. Realizzazione di cartografia geologica e geomorfologica in scala 1:2.000 o 1:5.000 ed individuazione della sezione geologica significativa, al fine di acquisire strumenti cartografici di dettaglio alla scala del centro urbano, in relazione soprattutto alla ricostruzione delle geometrie delle unità geologiche presenti, con particolare riferimento agli spessori delle coperture.

FASE 3. Campagna di indagini di sismica a rifrazione con onde P e SH, in grado di fornire una parametrizzazione geometrica e fisico-meccanica, in assetto bidimensionale, finalizzata all'estensione nel sottosuolo delle conoscenze di superficie, nei limiti intrinseci della metodologia e connessi alla logistica delle aree indagate;

FASE 4. Approfondimento delle indagini: Sulla base dei risultati delle indagini sismiche di superficie, vengono realizzate indagini di dettaglio, quali sondaggi geognostici (con prelievo di campioni per l'esecuzione di prove geotecniche di laboratorio in campo statico e dinamico) e prove Down-hole, per una migliore e puntuale definizione del profilo sismostratigrafico;

FASE 5. Definizione del modello geologico-tecnico, dell'input sismico ed esecuzione dell'analisi di amplificazione: a seguito della realizzazione di sezioni litostratigrafiche e della parallela definizione di un input sismico significativo (eseguito su base deterministica, probabilistica o energetica) vengono realizzate analisi numeriche in campo mono e bidimensionale, al fine di fornire una stima quantitativa della risposta sismica locale;

FASE 6. Definizione dei parametri (spettri di risposta e fattori di amplificazione) da fornire ai comuni per la progettazione di nuovi edifici e per gli interventi di adeguamento e miglioramento sugli edifici esistenti;

FASE 7. Realizzazione di un banca dati geografica (GIS) dei dati acquisiti mediante le indagini geologiche, geotecniche e geofisiche: Lo scopo principale è quello di poter gestire un quantitativo ingente di informazioni provenienti da diverse discipline e di integrare tali dati in modo oggettivo e dinamico, in modo da poterli modificare e aggiornare nel corso del progetto ed utilizzarli per scopi diversi, quali la semplice rappresentazione cartografica, l'estrazione dei dati sulla base di specifiche richieste dell'utente (comuni e singoli professionisti) o l'analisi con diversi metodi.

FASE 8 - Redazione di cartografie di microzonazione sismica da fornire agli Enti Locali ed ai professionisti al fine di integrare lo strumento conoscitivo del territorio e costituire la base conoscitiva da utilizzare anche ai fini urbanistici.

Corografia: Delimitazione delle aree di indagine

Lo studio ha interessato (fig.1.1.1) parte del capoluogo e la frazione di Memmenano, poste all'interno del bacino fluvio-lacustre del Casentino, lungo il corso del Fiume Arno, oltre alle frazioni montane di Badia Prataglia, attraversata dal Torrente Archiano e di Lierna, Moggiona e Quota (fig 1.1).



Fig. 1.1 - Ubicazione delle aree del Comune di Poppi interessate dallo studio.

Le aree maggiormente interessate da espansione urbanistica sono Ponte a Poppi, Memmenano ed in minor misura Badia Prataglia

L'individuazione delle aree interessate dal progetto è stata effettuata in base alla localizzazione e alla distribuzione dei principali centri urbani, definiti sulla base di: informazioni fornite dall'Amministrazione Comunale, esame di carte topografiche di base in scala 1:2.000 e 1:10.000 e sopralluoghi specifici effettuati dai tecnici regionali.

Una volta individuate le aree, la delimitazione delle stesse viene effettuata allargandone il perimetro ad un "congruo intorno" scelto in considerazione non solo degli aspetti urbanistici, ma anche sulla base degli aspetti geomorfologici, geologici e geometrico-strutturali che possono produrre fenomeni di amplificazione sismica locale.

In altre parole, se per esempio l'area delimitata è ubicata su un fondovalle, si cerca di delimitare l'area considerando tutti gli aspetti geomorfologici presenti: quindi anche i versanti della valle stessa. Nello stesso modo verranno evidenziati anche gli aspetti geologici e strutturali di tutta la valle.

Ne risulta che in certi casi l'area su cui avviare le indagini può risultare anche più estesa rispetto a quella in cui sono distribuiti i centri abitati. Ciò risulta utile e necessario al fine di una corretta ed adeguata definizione del modello geologico-geofisico-geotecnico finalizzato all'analisi di amplificazione nelle aree previste.

La scelta delle aree deve essere effettuata anche tenendo presente che in queste si devono scegliere le sezioni significative per la modellazione.

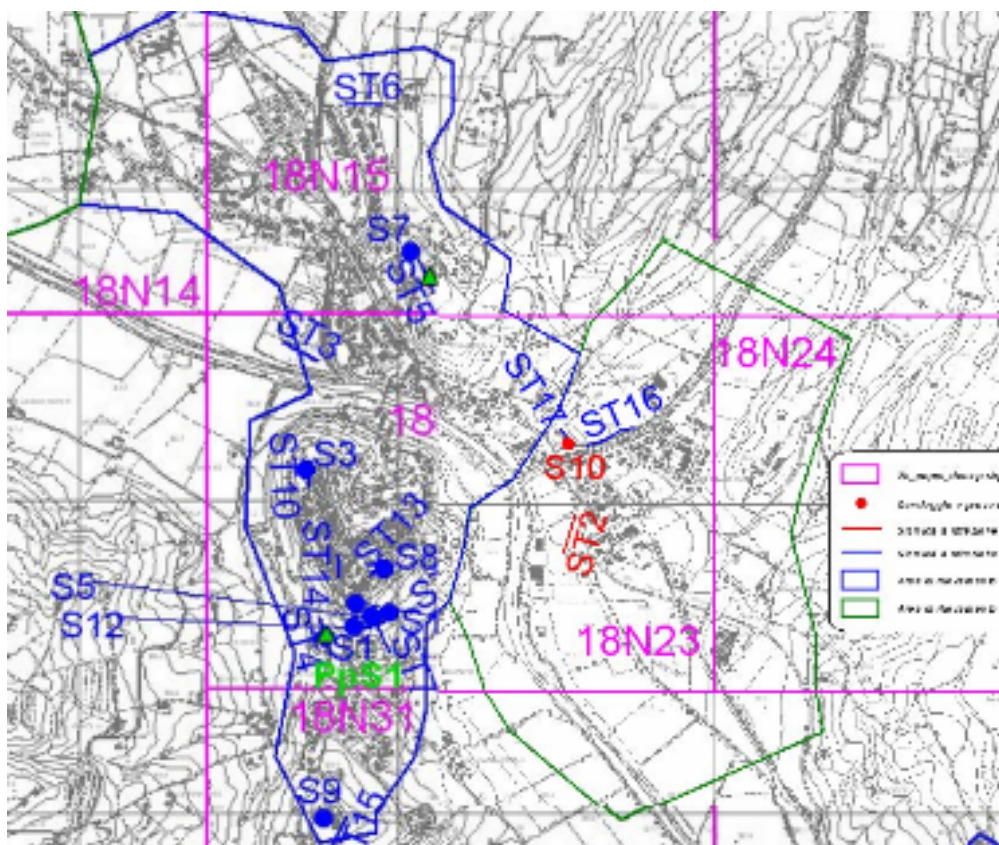


Fig.1.2 – Perimetrazione dell'area di indagine nella frazione d Poppi capoluogo e Porrena

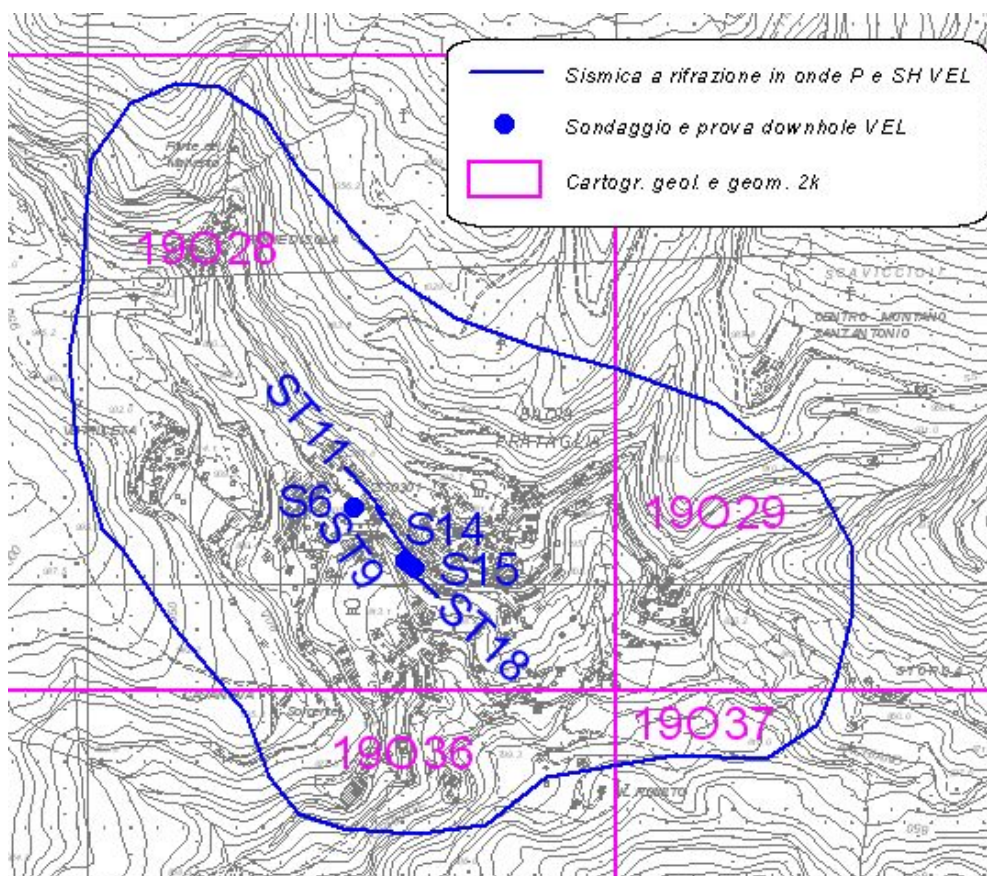


Fig.1.3 – Perimetrazione dell'area di indagine nella frazione di Badia Prataglia

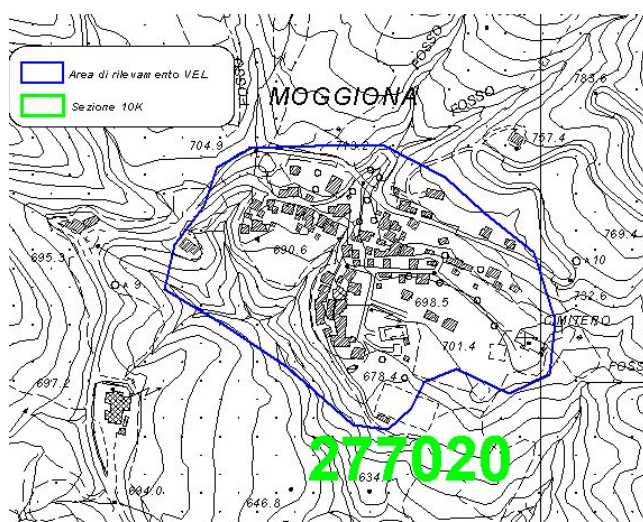


Fig.1.4 – Perimetrazione dell'area di indagine nella frazione di Moggiona

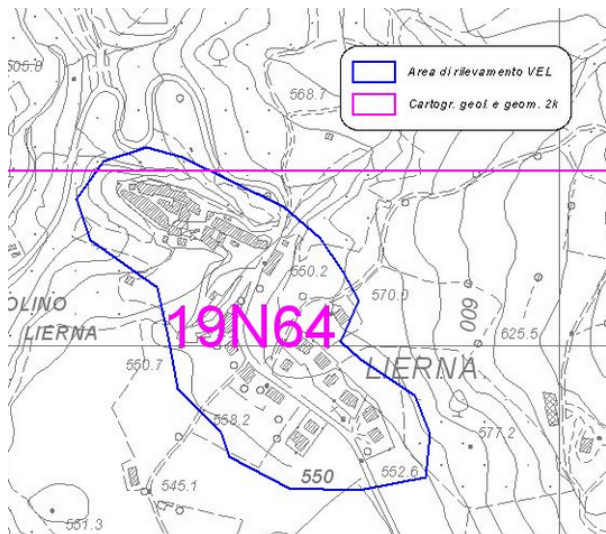


Fig.1.5 – Perimetrazione dell'area di indagine nella frazione di Lierna.

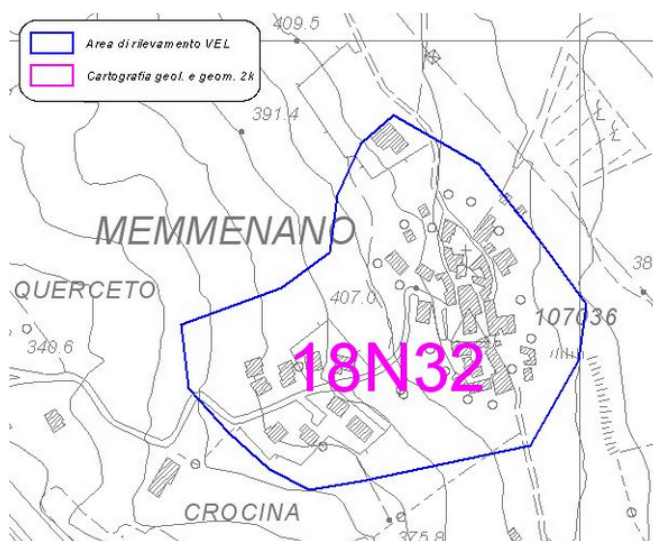


Fig.1.6– Perimetrazione dell'area di indagine nella frazione di Memmenano.

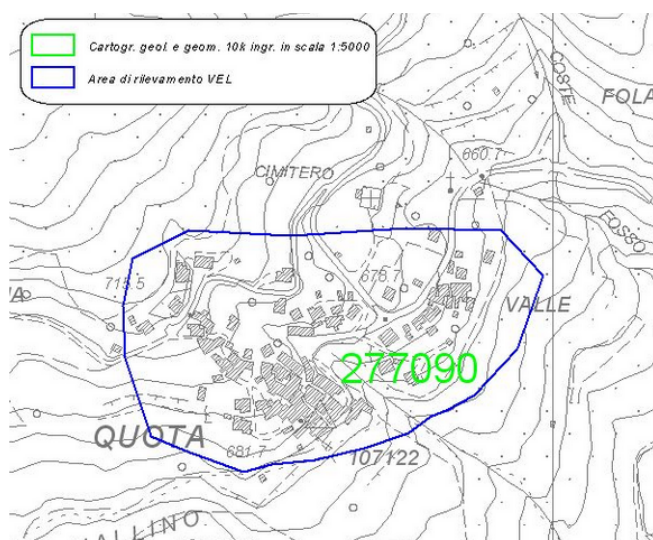


Fig.1.7 – Perimetrazione dell'area di indagine nella frazione di Quota.

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

L'attività neotettonica, caratterizzata dal forte sollevamento della catena e dallo sprofondamento del settore che ospita l'alto corso dell'Arno, e la relativa sismicità (Fig. 2.1) sono imputate al regime estensionale indotto dal meccanismo tettonico che ha generato il bacino del Casentino (Mantovani et al., 2012).

Questa interpretazione descrive la formazione della depressione casentinese come effetto della parziale separazione tra le dorsali Pratomagno e Alpe di Catenaia, causata dalla compressione longitudinale che ha agito sulla parte settentrionale del cuneo RMU (Romagna-Umbria-Marche), come descritto in Mantovani et al. (2011). La storia della sedimentazione è simile a quella di altri bacini intermontani toscani, in particolare il Mugello.

Tuttavia, a differenza dei settori vicini, la documentazione sulla tettonica attiva e le sue connessioni con la sismicità è scarsa (Tab.2.1).

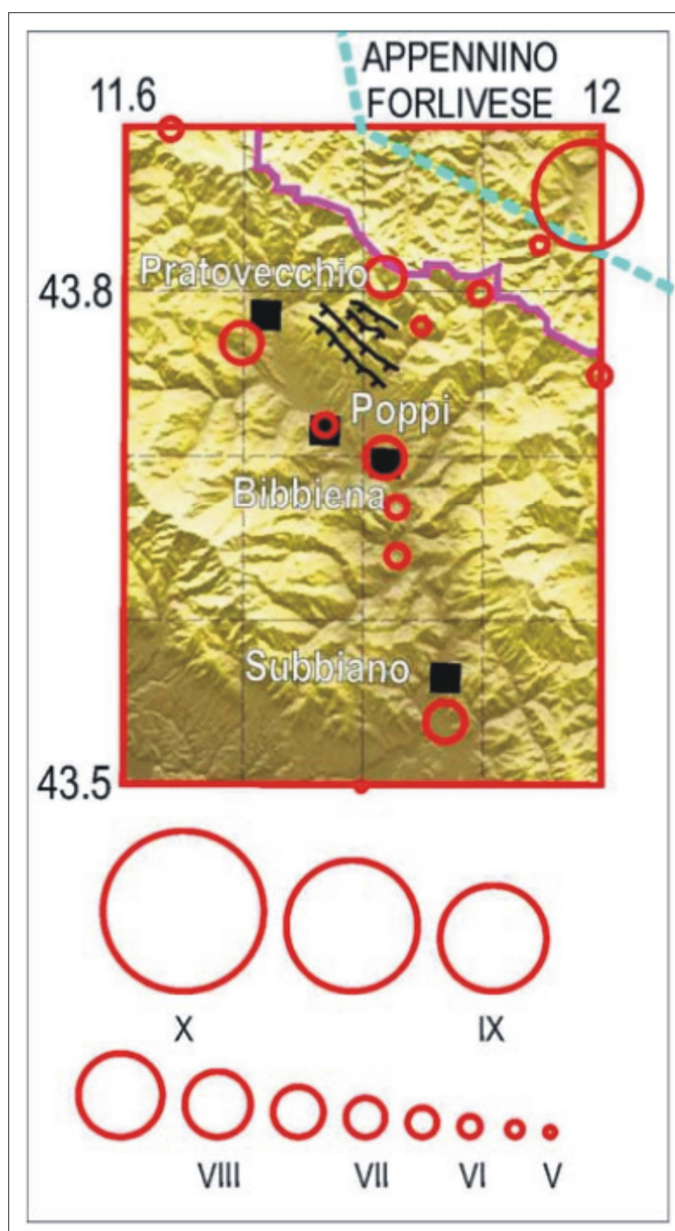


Fig.2.1 – Sismicità storica dell'area del Casentino. I cerchi rossi indicano i terremoti avvenuti dopo il 1000. I principali elementi tettonici sono in nero. La linea celeste tratteggiata è il confine della zona sismica Appennino forlivese. Da Mantovani et al., 2012

Tab. 2.1 – Lista dei terremoti con $I_{max} \geq 7$ avvenuti dopo il 1000 nella zona contornata in figura 2.1. M_w = Magnitudo momento riportata nel catalogo CPTI11 (Rovida et alii, 2011). I_0 e I_{max} sono rispettivamente l'intensità epicentrale e quella massima osservata (riportate entrambe quando non coincidenti). T indica l'intervallo di tempo trascorso rispetto al terremoto precedente. Da Mantovani et al., 2012

| Anno | Mese | Giorno | Zona epicentrale | Latitudine (°N) | Longitudine (°E) | Magnitudo (M_w) | Intensità I_0 (I_{max}) | T (anni) |
|------|------|--------|------------------|-----------------|------------------|---------------------|-------------------------------|----------|
| 1504 | 11 | 1 | Bibbiena | 43.7 | 11.82 | 5.1 | 7 | |
| 1729 | 6 | 23 | Casentino | 43.77 | 11.7 | 4.9 | 7 | 225 |
| 1911 | 3 | 26 | Camaldoli | 43.81 | 11.82 | 4.7 | 7 | 182 |

In figura 2.2 è rappresentata la Mappa di Pericolosità Sismica (O.P.C.M. 3519/2006) relativa al territorio di Poppi. La Mappa è relativa alla distribuzione dei valori stimati di accelerazione (a_g) su bedrock sismico in condizioni di topografia pianeggiante per un periodo di ritorno di 475 anni e relativi al valore mediano (50mo percentile). La mappa illustra, per il territorio di Poppi, valori di accelerazione sismica (normalizzata rispetto all'accelerazione di gravità g) relativi ad un range compatibile con l'iscrizione del comune in zona sismica 2.

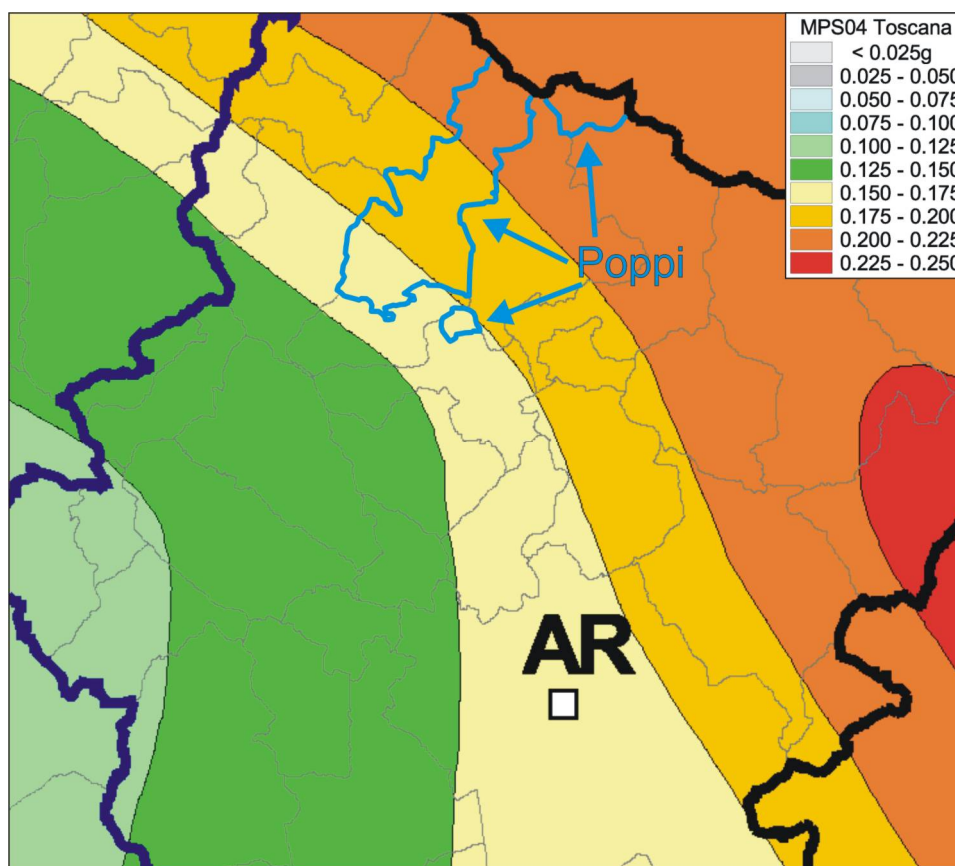


Fig.2.2 – Mappa di Pericolosità Sismica relativa all'area del Casentino realizzata dall'INGV nel 2004 (Allegato 1B dell'O.P.C.M. 3519/2006)

Ne deriva che l'area comunale di Poppi è attualmente classificata, come tutti i comuni afferenti all'area del Casentino, in zona sismica 2 (Del GRT 878/2012).

Del resto, il comune di Poppi fu classificato per la prima volta in zona sismica 2 dal 2003 e successivamente confermato in tale zona nei successivi aggiornamenti. In particolare, occorre

precisare che la sola frazione di Badia Prataglia fu classificata sismica già dal 1927 e, successivamente, declassata nel 1937. Maggiori informazioni sono reperibili al link:

http://www.rete.toscana.it/sett/pta/sismica/03normativa/classificazione/classificazione_toscana/img_classificazione/class_storia.pdf

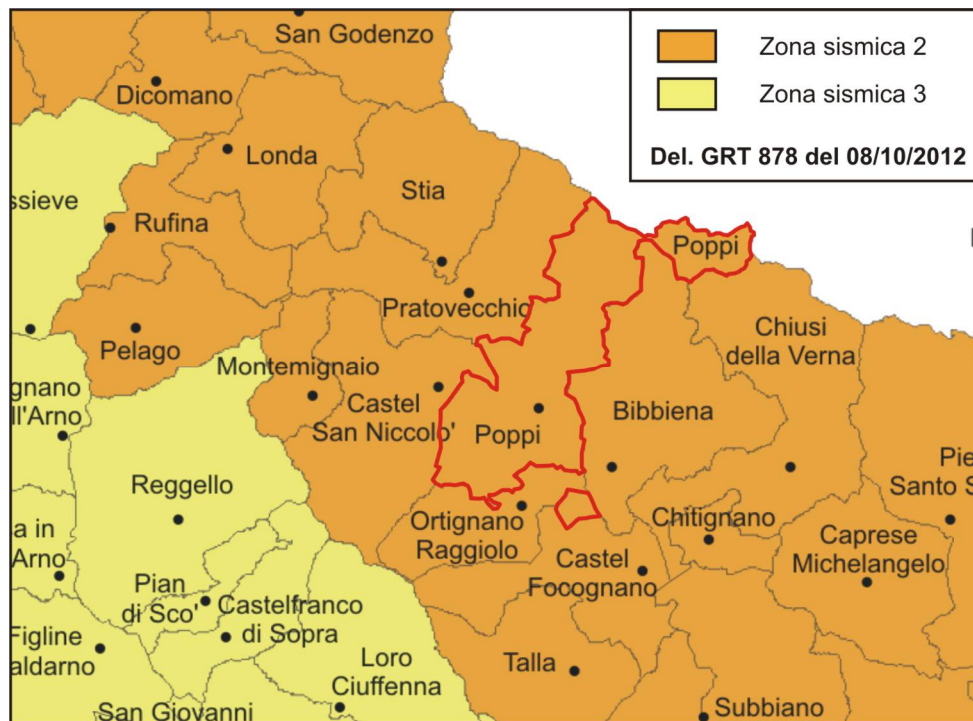


Fig.2.3 – Classificazione sismica dell’area del Casentino; in rosso è evidenziato il territorio comunale di Poppi

Inoltre, nell’area del Casentino sono presenti reti di monitoraggio dello scuotimento sismico (sismometrico ed accelerometrico) per le quali la Regione Toscana ha provveduto nel corso degli ultimi decenni a fornire collaborazione mediante la stipula di Protocolli d’Intesa e al cofinanziamento tramite convenzioni ed Accordi di collaborazione scientifica. Maggiori informazioni sull’argomento sono reperibili al link regionale:

<http://www.rete.toscana.it/sett/pta/sismica/02rischio/monitoraggio/reti/index.htm>

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

L’input sismico è stato definito mediante la procedura messa a punto dall’Università di Pavia nell’ambito di un Accordo di Collaborazione Scientifica con la Regione Toscana, finalizzata alla “Definizione di input sismici sismocompatibili e spettro-compatibili per i comuni della regione Toscana”.

A tal proposito è stato sviluppato un codice di calcolo di semplice utilizzo che fornisce, in funzione del sito e del periodo di ritorno considerati, l’input sismico compatibile con le NTC08 sia in termini spettrali che di accelerogrammi spettro-compatibili. Il codice, scritto in Fortran90, è chiamato SCALCONA 2.0 (SCALing of COMPatible Natural Accelerograms).

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

Ai fini della selezione degli accelerogrammi è stata effettuata una mesozonazione del territorio che ha consentito di identificare “aree” omogenee dal punto di vista degli spettri di risposta prescritti dalle NTC08. Per ciascun gruppo di spettri di risposta e ciascun periodo di ritorno è stato quindi definito uno spettro di risposta di riferimento, utilizzato per la selezione degli accelerogrammi.

SCALCONA utilizza e scala opportunamente i risultati della selezione degli accelerogrammi, consentendo di restituire, per il sito e periodo di ritorno di interesse, un gruppo di 7 accelerogrammi che soddisfano i requisiti di spettro-compatibilità prescritti dalle NTC08 e dalla Circolare NTC (2009). Gli accelerogrammi possono essere selezionati per ciascun punto interno ai territori di studio e per ciascuno dei 9 periodi di ritorno considerati nelle NTC08 (ossia 30, 50, 72, 101, 140, 201, 475, 975 e 2475 anni).

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

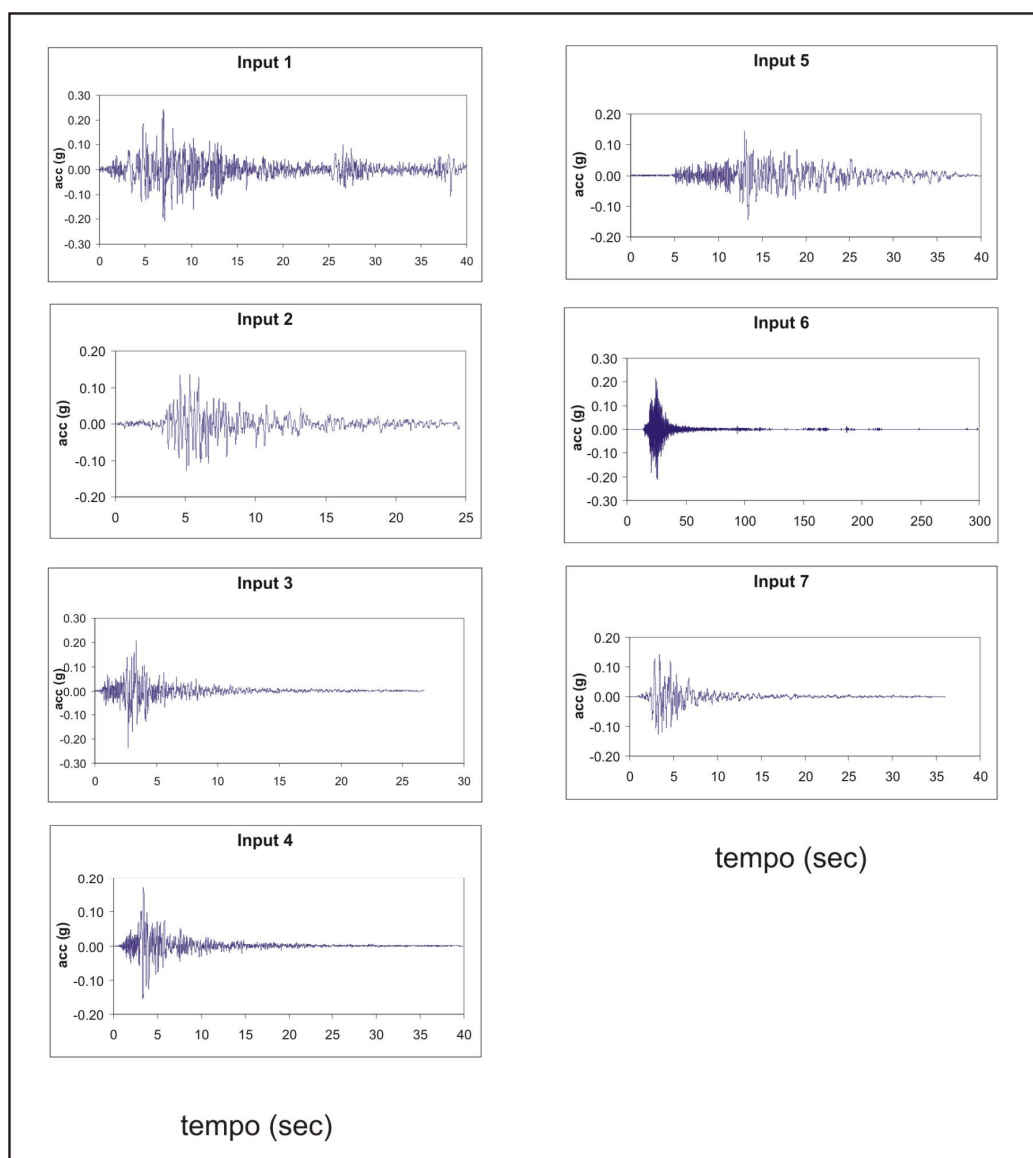


Fig.2.4 – Storie temporali dei 7 accelerogrammi utilizzati come input sismico

In figura 2.4 è possibile visualizzare le storie temporali dei 7 accelerogrammi utilizzati nelle analisi di risposta sismica locale come input sismico. La figura 2.5, invece, illustra gli spettri di risposta elastici dei medesimi accelerogrammi a confronto con lo spettro di cat. A (bedrock sismico) previsto dalle NTC 2008 per il centro comunale di Poppi (il valore è riferito convenzionalmente alla sede comunale, per la quale è previsto un valore di a_g pari a 0.0.186g per un tempo di ritorno di 475 anni). Dal grafico è possibile notare la spettro-compatibilità della media dei 7 input a confronto con lo spettro target di normativa.

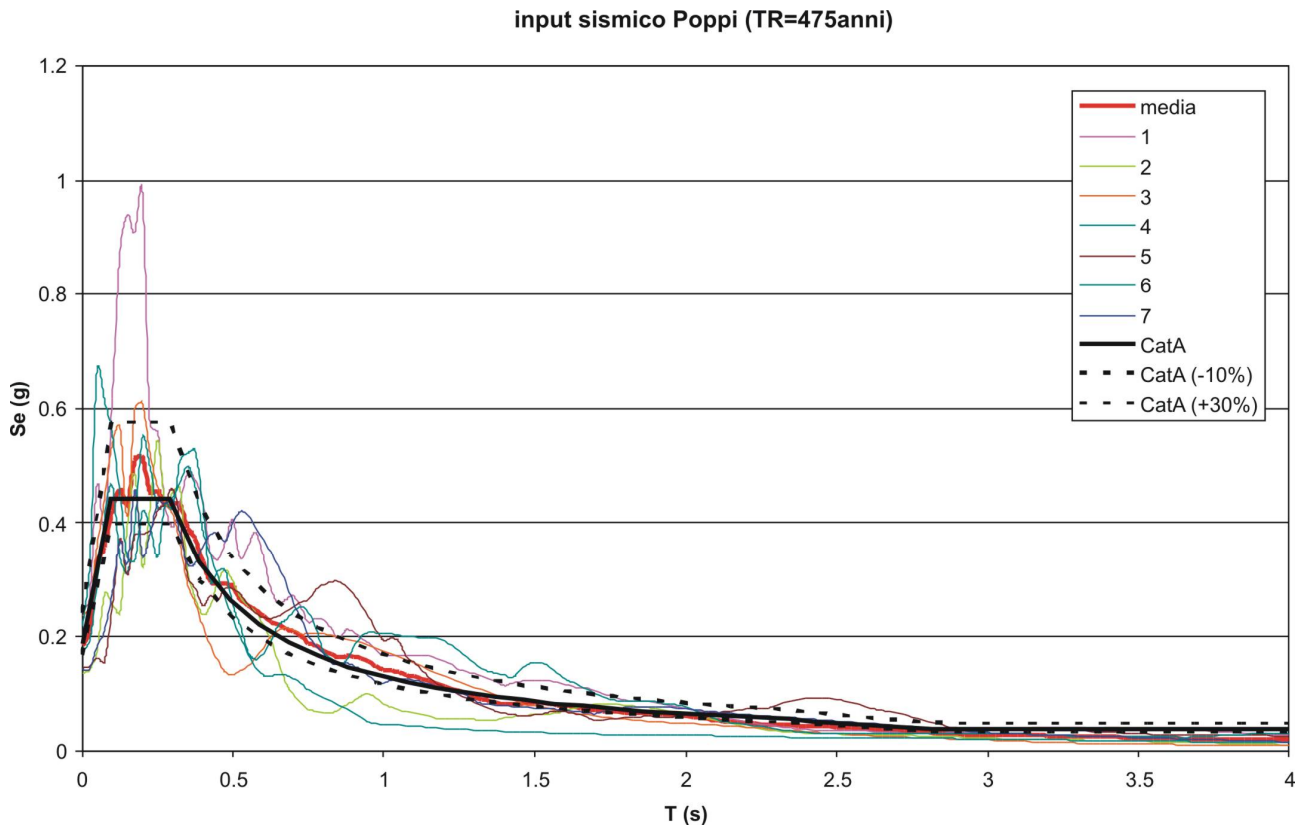


Fig.2.5 – Rappresentazione in termini di spettro di risposta elastico (damping factor=5%) dei 7 accelerogrammi utilizzati come input sismico per le analisi di risposta sismica locale nel centro abitato di Poppi.

Tab.2.2 – Informazioni relative ai 7 accelerogrammi spettro-compatibili utilizzati come input sismico: Magnitude M_w = magnitudo momento associata, Epicentral Distance = distanza epicentrale in km, Scaling Factor = fattore di scala, Source file name = indicazione del nome del record e del codice della banca dati di provenienza.

| n° | Magnitude (M_w) | Epic.Distance(km) | Scaling Factor | Source File Name |
|----|---------------------|-------------------|----------------|-------------------------------|
| 1 | 6.87 | 11 | 0.71 | ESD 000182xa.cor |
| 2 | 6.2 | 32 | 1.77 | ESD 000234ya.cor |
| 3 | 5.74 | 12.56 | 1.78 | NGA 0146y.txt |
| 4 | 6.93 | 28.64 | 0.42 | NGA 0765x.txt |
| 5 | 6.69 | 61.26 | 2.41 | NGA 1033y.txt |
| 6 | 6.6 | 36.18 | 1.72 | KNET1 SAG0010503201053.NS |
| 7 | 5.6 | 22 | 2.25 | ITACA 19971014_152309ITDPC_CS |

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

Pertanto, prima di utilizzarli come input per le analisi di risposta sismica, i 7 accelerogrammi sono stati deconvoluti mediante l'utilizzo del software STRATA (Kottke & Rathje, 2008), al fine di ricondurli alle caratteristiche medie che avrebbero avuto all'interfaccia di passaggio tra il bedrock sismico e le sovrastanti coperture, che corrisponde al punto di imposizione dell'input sismico. Tale operazione, vista l'eterogeneità del contesto sismostratigrafico dell'area, è stata affrontata considerando i parametri medi (in termini di valori di V_s e profondità) delle unità ascrivibili al substrato sismico.

3.0. Assetto geologico e geomorfologico dell'area

Il paese di Poppi sorge in parte nella pianura alluvionale costituita da depositi appartenenti ad un terrazzo fluviale di primo ordine e in parte su una collina posta in destra idrografica del Fiume Arno, caratterizzata da una cresta orientata N-S e costituita da substrato litoide. L'erosione ha prodotto un'ampia falda di detrito. Nella parte nord dell'area di Poppi è presente una conoide aggradante. Il Paese di Badia Prataglia è situato in un territorio montuoso caratterizzato da un'alta energia del rilievo e da pendenze localmente molto elevate. Il Torrente Archiano incide profondamente il substrato favorendo crolli e frane sulle sue sponde. L'area è interessata da deformazioni superficiali e frane; i versanti sono in molti casi ricoperti estesamente da detrito. L'abitato di Memmenano è situato su un modesto alto morfologico costituito da un terrazzo di primo ordine eroso da fenomeni di dilavamento e soliflusso. Infine, le frazioni di Lierna, Moggiona e Quota sono ubicate in un ambiente montano con versanti generalmente stabili, ad eccezione del versante ad ovest dell'abitato di Quota, che è in frana e dell'area ad Est del nucleo storico di Lierna che risulta interessata da dissesti gravitativi generalizzati. Si fa presente che per la perimetrazione delle aree interessate da dissesti gravitativi, oltre alle osservazioni effettuate in campagna durante le fasi di rilevamento supportate da fotointerpretazioni e dai successivi sopralluoghi di controllo, al fine di rendere il quadro conoscitivo del presente studio quanto più possibile congruente con quello degli strumenti urbanistici, si è tenuto conto del materiale fornito dal Comune di Poppi e relativo all'approfondimento del quadro conoscitivo redatto ai sensi delle norme di attuazione del piano di bacino stralcio Assetto Idrogeologico (PAI).

DESCRIZIONE DELLE UNITÀ GEOLOGICHE AFFIORANTI

Depositi quaternari alluvio-colluviali

– Detrito di versante (a) (Pleistocene medio finale-Olocene)

Deposito di versante costituito da elementi poligenici ed eterometrici, prevalentemente grossolani, in abbondante matrice sabbiosa-limosa, derivante da processi di degradazione superficiale e accumulato lungo i versanti o al piede degli stessi principalmente per gravità. Questi depositi presentano frequentemente rimaneggiamento antropico. Nell'area del capoluogo il detrito di versante affiora estesamente: in sinistra idrografica del Fiume Arno, al raccordo tra il versante e la pianura alluvionale; in destra idrografica, al piede del rilievo su cui sorge il paese di Poppi, sul lato orientale, al raccordo con la pianura del fiume Arno, nonché sul lato occidentale, sul versante della valle del Fosso la Bora. Presso Moggiona ci sono lungo il versante accumuli di detrito monogenico, formatosi a spese del membro VIC_b della Formazione delle Marne di Vicchio. Presso Quota il detrito di versante, monogenico, formatosi a partire dalla Formazione delle Arenarie di Monte Falterona, affiora nella zona del cimitero. Lo spessore è ovunque inferiore a 1-2 m. Nella frazione Badia Prataglia estesi accumuli di detrito si trovano sul versante settentrionale, sopra il centro abitato; si tratta un deposito poco spesso, costituito da blocchi arenacei di dimensioni metriche derivanti dalla Formazione Marnoso Arenacea, in scarsa matrice sabbioso-limosa.

Descrizione litotecnica di campagna: attenendosi alla *Guida schematica alla definizione di unità litologico-tecniche (U.L.T.) nel “substrato” e nella “copertura” –Regione Toscana* (Ferrini & Calosi ed., 2000; Ferrini ed., 2002), questi depositi sono attribuibili all'U.L.T. E1.a3/4.t2 (materiale granulare poco cementato a granulometria grossolana dominante, da poco addensato a sciolto, con presenza di frazione limoso-sabbiosa).

– **Depositi alluvionali attuali (b)** (Olocene)

Si tratta di depositi fluviali costituiti da ciottolami eterometrici e poligenici in matrice limoso-sabbiosa con tessitura da clasto- a matrice-sostenuta, e subordinatamente ghiaie, sabbie e limi. I ciottoli, da subarrotondati ad arrotondati, hanno sfericità bassa. Sono depositi di pianura alluvionale in evoluzione, deposti dal Fiume Arno e dai corsi d'acqua secondari. Nelle zone del comune di Poppi incluse nel Programma VEL si trovano in corrispondenza dell'alveo del Fiume Arno e dei corsi d'acqua secondari (principalmente il torrente Roiesine presso Poppi e il Torrente Archiano presso la frazione Badia Prataglia).

Descrizione litotecnica di campagna: attenendosi alla *Guida schematica alla definizione di unità litologico-tecniche (U.L.T.) nel “substrato” e nella “copertura” –Regione Toscana* (Ferrini & Calosi ed., 2000; Ferrini ed., 2002), questa unità è riferibile all'U.L.T. E1.a3/4.t2 (materiale granulare non cementato o poco cementato a granulometria grossolana dominante, da poco addensato a sciolto, con presenza di frazione limoso-sabbiosa).

– **Depositi alluvionali antichi terrazzati e recenti (b_{I-n})** (Pleistocene medio-Olocene)

Si tratta di depositi di ambiente di piana alluvionale, rappresentati da ciottolami eterometrici e poligenici in matrice limoso-sabbiosa con tessitura da clasto- a matrice-sostenuta, ghiaie, sabbie e limi. I ciottoli, da subarrotondati ad arrotondati, hanno sfericità bassa. Questi depositi sono numerati a partire dal terrazzo morfologicamente più alto fino alla pianura alluvionale recente. Quest'ultima può essere localmente soggetta ad esondazioni.

E' stato osservato che i terrazzi fluviali sottendono una successione che comunemente è caratterizzata da tripartizione granulometrica: ciottoli alla base, sabbie e limi al tetto. La natura lenticolare di questi corpi non permette però di poter dare indicazioni precise della granulometria dominante in ogni singola area. I terrazzi sono stati numerati a scala bacinale. Nella parte di Poppi interessata dal programma Vel, questa simbologia è stata usata solo per la frazione montana di Badia Prataglia, in quanto tutte le altre aree in cui affiorano depositi alluvionali terrazzati, ricadono all'interno del Bacino del Casentino e per essi sono stati usati i simboli ARN1-3 (vedi paragrafo 1.3.2). Nella zona di Badia Prataglia, i depositi alluvionali costituiscono un solo ordine di terrazzo, presente solo sporadicamente, a formare ristrette aree pianeggianti, lungo il corso del Torrente Archiano.

Descrizione litotecnica di campagna: attenendosi alla *Guida schematica alla definizione di unità litologico-tecniche (U.L.T.) nel “substrato” e nella “copertura” –Regione Toscana* (Ferrini & Calosi ed., 2000; Ferrini ed., 2002), questa unità è riferibile all'U.L.T. E.a3/4. (materiale granulare poco cementato, da poco addensato a sciolto).

Depositi di conoide alluvionale (m) (Pleistocene medio-Olocene)

Ciottolami eterometrici e poligenici in matrice limoso-sabbiosa con tessitura da clasto- a matrice-sostenuta, e subordinatamente ghiaie, sabbie e limi. I ciottoli, da subangolosi a subarrotondati, hanno bassa sfericità. Una conoide di notevole importanza si rinviene nella zona del capoluogo Poppi, tra Certomondo e I Cappuccini, a Nord della Piana di Campaldino, associata al terrazzo ARN3 del Fiume Arno. L'osservazione del grado di alterazione del deposito ha mostrato che si tratta di una conoide aggradante, in contrasto con la natura progradante delle altre conoidi osservate in quest'area del bacino, suggerendo quindi che l'area di deposizione è in subsidenza. In base a questa osservazione e per la presenza di contatti anomali nell'area di Casa Ancherona, è stata ipotizzata la presenza di una faglia normale (vedi paragrafo 1.4).

Descrizione litotecnica di campagna: attenendosi alla *Guida schematica alla definizione di unità litologico-tecniche (U.L.T.) nel “substrato” e nella “copertura” –Regione Toscana* (Ferrini &

Calosi ed., 2000; Ferrini ed., 2002), questa unità è riferibile all'U.L.T. E.a3/4 (materiale granulare poco cementato, da poco addensato a sciolto).

Depositi eluvio-colluviali (b₈) (Pleistocene-Olocene)

Si tratta di un deposito ad elementi eterometrici e poligenici dispersi in matrice limoso-argillosa, a granulometria minore rispetto al detrito di versante. Si forma per alterazione superficiale e può accumularsi in posto o ai piedi dei versanti stessi dopo un breve trasporto per ruscellamento. Accumuli di colluvio si trovano nel capoluogo, al raccordo tra il versante su cui sorge l'abitato di Poppi e la pianura alluvionale dell'Arno, a Est della Casina dello Scorno e nell'estremità settentrionale della zona oggetto del programma Vel, a Nord della Piana di Campaldino. Lo spessore è generalmente intorno al metro.

Descrizione litotecnica di campagna: attenendosi alla *Guida schematica alla definizione di unità litologico-tecniche (U.L.T.) nel "substrato" e nella "copertura"* –Regione Toscana (Ferrini & Calosi ed., 2000; Ferrini ed., 2002), questi depositi sono attribuibili all'U.L.T. E/F.a3-4/s5-6 (materiale granulare non cementato o poco cementato, a granulometria prevalentemente fine, da poco addensato a sciolto; quando la granulometria è limoso argillosa si presenta come un terreno coesivo poco consistente).

Depositi quaternari alluvionali del Bacino del Casentino

All'interno del Bacino del Casentino sono state distinte tre unità stratigrafiche alluvionali. Nell'area del Comune di Poppi, oggetto del Programma VEL, sono presenti tutte e tre le unità.

Unità ARN3 (Pleistocene superiore? - Olocene)

È costituita da depositi alluvionali: ciottoli eterometrici e poligenici, da subarrotondati ad arrotondati a sfericità bassa, in abbondante matrice sabbioso-limosa avana, ghiaie, sabbie e limi. La tessitura varia da clasto- a matrice-sostenuta (fig. 3.1). Questi depositi presentano generalmente una tripartizione granulometrica: ciottoli alla base, sabbie e limi al tetto. La natura lenticolare di questi corpi non permette però di poter dare indicazioni precise della granulometria dominante in ogni singola area.

Questa unità corrisponde al terrazzo topograficamente più basso del bacino del Casentino ed è presente presso Poppi, a riempire la pianura del Fiume Arno e sul margine occidentale della collina su cui sorge Poppi, nella pianura del Fosso della Bora; nella parte settentrionale dell'area di indagine costituisce la Piana di Campaldino e riempie anche la pianura del Torrente Roiesine. Lo spessore massimo è di circa 6-10 m

Descrizione litotecnica di campagna: attenendosi alla *Guida schematica alla definizione di unità litologico-tecniche (U.L.T.) nel "substrato" e nella "copertura"* –Regione Toscana (Ferrini & Calosi ed., 2000; Ferrini ed., 2002), questa unità è riferibile all'U.L.T. E.a3/4 (materiale granulare non cementato o poco cementato, da poco addensato a sciolto).

Unità ARN2 (Pleistocene medio? - superiore)

È costituita da depositi alluvionali: ciottoli eterometrici e poligenici, da subarrotondati ad arrotondati a sfericità bassa, in abbondante matrice sabbioso-limosa avana, ghiaie, sabbie e limi. La tessitura varia da clasto- a matrice-sostenuta. Questi depositi presentano generalmente una tripartizione granulometrica: ciottoli alla base, sabbie e limi al tetto. La natura lenticolare di questi corpi non permette però di poter dare indicazioni precise della granulometria dominante in ogni

singola area. Nell'area di indagine l'unità ARN2 affiora solo nella parte settentrionale dell'area di Poppi, a Nord della Piana di Campaldino. Lo spessore massimo in questa zona è di 6-8 m. La scarpata di raccordo con il terrazzo più basso (Unità ARN3) è abbondantemente ricoperta da depositi colluviali.

Descrizione litotecnica di campagna: attenendosi alla *Guida schematica alla definizione di unità litologico-tecniche (U.L.T.) nel "substrato" e nella "copertura" –Regione Toscana* (Ferrini & Calosi ed., 2000; Ferrini ed., 2002), questa unità è riferibile all'U.L.T. E.a3/4 (materiale granulare non cementato o poco cementato, da poco addensato a sciolto).

Unità ARN1 (Pleistocene medio)

Depositi alluvionali costituiti da ciottoli arenacei e calcarei eterometrici (diametro massimo 20 cm), in abbondante matrice sabbioso-limosa, e subordinatamente sabbie e limi, caratterizzati da un'intensa pedogenesi, che conferisce un'accentuata colorazione rosso-giallastra. Nell'area di indagine questa unità affiora presso Poppi, sulla sommità delle colline a Nord del T. Sova e a Nord di Ponte a Poppi. Lo spessore nel primo caso è intorno ai 5 m; nel secondo si aggira sui 25 m. Nella zona di Memmenano costituisce il deposito al tetto della collina su cui sorge il centro abitato ed ha uno spessore intorno ai 15 m (fig.3.1).

Descrizione litotecnica di campagna: attenendosi alla *Guida schematica alla definizione di unità litologico-tecniche (U.L.T.) nel "substrato" e nella "copertura" –Regione Toscana* (Ferrini & Calosi ed., 2000; Ferrini ed., 2002), questa unità è riferibile all'U.L.T. E.a2/3 (materiale granulare non cementato o poco cementato, moderatamente addensato).



Fig.3.1: affioramento dell'unità ARN1 presso Memmenano.

Depositi fluvio-lacustri del Bacino del Casentino

Questi sono i depositi plio-pleistocenici che costituiscono il riempimento del bacino fluvio-lacustre casentino. Sono state riconosciute due unità stratigrafiche, separate da una superficie di discordanza erosiva.

L'area di Poppi capoluogo costituiva probabilmente una soglia durante la deposizione dei depositi fluvio-lacustri, isolando dal bacino di Bibbiena un bacino più piccolo, ad ovest della soglia, nell'area di Porrena. I depositi lacustri del "sub-bacino di Porrena" mostrano infatti alcuni caratteri peculiari, quali l'abbondanza di livelli lignitici e l'assenza di importanti apporti clastici dai versanti. Questo suggerisce che il "sub-bacino di Porrena" fosse un bacino lacustre più ristretto rispetto a quello di Bibbiena e con un apporto sedimentario più basso.

Unità CAS2 (Pleistocene inferiore - medio?)

Questa unità è costituita da depositi alluvionali costituiti da ciottoli arenaceo-calcarei eterometrici (diametro massimo 40 cm) in matrice sabbioso limosa, intercalati a livelli limosi, limoso-sabbiosi e argillosi massivi. Si presentano arrossati e ossidati per intensi processi pedogenetici e di decarbonatazione. Nella zona di indagine la litofacies prevalente è quella ciottolosa. Questa unità affiora presso Poppi e Memmenamo. Presso Memmenano questo deposito affiora in una ristretta fascia lungo il versante alla base dell'unità ARN1, con uno spessore massimo di 8 m circa. Nell'area di Poppi lo si ritrova nell'estremità settentrionale, sulle pendici delle colline a Nord del T. Sova e a Nord di Ponte a Poppi, alla base dell'unità ARN1.

Descrizione litotecnica di campagna: attenendosi alla *Guida schematica alla definizione di unità litologico-tecniche (U.L.T.) nel "substrato" e nella "copertura" - Regione Toscana* (Ferrini & Calosi ed., 2000; Ferrini ed., 2002), questa unità è riferibile all'U.L.T. E.a2\3 (materiale granulare non cementato o poco cementato, moderatamente addensato).

Unità CAS1 (Pliocene superiore? - Pleistocene inferiore)

Questa unità è costituita da depositi lacustri: argille e limi grigio scuri massivi, ricchi di sostanza organica, con livelli lignitiferi, intercalati con livelli decimetrici di sabbie, ghiaie e ciottoli. Nelle porzioni più prossime al margine del bacino sono presenti lenti di ciottolami eterometrici in matrice limoso-argillosa. Localmente presentano un'intensa pedogenesi a pseudogley. L'Unità CAS1 è presente solo nella parte settentrionale della zona di Poppi. Non ci sono indicazioni sullo spessore.

Descrizione litotecnica di campagna: attenendosi alla *Guida schematica alla definizione di unità litologico-tecniche (U.L.T.) nel "substrato" e nella "copertura" - Regione Toscana* (Ferrini & Calosi ed., 2000; Ferrini ed., 2002), questa unità è riferibile all'U.L.T. F.s4/5 (materiale coesivo moderatamente consistente).

SUBSTRATO PRE QUATERNARIO

Nelle aree del Comune di Poppi, interessate dal Progetto Vel, affiora diffusamente il substrato pre-quaternario, costituito da unità appartenenti al Dominio Ligure, Subligure, Toscano e Umbro-Romagnolo. Le formazioni, i membri e le litofacies, in cui è suddiviso il substrato pre-quaternario, sono raggruppate per unità tettoniche.

DOMINIO LIGURE ESTERNO

L'unica unità del Dominio Ligure affiorante nell'area in esame è l'Unità Tettonica Morello.

UNITA' TETTONICA MORELLO

Formazione della Pietraforte (Ptf) (Cretaceo superiore)

Questa formazione, che costituisce grandi lenti all'interno della Formazione di Sillano-S. Fiora, è presente nella zona di indagine esclusivamente presso Poppi.

Essa risulta costituita da arenarie torbiditiche quarzoso-micacee e calcareniti con stratificazione da molto sottile a media e colore marrone o grigio al taglio fresco, alternate a marne argillose o marne siltose di colore grigio o nocciola. Le arenarie risultano gradate da medio-fini alla base fino a finissime al tetto.

Presso Poppi la Pietraforte costituisce tutta la zona di alto morfologico su cui sorge il paese di Poppi, formando numerosi affioramenti (fig. 3.2); alcuni affioramenti si ritrovano anche più a Nord, in sinistra idrografica del Fiume Arno (Loc. Poggiolo e La Torricella); il contatto con la Formazione di Sillano-S. Fiora è solitamente tettonizzato. Lo spessore apparente minimo nell'area di indagine è circa 60-65 m.



Fig. 3.2: affioramento della parte bassa della Formazione della Pietraforte presso Poppi.

Descrizione litotecnica di campagna: attenendosi alla *Guida schematica alla definizione di unità litologico-tecniche (U.L.T.) nel “substrato” e nella “copertura” –Regione Toscana* (Ferrini & Calosi ed., 2000; Ferrini ed., 2002), questa unità, nella sua facies più comune in queste zone, è riferibile all'U.L.T. B3. r1/4p5/6.d1/3.c1/3.

Formazione di Sillano-S. Fiora (SIL) (Cretaceo superiore - Eocene inferiore)

Questa formazione è costituita da argilliti varicolori, da brune a verdi fino a rosse, con irregolari intercalazioni di arenarie quarzoso-calcaree e calcarenitiche, finemente stratificate, di marne e calcari marnosi grigio chiari. Nella facies più comune le argilliti sono prevalenti. Presso Poppi, alcuni affioramenti della formazione in esame sono visibili sulla collina sulla quale sorge il centro abitato di Poppi e verso Sud, oltre Villa Ascensione (fig.3.3). La formazione risulta a tratti

intensamente tettonizzata. Il contatto con la sovrastante Formazione della Pietraforte risulta tettonizzato. Localmente, la Formazione di Sillano-S. Fiora è costituita da argilliti marnose, spesso intensamente caoticizzate, con una colorazione prevalente rosso vinaccia, ma anche rosso mattone e grigio chiaro, talora alternate a livelli marnosi o calcarei, di colore bianco e marrone chiaro, ocre all'alterazione, con stratificazione da molto sottile a media; questa litofacies è nota con il nome di Formazione di Villa a Radda Auctt. (RAA) (fig. 3.4); altre facies abbastanza diffuse sono formate da una maggiore quantità di arenarie, fittamente interstratificate con argilliti grigie con o senza rare intercalazioni di calcari marnosi e marne (Bortolotti, 1992; Ponzana, 1993)



Fig. 3.3: affioramento della Formazione di Sillano-S. Fiora presso Poppi.

. Questa formazione, datata al Cretaceo superiore-Eocene inferiore, affiora presso Memmenano, al di sotto dei depositi fluvio-lacustri del Bacino del Casentino.

Descrizione litotecnica di campagna: attenendosi alla *Guida schematica alla definizione di unità litologico-tecniche (U.L.T.) nel “substrato” e nella “copertura” –Regione Toscana* (Ferrini & Calosi ed., 2000; Ferrini ed., 2002), questa formazione, nella sua facies più comune, è riferibile all'U.T.L. B5.r1/4p5/6.



Fig. 3.4: particolare delle argilliti della litofacies Villa a Radda presso Poppi.

DOMINIO SUBLIGURE

L'Unità Tettonica Canetolo, geometricamente sottostante all'Unità Tettonica Morello, affiora solo nella frazione Lierna.

UNITA' TETTONICA CANETOLO

Nella zona in esame l'Unità Tettonica Canetolo è rappresentata dalle seguenti formazioni:

Formazione delle Breccie di Monte Senario (BNS) (Eocene medio-superiore)

Questa formazione risulta caratterizzata da due litofacies: la *litofacies calcarea* è costituita da strati torbiditici di calcari marnosi, grigi al taglio fresco e marroni-beige se alterati, con spessore da sottile a spesso, che sfumano in marne o marne argillose grigie-grigie scure, talora marroni, alternati a subordinati strati di arenaria, da medi a spessi; il rapporto calcare/marna è in favore di quest'ultima. Verso l'alto aumentano le arenarie e il loro spessore, passando alla *litofacies arenaceo-calcarea*, nella quale prevalgono le arenarie sui calcari ($A/C > 3$; $A+C/M > 1$), tanto che la formazione assume i caratteri tipici di AMS.

Nella frazione Lierna affiora solo la litofacies arenaceo-calcarea, nella parte sud-orientale del paese; i rapporti con le altre formazioni affioranti sono regolati da contatti tettonici.

Descrizione litotecnica di campagna: attenendosi alla *Guida schematica alla definizione di unità litologico-tecniche (U.L.T.) nel "substrato" e nella "copertura"* –Regione Toscana (Ferrini & Calosi ed., 2000; Ferrini ed., 2002), questo membro è riferibile all'U.T.L. B3/4.r1/4p5/6.d1/3.c1/3 (materiale lapideo costituito dall'alternanza di diversi litotipi; i livelli arenacei e calcarei sono mediamente resistenti, mentre quelli pelitici sono deboli).

Formazione dei Calcari di Borgo alla Collina (CBC) (Eocene medio-inferiore)

Questa formazione risulta costituita da strati torbiditici calcareo-marnosi, di colore grigio, talora piuttosto spessi, frequentemente con base calcarenitica, intercalati con argilliti e argilliti marnose grigio scure aventi spessore variabile. I Calcari di Borgo alla Collina affiorano presso Lierna, nella parte nord-occidentale del paese; il contatto con la Formazione delle Brecciole di Monte Senario, geometricamente sovrastanti, avviene attraverso una faglia normale ad alto angolo.

Descrizione litotecnica di campagna: attenendosi alla *Guida schematica alla definizione di unità litologico-tecniche (U.L.T.) nel “substrato” e nella “copertura” –Regione Toscana* (Ferrini & Calosi ed., 2000; Ferrini ed., 2002), questa formazione, nell’area oggetto di rilevamento, è riferibile all’U.T.L. B4.r1/4p5/6.d1/3 (alternanza di marne, calcari marnosi, argilliti ed argilliti marnose, con spessore degli strati variabile da pochi centimetri ad alcuni metri; i livelli marnoso-calcarei sono mediamente resistenti, mentre quelli marnoso-argillitici sono da deboli a molto deboli; le discontinuità hanno spaziatura moderata).

DOMINIO TOSCANO

L’unica unità del Dominio Toscano affiorante nell’area in esame è l’Unità Cervarola-Falterona, che risulta geometricamente sottostante all’Unità tettonica Canetolo o all’Unità Morello.

UNITA’ TETTONICA CERVAROLA-FALTERONA - Successione del Pratomagno

Marne di Vicchio (VIC) (Aquitaniense-Langhiano)

Questa formazione è generalmente costituita da marne siltose e marne calcaree a frattura scheggiata, con stratificazione da sottile a media, talora poco marcata per effetto di fenomeni di bioturbazione o scarsa classazione granulometrica. Sono presenti sottili intercalazioni di siltite o arenite fine a componente calcarea; localmente la frazione calcarea può essere preponderante e la roccia diventa massiva con un elevato numero di vene di calcite. Talora si rinvenivano sottili livelli calcarenitici e calcisiltitici bioturbati di colore biancastro. Tra le zone del Casentino oggetto del Programma Vel, questa formazione affiora solo presso Moggiona (fig. 3.5), con un’unica litofacies, definita come VICb, per uniformità con il Progetto CARG della regione Toscana; nella frazione Moggiona è tipico il ritrovamento di livelli di calcare selcioso con liste di selce nera, intercalati a strati di marna siltosa grigio-azzurra con noduli baritici.

Descrizione litotecnica di campagna: attenendosi alla *Guida schematica alla definizione di unità litologico-tecniche (U.L.T.) nel “substrato” e nella “copertura” –Regione Toscana* (Ferrini & Calosi ed., 2000; Ferrini ed., 2002), questa formazione è riferibile all’U.T.L. B4/5.r1/4p5/6.d1/3.c1/3.



Fig. 3.5: affioramento delle Marne di Vicchio presso Moggiona.

Formazione delle Arenarie del Monte Falterona (FAL)

Questa formazione si ritrova nelle frazioni Lierna, Moggiona, Quota e Badia Prataglia; è costituita da arenarie torbiditiche quarzoso-feldspatiche-micacee di colore grigio al taglio fresco, giallastre all'alterazione e granulometria da media a grossolana, alternate a siltiti, argilliti e marne grigio-scure, giallastre se alterate.

Lo spessore degli strati arenacei ed il rapporto Arenaria/Pelite (A/P) varia all'interno della formazione: dal basso verso l'alto diminuisce lo spessore degli strati arenacei ed aumenta la frazione pelitica.

Questa formazione è riferibile all'Oligocene superiore-Miocene inferiore.

In base al rapporto Arenaria/Pelite questa formazione è stata suddivisa in cinque membri; i passaggi tra questi sono stratigrafici e gradualmente; per questo motivo sono stati rappresentati in carta e nelle sezioni geologiche con il tratteggio.

Membro di Fosso delle Valli (FAL5) – (Aquitaniense-Burdigaliano)

Costituisce la parte sommitale della Formazione delle Arenarie di Monte Falterona e si ritrova presso Moggiona, dove è costituito da marne e marne siltose grigie a stratificazione finissima e talora indistinta, con subordinate areniti a granulometria da fine a finissima, la cui frequenza diminuisce verso l'alto e rare calcareniti in strati molto sottili. Il rapporto A/P è minore di 1/6. Le marne localmente contengono lenti di selce e sono talora dure e scheggiose. Nella zona in esame questo membro forma il nucleo di una struttura plicativa, associata ad un sovrascorrimento.

Descrizione litotecnica di campagna: attenendosi alla *Guida schematica alla definizione di unità litologico-tecniche (U.L.T.) nel "substrato" e nella "copertura" – Regione Toscana* (Ferrini & Calosi ed., 2000; Ferrini ed., 2002), questo membro è riferibile all'U.T.L. B4/5.r1/4p5/6.d1/3.c1/3.

Membro di Lonnano (FAL4) – (Aquitaniense superiore)

Questo membro è stato cartografato solo presso Moggiona; esso è generalmente costituito da arenarie fini e siltiti in strati da centimetrici a decimetrici alternati a peliti marnoso-siltose. Sono presenti rare intercalazioni di arenarie a granulometria media e medio-grossolana e di spessore di regola inferiore a 1,5 metri. Almeno il 50% degli strati torbiditici silicoclastici presenta Ta-c compreso tra 10% e 30% dello spessore totale ($1/6 < A/P < 1/3$). Talora nella parte stratigraficamente più alta prevalgono marne e marne siltose grigie (fig. 3.6).

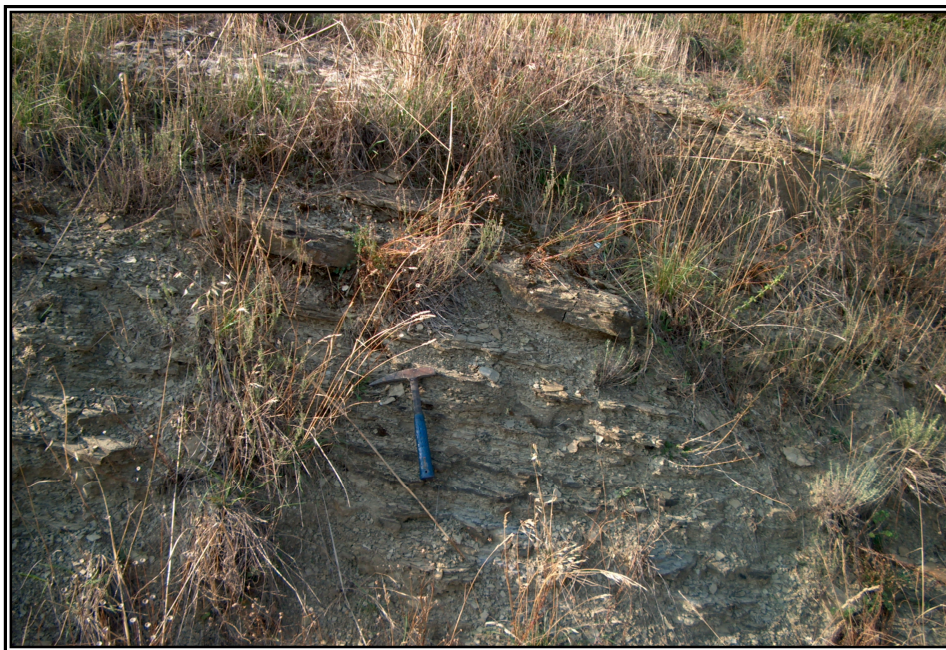


Fig. 3.6: affioramento di FAL4 presso Moggiona.

Descrizione litotecnica di campagna: attenendosi alla *Guida schematica alla definizione di unità litologico-tecniche (U.L.T.) nel “substrato” e nella “copertura” –Regione Toscana* (Ferrini & Calosi ed., 2000; Ferrini ed., 2002), questo membro è riferibile all’U.T.L. B4/5.r1/4p5/6.d1/3.c1/3.

Membro di Montalto (FAL3) – (Miocene inferiore-Aquitaniense)

Arenarie a granulometria da media a medio-grossolana, grigie al taglio fresco, giallastre all’alterazione, in strati da decimetrici a metrici con intercalazioni centimetriche-decimetriche di peliti siltose alternate a pacchi metrici di strati sottili di arenarie fini e peliti ($1/3 < A/P < 2$) (fig.3.7). Sono occasionalmente presenti strati a composizione carbonatica: areniti carbonatiche e marne di colore grigio-giallastro. Nella zona di indagine affiora presso Quota, Badia Prataglia e Lierna. Presso Quota affiora nella parte nord-orientale dell’area; il contatto con il membro FAL2 è tettonico ed avviene per faglia normale ad alto angolo. Nella frazione Lierna affiora nella parte settentrionale dell’area ed è in contatto tettonico con le formazioni appartenenti al Complesso di Canetolo. Presso Badia Prataglia il FAL3 affiora nella parte sud-occidentale del paese; il contatto con il sottostante FAL2 è stratigrafico e avviene in maniera graduale, tanto che è impossibile posizionare, sulla base degli affioramenti, il limite preciso tra i due membri, che è pertanto stato riportato col tratteggio.



Fig. 3.7: affioramento di FAL3 presso Badia Prataglia.

Descrizione litotecnica di campagna: attenendosi alla Guida schematica alla definizione di unità litologico-tecniche (U.L.T.) nel “substrato” e nella “copertura” –Regione Toscana (Ferrini & Calosi, ed. 2000; Ferrini, ed.2002), questo membro è riferibile all’U.T.L. B3/4.r1/4p5/6.d1/3.c1/3.

Membro di Camaldoli (FAL2) – (Oligocene terminale-Miocene basale)

Arenarie a granulometria medio-grossolana in strati metrici fino a banchi, localmente amalgamati, con intercalazioni centimetriche-decimetriche di peliti ($2 < A/p < 10$). Possono essere presenti interstrati di areniti carbonatiche e marne. Scarsi strati e pacchi di strati sottili arenacei fini-siltitici (fig. 3.8). Tra le aree del comune di Poppi, inserite nel Programma Vel questo membro affiora presso Quota e Badia Prataglia. Nella frazione Quota il FAL2 forma numerosi affioramenti nell’area in cui sorge il centro abitato; il passaggio al FAL3, che affiora più a nord-est, avviene per faglia normale; a Badia Prataglia affiora nella parte sud-occidentale del paese (fig. 3.8), in contatto stratigrafico con il sovrastante FAL3.

Descrizione litotecnica di campagna: attenendosi alla Guida schematica alla definizione di unità litologico-tecniche (U.L.T.) nel “substrato” e nella “copertura” –Regione Toscana (Ferrini & Calosi, ed. 2000; Ferrini, ed.2002), questo membro è riferibile all’U.T.L. B3.r1/4.d1/3.c1/3.



Fig.3.8: affioramento di FAL2 presso Badia Prataglia.

Marne Varicolori di Villore (MVV) (?Cretaceo sup.-Aquitaniiano)

Questa formazione, che costituisce la parte basale, costituita da depositi pelagici-emipelagici, dell'Unità Tettonica Cervarola-Falterona, affiora solo presso Badia Prataglia. E' costituita da marne e marne siltose alternate ad argilliti più o meno marnose, caratterizzate da vistosa fissilità, di colore grigio chiaro o grigio-azzurro, talora verdine, con minori livelli da rosso vinaccia a rosso scuro. Sono a tratti presenti intercalazioni sottili di areniti fini o finissime (fig.3.9).

Descrizione litotecnica di campagna: attenendosi alla *Guida schematica alla definizione di unità litologico-tecniche (U.L.T.) nel "substrato" e nella "copertura" -Regione Toscana* (Ferrini & Calosi ed., 2000; Ferrini ed., 2002), questo membro è riferibile all'U.T.L. B4/5.r1/4p5/6.d1/3.c1/3.



Fig 3.9: affioramento di Marne Varicolori di Villore presso Badia Prataglia.

DOMINIO UMBRO-ROMAGNOLO

Formazione della Marnoso-Arenacea (FMA) (Miocene medio-superiore)

Questa formazione, nell'ambito del Programma VEL Casentino, affiora solo presso Badia Prataglia; è rappresentata da torbiditi pelitico-arenacei silicoclastici, talora carbonatici, in strati da medi a molto spessi, con geometria generalmente tabulare e base talvolta microconglomeratica. La porzione arenacea è costituita da areniti gradate a grana media. Al tetto di queste sono generalmente presenti peliti grigie laminate con frattura da scheggiosa a saponetta, che sfumano verso l'alto in marne siltose grigio chiaro con aspetto compatto. Le arenarie hanno grana generalmente media e colore grigiastro, avana all'alterazione. Localmente si presentano poco cementate. Nella zona di Badia Prataglia il rapporto A/P è in genere compreso tra 2 e ½ (fig.3.10).



Fig. 3.10: affioramento della Formazione Marnoso Arenacea presso Badia Prataglia.

Descrizione litotecnica di campagna: attenendosi alla *Guida schematica alla definizione di unità litologico-tecniche (U.L.T.) nel “substrato” e nella “copertura” –Regione Toscana* (Ferrini & Calosi, ed. 2000; Ferrini, ed.2002), questo membro è riferibile all'U.T.L. B3/4.r1/4p5/6.d1/3.c1/3.

3.1 TETTONICA

Presso il capoluogo Poppi, nella zona compresa tra Roiesine e Casa Ancherona è stata individuata una faglia normale ad alto angolo, avente andamento circa N-S, che ribassa il blocco posto sul lato occidentale. Anche se individuata con certezza solo in questa area, essa potrebbe probabilmente essere prolungata anche più a sud, fino a lambire la zona in cui si trova il centro abitato di Poppi. L'attività di questa struttura sembra essere perdurata fino a tempi molto recenti (Quaternario); essa infatti ha condizionato la sedimentazione dei depositi di conoide alluvionale posti tra Certomondo e I Cappuccini (vedi par. 1.3.1), determinando infatti una conoide di tipo aggradante. La presenza di questo elemento tettonico è testimoniata anche dal fatto che essa, ribassando l'insieme costituito dalle unità ARN1 e CAS2 sul lato occidentale, ne determina l'affioramento anche a ovest di Casa Ancherona. Un altro elemento tettonico del capoluogo Poppi è il carattere tettonizzato del contatto

tra la Formazione di Sillano-S. Fiora e la Formazione della Pietraforte, geometricamente sovrastante, che si osserva sia nella zona del centro storico di Poppi, sia più a Sud, presso Colle Ascensione. In questa zona gli strati risultano solo debolmente deformati da strutture plicative.

Nell'area di Memmenano non sono stati osservati lineamenti tettonici fragili di rilievo. Gli scarsi affioramenti della Formazione di Sillano (litofacies RAA) non consentono altresì di riconoscere eventuali strutture plicative presenti nel substrato.

Nella zona di Quota è stata individuata, per il brusco cambiamento di litofacies della Formazione delle Arenarie di Monte Falterona, una faglia normale ad alto angolo, orientata circa in direzione WNW-ESE, che mette in contatto il FAL3 con il FAL2, ribassando il FAL3 sul lato settentrionale. Gli strati sono deformati solo da blande ondulazioni e le inclinazioni sono ovunque da medie a moderate.

Presso Lierna sono presenti due faglie normali ad alto angolo, che regolano i rapporti tra le tre formazioni ivi presenti: la prima, orientata circa NW-SE, ribassa l'Unità Tettonica Canetolo sul lato meridionale, rispetto al membro di Montalto della Formazione di Monte Falterona (FAL3), sul lato settentrionale; l'altra interessa la sola Unità Tettonica Canetolo ed è orientata circa SW-NE; questa struttura ribassa sul lato orientale le Breccie di Monte Senario rispetto ai Calcari di Borgo alla Collina. Per quanto riguarda la tettonica duttile, gli strati di tutte le unità sono interessati solo da blandi piegamenti.

Nella zona di Moggiona è stata ipotizzata la presenza di una struttura complessa, nella quale una struttura plicativa, avente il membro FAL5 al nucleo e asse orientato circa NW-SE, è in contatto con le Marne di Vicchio (VIC_b), attraverso una faglia inversa. Gli strati delle Marne di Vicchio hanno un assetto monoclinale, immergendo quasi costantemente verso SW.

Presso Badia Prataglia è osservabile il sovrascorrimento dell'Unità Tettonica Cervarola-Falterona sulla Formazione Marnoso-Arenacea (FMA) del Dominio Umbro-Romagnolo. In questa zona il thrust ha andamento circa NW-SE. All'interno dell'Unità Cervarola Falterona, è inoltre presente un accavallamento tettonico minore, che determina contatti tettonici tra le Arenarie di Monte Falterona e le Marne Varicolori di Villore, geometricamente sottostanti, che emergono in prossimità della superficie di sovrascorrimento. In questa zona le strutture plicative sono di modesta entità: nell'Unità Cervarola-Falterona corrispondono principalmente a pieghe blande o *drag-folds* legate ai sovrascorrimenti; nella Formazione Marnoso Arenacea gli strati hanno una geometria tabulare e sono per lo più deformati da strutture fragili di modesta entità, come fratture o faglie di importanza locale e di rigetto di pochi centimetri.

4.0. Dati geotecnici e geofisici

Dal rilievo geologico e geomorfologico eseguito nell'area di Poppi in località capoluogo e nelle frazioni principali erano emerse numerose problematiche e diversi aspetti da definire al fine di ricostruire in maniera dettagliata il modello geologico di sottosuolo attraverso la parametrizzazione dei terreni investigati e la ricostruzione delle geometrie sepolte.

In primo luogo si è cercato di definire i depositi di copertura superficiali (detrito di versante, depositi alluvionali) e di fornire la geometria dei corpi assieme ad una necessaria parametrizzazione geofisica. A tale scopo, le indagini eseguite nel Capoluogo sono state finalizzate alla determinazione delle velocità delle onde di rifrazione all'interno degli orizzonti alluvionali e fluvio-lacustri per poter poi risalire a valori caratteristici di V_s .

Un'altra problematica che è stata affrontata è connessa alla conoscenza dello spessore e dei contrasti di velocità esistenti tra le coperture (alluvioni recenti, depositi fluvio-lacustri fini) e substrato geologico. Tale problematica è maggiormente rilevante in quelle aree in cui il contrasto di velocità tra coperture e substrato risulta più elevato come nelle aree montane e nell'area del capoluogo.

4.1 – Indagini esistenti

Per approfondire tali problematiche e soprattutto per determinare spessori, geometrie e parametri dinamici (in particolare le velocità V_{SH}) sono state svolte nel corso degli anni successive campagne di indagini nell'ambito dei programmi e delle attività regionali di prevenzione del rischio sismico *Programma di Valutazione degli Effetti Locali (Programma VEL)* *Programma di Valutazione Vulnerabilità sismica degli Edifici Scolastici e degli Edifici pubblici strategici*, *Programma di Valutazione della Vulnerabilità sismica delle aree produttive*.

Le indagini realizzate sono principalmente rappresentate da 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 e prove di laboratorio sui campioni indisturbati prelevati nel corso dei sondaggi geotecnici.

Nello specifico sono state eseguite:

- n.18 indagini geofisiche di sismica a rifrazione in onde P e SH;
- n.15 sondaggi geognostici a carotaggio continuo con prelievo di campioni indisturbati sottoposti a prove di laboratorio sia di tipo statico che dinamico.
- n.13 geofisiche in foro di tipo down-hole con onde P e SH;

Tutte le indagini eseguite, sono state realizzate da imprese specializzate nel settore attraverso procedure di appalto pubblico coordinate dal Comune di Poppi oppure dalla Regione Toscana; sono state successivamente validate da apposita Commissione di Collaudo costituita da rappresentanti della comunità scientifica nazionale sia per gli aspetti di natura geologico-stratigrafica, sia per gli aspetti di natura geofisica e geotecnica e sono disponibili in formato .pdf sul seguente sito web:

http://www.rete.toscana.it/sett/pta/sismica/01informazione/banchedati/indagini_terreno/indagini/casentino/poppi/poppi.htm

Inoltre, in aggiunta a tutte le suddette indagini geognostiche realizzate nell'ambito dei Programmi regionali che forniscono le principali informazioni per la caratterizzazione del modello geologico e sismostratigrafico di sottosuolo, è stata effettuata un'operazione di recupero dei dati geognostici pregressi mediante la consultazione di archivi esistenti.

Nello specifico sono stati consultati e acquisiti i seguenti dati:

- pozzi ad uso idropotabile con stratigrafia reperiti dall'archivio pozzi Webwater della Provincia di Arezzo;
- pozzi con stratigrafia nota reperiti dalla Banca dati ISPRA;
- sondaggi geotecnici reperiti dalla "Carta dei dati di base" allegata allo Strumento Urbanistico Comunale;
- prove geofisiche di tipo MASW, indagini di sismica a rifrazione con onde P e SH e indagini geotecniche reperite presso l'archivio dei dati geognostici dell'Ufficio Tecnico del Genio Civile di Arezzo;

Per quanto concerne le indagini reperite presso l'archivio dei dati geognostici dell'Ufficio Tecnico del Genio Civile di Arezzo, si precisa che queste sono state consultate ai fini della realizzazione del presente lavoro, ma non sono state allegate copie dei documenti originali.

4.2 – Indagini di nuova realizzazione

Per la predisposizione del presente di *studio di Microzonazione Sismica dei centri urbani* è stato ritenuto utile realizzare ulteriori n.4 linee sismiche a rifrazione (ST19-20-21-22). Tali indagini sono state realizzate nell'area capoluogo e nelle frazioni di Memmenano, Lierna e Moggiona.

I risultati di tutte le indagini geofisiche, geotecniche e geofisiche in foro sono riportati in allegato.

Parallelamente all'esecuzione della campagna geofisica di superficie è stata condotta una campagna di misure HVSR (Vedi risultati in allegato). L'analisi è stata realizzata mediante l'utilizzo di n.81 diversi siti di indagine distribuiti uniformemente sul territorio ed in accordo con le condizioni geologiche del territorio (vedi carta delle indagini per la relativa ubicazione).

Mediante tali stazioni è stato possibile valutare il rapporto spettrale tra la componente orizzontale e quella verticale del rumore sismico registrato (HVSR); ciò al fine di poter valutare qualitativamente l'amplificazione delle onde sismiche nella coltre sedimentaria, nell'ipotesi che la componente verticale del rumore non subisca significative variazioni.

5.0. Modello del sottosuolo

A seguito di tutte le indagini geologiche, geofisiche e geotecniche svolte nell'area di indagine del Comune di Poppi, 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 e geotecnica di riferimento. Naturalmente è opportuno sottolineare che tale parametrizzazione poiché deriva dalle indagini eseguite risulta indicativa e non deve quindi essere utilizzata a scala di progettazione.

Come indicato nel capitolo precedente le indagini sono state effettuate nella zona di Poppi, all'interno del centro abitato e delle sue frazioni di Badia Prataglia, Memmenano, Lierna, Moggiona e Quota .

Per quanto concerne l'area comprendente il **capoluogo, Ponte Poppi e Porrena** dalle indagini svolte opportunamente integrate tra loro e con l'ausilio dei rilievi geologici eseguiti nell'area emerge la presenza di un modello geologico piuttosto variegato caratterizzato da un substrato geologico di natura argillitica (Formazione di Sillano) con la sola eccezione dell'area capoluogo-Ponte a Poppi dove invece il substrato geologico risulta più spiccatamente lapideo data la presenza della Formazione della Pietraforte. Tale variazione litologica condiziona anche la morfologia della valle del fiume Arno che appare piuttosto ampia in corrispondenza delle zone in cui affiorano litotipi argillitici mentre si restringe notevolmente nell'area di Ponte a Poppi dove la valle diviene stretta e contenuta da versanti acclivi e costituiti da litotipi arenaci afferenti alla formazione della Pietraforte . Per la definizione del modello geologico di sottosuolo dell'area risulta importante la corretta ricostruzione della profondità del substrato geologico sepolto, lungo la valle del fiume Arno il substrato presenta una copertura alluvionale di spessore non superiore ai 20m complessivi caratterizzata da depositi fluviali del Bacino del Casentino (ARN3-2), mentre spostandosi verso il limite della valle posto in sponda sinistra dell'Arno, il substrato si approfondisce notevolmente verso l'area che anticamente rappresentava il centro deposizionale del bacino fluvio-lacustre del Casentino, che nell'area di studio risulta ricoperto da uno spessore massimo di circa 100 -120m di depositi fluvio-lacustri fini di natura argillosa (CAS2), che localmente al loro tetto presentano depositi fluvio lacustri di chiusura del bacino (ARN1) costituiti da ghiaie in abbondante matrice sabbioso-limosa. Le sezioni geologico-tecniche AA'-BB'-CC'-DD', le cui ubicazioni sono indicate in figg. 5.1, descrivono la situazione sopradescritta e sono riportate integralmente in allegato al presente lavoro.

La frazione di **Memmenano** presenta una situazione geologica e strutturale molto simile a quella esaminata in precedenza, in virtù anche della breve distanza dal Capoluogo.

In questa zona i depositi fluvio-lacustri (CAS e ARN 1) poggiano sul substrato di natura argillitica che si approfondisce verso Nord-Est.

Le altre frazioni risultando ubicate in ambiente montano presentano solitamente modelli geologici di sottosuolo più semplici caratterizzati da limitate coperture detritiche al disopra di substrati geologici ora di natura argillitica ed ora più spiccatamente lapidei.

In virtù dell'elevata energia del rilievo che contraddistingue i contesti montani assumono importanza anche le aree interessate da fenomeni franosi che in alcune frazioni quali Lierna, Badia Prataglia e Quota ricoprono elevate estensioni.

Nell'abitato di Badia Prataglia i dissesti gravitativi mappati che come detto al capitolo 1 tengono conto del materiale fornito dal Comune di Poppi relativo all'approfondimento del quadro conoscitivo del piano di bacino stralcio Assetto Idrogeologico (PAI) del fiume Arno, sono associati prevalentemente ai versanti caratterizzati da affioramenti di rocce tenere (argilliti e marne) e non sembrano interessare la porzione del centro abitato che si trova in sponda sinistra del torrente

Corsalone, tuttavia in base alle indagini reperite ed eseguite nell'ambito del progetto VEL si riscontra in tale area una coltre dello spessore massimo di circa 30 m costituita da blocchi arenaci talvolta anche di dimensioni metriche che dalla porzione posta a monte dell'abitato si estende sino all'impluvio in cui scorre il torrente Corsalone.

Tale accumulo è a nostro avviso riconducibile ad una paleofrana in roccia che attualmente ha raggiunto condizioni di stabilità e che pertanto presenta maggiori problematiche da un punto di vista dell'amplificazione sismostratigrafica, piuttosto che come dissesto gravitativo.

L'ipotesi della paleofrana appare supportata anche dalle risultanze del sondaggio S6 che realizzato in prossimità del torrente Archiano a monte dell'accumulo riscontra circa 30 metri di depositi fini lacustro-palustri, associabili alla creazione di un modesto bacino di sbarramento e altrimenti difficilmente spiegabili in un contesto montano come quello che contraddistingue Badia Prataglia.

6.0. Interpretazioni ed incertezze

Nell'ambito di uno studio di microzonazione sismica particolare attenzione deve essere posta alla numerosità e qualità dei dati geognostici che si hanno a disposizione. Tale aspetto influisce certamente sia sulle interpretazioni geologiche che verranno effettuate nelle fasi di analisi e di sintesi dei dati, sia nella gestione delle eventuali incertezze.

Nel corso dello svolgimento del presente lavoro la problematica che ha richiesto maggior attenzione è stata la ricostruzione della morfologia sepolta del substrato geologico nell'area Poppi Porrena in particolar modo nelle zone in cui questo si approfondisce.

I numerosi dati derivati da metodologie di indagine geognostiche dirette e metodologie di indagine in sismica attiva infatti descrivono dettagliatamente il modello sismostratigrafico in corrispondenza della valle dell'Fiume Arno dove il substrato presenta una copertura alluvionale di spessore non superiore ai 20m ma in virtù della limitata profondità di investigazione insita nel metodo risultano scarsamente adeguati a descrivere le aree in cui il substrato geologico si approfondisce.

Per tale motivo è stata realizzata una estesa campagna di indagini di sismica passiva (HVSr) che grazie alla dettagliata conoscenza delle Vsh dei terreni di copertura e dei diversi tipi di substrato geologico fornita dalle indagini esistenti ha reso possibile sia la ricostruzione della morfologia di approfondimento del substrato geologico al di sotto dei depositi fluvi lacustri (frequenze fondamentali), ma anche la perimetrazione (entità del picco H/V) del contatto sepolto tra le argilliti della formazione di Sillano (substrato geologico ma non bedrock sismico) con la più lapidea Formazione della Pietraforte contraddistinta da arenarie e Calcareniti che in virtù delle Vsh che mediamente si collocano attorno ai 1000 m/s risulta il bedrock sismico.

L'andamento del contatto sepolto risente pertanto dei risultati delle indagini e non si esclude che future e ulteriori indagini possano portare lievi modifiche del contatto, tuttavia in considerazione del fatto che da un punto di vista sismostratigrafico la presenza di Pietraforte al disotto delle medesime coperture sedimentarie può generare considerevoli fenomeni di amplificazione, nella tracciatura del limite si è scelto un criterio conservativo estendendo la presenza della Pietraforte anche alle aree di dubbia attribuzione assumendo così un approccio cautelativo.

Ad eccezione di quest'ultima interpretazione preme sottolineare come invece nella perimetrazione delle aree della cartografia MOPS si sia tenuto conto della effettiva presenza di dati relativi a ciascun settore della carta dettagliando maggiormente quelle aree in cui il maggior numero di dati sismostratigrafici in nostro possesso permettesse di condurre tale operazione in maniera attendibile. Sulla base dei molteplici dati a disposizione nell'ambito del presente studio e in relazione alla buona qualità di molte indagini (in quanto desunte dal Programma VEL) debitamente integrate con indagini ad esse complementari, si ritiene che il grado di dettaglio dello studio sia sufficientemente affidabile e che le interpretazioni e le incertezze siano comunque contenute in funzione al grado di approfondimento dello studio che si intende perseguire.

Fermo restando quanto evidenziato, oltre agli aspetti che potrebbero essere approfonditi in fasi successive di indagini vi sono alcune incertezze derivanti da alcune lacune all'interno degli ICMS che si riassumono nei seguenti punti:

- impossibilità di trattare in MS1 gli aspetti di amplificazione sismostratigrafica imputabili ai corpi franosi che invece vengono trattati solo come aree suscettibili di instabilità. Se da un lato la problematica risulta pressoché nulla per corpi di frana attivi/quiescenti di limitata estensione al contrario causa una perdita di informazioni per le aree (Badia Prataglia e Lierna) dove il dissesto interessa versanti molto estesi ma con stato di attività stabile che presentano maggiori problematiche da un punto di vista dell'amplificazione litostratigrafica, piuttosto che come dissesto gravitativo;
- impossibilità di trattare nella carta geologico tecnica coperture grossolane con diametro degli elementi superiore a quello della ghiaia.

7.0 Metodologie di elaborazione e risultati

I dati acquisiti con il rilevamento geologico e con le indagini geofisiche e geotecniche in sito e di laboratorio vengono raccolti ed organizzati in una **banca dati geografica (Geographic Information System, "GIS")**.

Lo scopo è quello di poter gestire un quantitativo ingente di informazioni provenienti da diverse discipline e di integrare tali dati in modo oggettivo e dinamico, in modo da poterli modificare e aggiornare nel corso del progetto ed utilizzarli per scopi diversi, quali la semplice rappresentazione cartografica, l'estrazione dei dati sulla base di specifiche richieste dell'utente o l'analisi con diversi metodi.

La banca dati si sviluppa secondo due filoni strettamente dipendenti:

- 1) la banca dati geografica delle cartografia, geologica, geomorfologica e litotecnica ;
- 2) la banca dati delle indagini geognostiche, geotecniche e geofisiche.

Per strutturare la banca dati è stato preso come riferimento lo *“Standard di rappresentazione e archiviazione informatica”* (versione 3.0 – ottobre 2013) del Dip.to della Protezione Civile Nazionale prodotto dalla “Commissione Tecnica per la Microzonazione Sismica” costituita ai sensi dell’art.5 comma 7 dell’OPCM 3907/2010.

Le entità cartografate vengono ricondotte a tre tipi di elementi geometrici: punti, linee, poligoni. Uno strato informativo è costituito da una tipologia di elementi geometrici (solo punti, solo linee, solo poligoni) connessi ad elementi descrittivi (tabelle). La digitalizzazione viene fatta con ArcGIS 9.2 View, la correzione geometrica e topologica viene effettuata con ArcInfo.

La banca dati geotecnica e geofisica (**realizzata precedentemente alla distribuzione del Soft/MS**) è stata organizzata in un DBMS unico per le due tipologie di indagini: quelle riconducibili in un piano ad elementi puntuali (sondaggi geotecnici, prove down-hole, prove penetrometriche) ed ad elementi lineari (sismica a rifrazione). La banca dati è stata strutturata in modo da permettere l' estrazione e l' utilizzo delle informazioni inserite per l' analisi integrative attraverso sistemi GIS. Per ogni punto di indagine vengono inserite le coordinate geografiche nel sistema Gauss-Boaga, in modo di legare le informazioni descrittive a forme geometriche georeferenziate attraverso specifiche operazioni di conversione.

Di seguito si riporta lo schema logico (Fig.7.1) delle relazioni che devono essere implementate tra le tabelle di tipo alfanumerico che servono per archiviare i dati dei siti relativi alle indagini (puntuali e lineari) ed ai parametri ad esse collegate. La relazione con gli shapefile è stabilita attraverso i campi ID_SLN (Tabella Sito_Lineare) e ID_SPU (Tabella Sito_Puntuale). Ogni tabella è definita in maniera univoca secondo le specifiche tecniche nazionali riportate nel suddetto documento.

La banca dati completa di tutte le indagini (sia pregresse che di nuova acquisizione), le cartografie tematiche prodotte, i layout predisposti e le basi dati sono archiviate secondo una struttura di archiviazione dei file in cartelle in maniera standard seguendo lo schema indicato in tab. 7.1

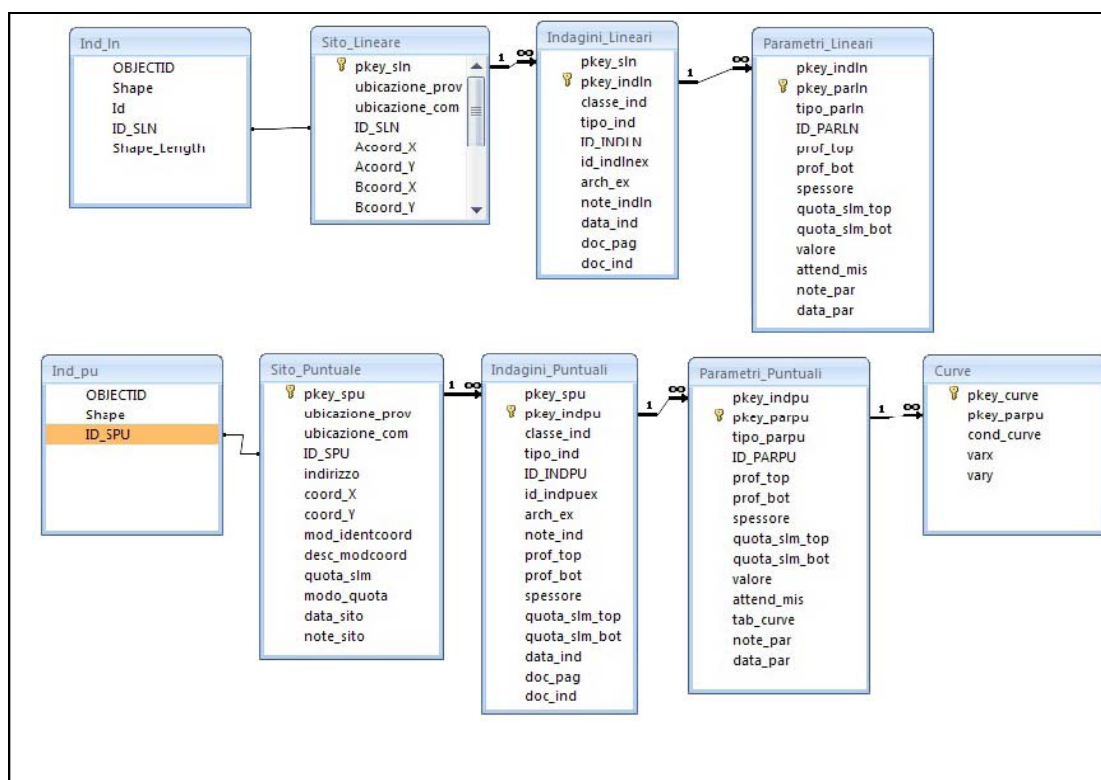


Fig. 7.1 – Relazione tra tabelle e shapefile

Tab. 7.1 – Modalità di archiviazione dei file nelle cartelle all'interno della Banca Dati

| | |
|----------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Nome cartella | Descrizione sintetica dei contenuti |
| Nomecomune_S20 | Cartella principale contenente tutte le cartelle funzionali agli studi di microzonazione sismica. Questa cartella deve essere rinominata con il nome del Comune per il quale si sta eseguendo lo studio. |
| BasiDati | Nella cartella BasiDati andranno inserite le carte di base utilizzate (es. CTR) in formato raster o vettoriale georeferenziate. |
| CLE | Cartella contenente: <ul style="list-style-type: none"> Gli shapefile per l'analisi cella CLE <ul style="list-style-type: none"> CL_AC CL_AE CL_AS CL_ES CL_US Il database CLE_db.mdb che contiene le tabelle relative alle schede: <ul style="list-style-type: none"> scheda_ES scheda_AE scheda_AC |

| | |
|-----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| | <ul style="list-style-type: none"> ○ scheda_AS ○ scheda_US |
| GeoTec | <p>Cartella contenente gli shapefile riferiti ad elementi geologici e idrogeologici:</p> <p>Epuntuali Elineari Forme Geoidr Geotec</p> <p>Cartella nella quale inserire il raster georeferenziato della Carta geologico – tecnica prodotta e il file "Legenda".</p> |
| Indagini | <p>Cartella contenente</p> <ul style="list-style-type: none"> • gli shapefile delle indagini: <ul style="list-style-type: none"> ○ Ind_pu ○ Ind_In • il database "CdI_tabelle" con le tabelle per l'archiviazione delle indagini • la cartella Documenti per inserire i documenti pdf delle Indagini_puntuali e delle Indagini_lineari |
| MS1 | <p>Contiene i seguenti shapefile</p> <p>Isosub Instab Stab</p> |
| MS2 | <p>Identico contenuto della cartella MS1.</p> <p>Viene utilizzata per l'inserimento della Carta della microzonazione sismica di livello 2.</p> |
| MS3 | <p>Identico contenuto della cartella MS1.</p> <p>Viene utilizzata per l'inserimento della Carta della microzonazione sismica di livello 3.</p> |
| Plot | <p>Cartella nella quale inserire file di stampa delle carte realizzate e la Relazione illustrativa.</p> |
| Progetti | <p>Cartella per eventuali progetti (per esempio .mxd realizzati in EsriArcGis®).</p> |
| Tools | <p>Cartella principale contenente la cartella "SoftCLE" nella quale è presente il pacchetto di installazione per il software di inserimento dati "softCLE"</p> |
| Vestiture | <p>Cartella per le vestiture realizzate (librerie e simboli).</p> <p>Al momento contiene "MS_CartaIndagini_20.style" utile alla rappresentazione cartografica dei simboli corrispondenti alle indagini.</p> <p>(Per utilizzare i file .style in ArcGis® selezionare lo StyleManager)</p> <p>Sono inoltre presenti i loghi della Conferenza delle regioni e delle Province Autonome e del Dipartimento della Protezione Civile, per il layout delle carte</p> |

Dall'insieme dei dati immagazzinati sono stati redatti ulteriori elaborati per la definizione della risposta sismica locale quali la cartografia delle Microzone Omogenee in prospettiva sismica a partire dagli elaborati di base (MOPS), la Carta delle Frequenze fondamentali dei depositi, la Cartografia geologico-tecnica per la Microzonazione Sismica e la Carta delle indagini. Tali cartografie sono state informatizzate seguendo le indicazioni, i criteri, le legende tipo e le colorazioni previste dagli "Standard di rappresentazione e archiviazione informatica" (versione 3.0 – Ottobre 2013).

Tutte le indagini geognostiche eseguite nel Comune di Poppi, sono anche disponibili in formato .pdf sul seguente sito web:

http://www.rete.toscana.it/sett/pta/sismica/01informazione/banchedati/indagini_terreno/indagini/casentino/poppi/poppi.htm

dove è possibile scaricare gratuitamente le cartografie geologiche e geomorfologiche in scala 1:10.000 e 1:2.000 in formato raster georeferenziato (.ecw); le stese sismiche a rifrazione con onde P e SH (sia le sezioni sismostratigrafiche originali della ditta, sia quelle reinterprete, sia le sezioni litostratigrafiche), i log-stratigrafici dei sondaggi geotecnici e i diagrammi delle dromocrone delle prove down-hole eseguite e i certificati delle prove statiche e dinamiche di laboratorio sui campioni indisturbati prelevati.

7.1 – Analisi di risposta sismica locale

Le aree del centro abitato di Poppi e dell'attigua località di Porrena sono state oggetto di analisi di risposta sismica locale in assetto mono e bidimensionale, finalizzate alla redazione di cartografie di microzonazione sismica di livello 3.

Il fine principale è stato quello di stimare, mediante una procedura analitica (possibile grazie alla campagna di esplorazione multidisciplinare del sottosuolo, descritta nei precedenti capitoli) il valore del fattore di amplificazione dei terreni oggetto di indagine, ascrivibile sia a condizioni stratigrafiche e/o topografiche sia al contesto geometrico sepolto dell'area.

Infatti, le suindicate analisi condotte in assetto bidimensionale sono state successivamente confrontate con i risultati delle omologhe modellazioni monodimensionali, per una valutazione disaggregata del contributo all'amplificazione sismica del sito degli aspetti di natura bidimensionale rispetto a quelli dovuti al semplice assetto sismostratigrafico.

Il codice di calcolo utilizzato per le analisi 1D è STRATA (Kottke & Rathje, 2008).

Questo software (distribuito gratuitamente online) permette la realizzazione di analisi di risposta sismica locale 1D agendo in un contesto semplificato di tipo elastico-equivalente.

Il modello fisico consiste di N strati piani e paralleli, di estensione orizzontale infinita, su un semispazio (bedrock). Ogni strato, considerato omogeneo ed isotropo, è caratterizzato dallo spessore h , dalla densità ρ , dal modulo di taglio G , e dal fattore di smorzamento ξ .

Il processo di analisi, a seguito dell'inserimento dei dati di input (sismo-stratigrafia del sito ed input sismici) comporta i seguenti passaggi:

- Ø Trasformazione del moto di input dal dominio del tempo al dominio delle frequenze (spettro di Fourier);
- Ø Esecuzione dell'analisi: sulla base del modello sismostratigrafico e quindi della funzione di trasferimento tipica del sito, lo spettro di input sarà modificato nell'attraversare il profilo. Il modello è iterativo e ciò comporta che all'aumentare della deformazione indotta, i valori di G e ξ iniziali vengano progressivamente sostituiti con i valori degradati, sulla base delle curve dinamiche inserite per ogni strato;
- Ø Alla fine dell'analisi sarà definito uno spettro di Fourier in output, relativo alla modifica dello spettro di input sulla base delle caratteristiche geologico-tecniche del sito. Dal rapporto tra spettro di output e spettro di input, sarà definibile la funzione di trasferimento peculiare del sito;
- Ø Mediante antitrasformata di Fourier sarà definito l'accelerogramma di output, tramite il quale il programma calcolerà lo spettro di risposta di output.

Invece, le analisi di modellazione dinamica in assetto bidimensionale sono state condotte mediante software agli elementi finiti QUAKE/W della Geostudio 2012. Esso consente di definire il comportamento dinamico del terreno con un modello lineare equivalente, il quale si basa su parametri rappresentativi delle proprietà elastiche ed isteretiche dei terreni in funzione della deformazione di taglio. Nei modelli lineari equivalenti, pur attenendosi ad una formulazione lineare “a tratti”, si considerano gli effetti di non linearità e di dissipazione.

Tale software permette la digitalizzazione di sezioni geologo-tecniche, l’inserimento dei parametri geotecnico-geofisici delle formazioni geologiche presenti e la discretizzazione dei livelli individuati in elementi (mesh), le cui dimensioni sono stimate sulla base dei valori di velocità delle onde di taglio nello strato in esame, della massima frequenza che si vuole propagare e di un coefficiente di stabilità.

La sezione geologico-tecnica viene sottoposta, quindi, alla sollecitazione dinamica relativa ad ognuno dei 7 accelerogrammi spettro-compatibili ricavati con le procedure descritte nel capitolo 2.0.

La dimensione degli elementi finiti è stata stabilita (per ognuna delle sezioni analizzate) considerandola proporzionale alla minima lunghezza d’onda propagabile nel mezzo investigato (Kuhlemeyer & Lysimer, 1973). Pertanto, introducendo un coefficiente di stabilità k pari mediamente a 8 (Lanzo & Silvestri, 1999), possiamo indicare la dimensione massima di ogni elemento (D_{max}) come:

$$D_{max} = \lambda / 8 = 0.12 T V_s \quad (7.1)$$

Dove V_s (velocità di propagazione delle onde di taglio) viene ricavata dalle indagini geofisiche dirette ed illustrate per il sito in esame in tabella 7.1.1, mentre T è il periodo corrispondente alla minore onda sismica propagabile (si è ritenuto sufficiente il valore di frequenza pari a 20Hz), corrispondente a 0.05s che è quindi minor periodo per cui si può ritenere attendibile il dato di output.

Il parametro utilizzato nel presente lavoro ai fini della rappresentazione dei livelli amplificativi è il fattore di amplificazione di Housner (di seguito denominato FH) misurato come rapporto tra l’integrale dello spettro di accelerazione in output (PSA_{out}) e l’omologo integrale dello spettro di accelerazione in input (PSA_{in}):

$$FHa_{(0,1+0,5)} = \frac{\int_{0,1}^{0,5} PSA_{out}(T) dT}{\int_{0,1}^{0,5} PSA_{in}(T) dT} \quad (7.2)$$

$$FHa_{(0,5+1,0)} = \frac{\int_{0,5}^{1,0} PSA_{out}(T) dT}{\int_{0,5}^{1,0} PSA_{in}(T) dT} \quad (7.3)$$

Considerate le caratteristiche medie dell’abitato di Poppi e le particolari condizioni sismostratigrafiche dell’area su cui è ubicata gran parte dell’abitato, si è ritenuto opportuno valutare un duplice intervallo di integrazione: il primo tra 0.1 e 0.5 secondi (denominato $FH_{0,1-0,5}$), significativo per le strutture più rigide, a basso periodo proprio, il secondo per le strutture più flessibili (denominato $FH_{0,5-1}$), ad elevato periodo proprio.

Si è scelto di calcolare il valore del Fattore d'amplificazione FH singolarmente per ognuno dei sette accelerogrammi utilizzati come input, ottenendo il valore finale come media dei sette fattori. Preliminarmente all'esecuzione delle analisi di risposta sismica locale, sono stati condotti test al fine di valutare l'influenza sul risultato finale del numero di iterazioni eseguite e delle distanze ottimali dei bordi.

In primis, prendendo a riferimento la sezione A-A', è stata verificata l'influenza del numero di iterazioni sul risultato finale, sia in termini di spettri di risposta, sia come valori del fattore d'amplificazione nei due intervalli d'integrazione riportati alle formule 7.2 e 7.3.

Sono stati valutati i risultati relativi a 5, 10 e 15 iterazioni. Dalle analisi effettuate è stato verificato come già con 5 iterazioni il risultato in termini di $FH_{0.1-0.5}$, messo a confronto con l'analogo valore per 15 iterazioni, risulta pressoché stabile (come visibile dagli spettri illustrati in figura 7.1.1).

Infatti, ad eccezione dei punti di output A7, A8 ed A9 le differenze massime in termini di $FH_{0.1-0.5}$ sono inferiori allo 0.6%. L'analogo confronto tra 10 iterazioni e 15 iterazioni mostra, invece, una differenza massima pari allo 0.6%. La figura 7.1.2 si riferisce al predetto confronto in termini di $FH_{0.1-0.5}$.

Sulla base del confronto illustrato si è ritenuto opportuno eseguire le analisi in oggetto con un numero di iterazioni pari a 10, ritenendo tale approccio un buon compromesso tra stabilità dei risultati e tempi di elaborazione.

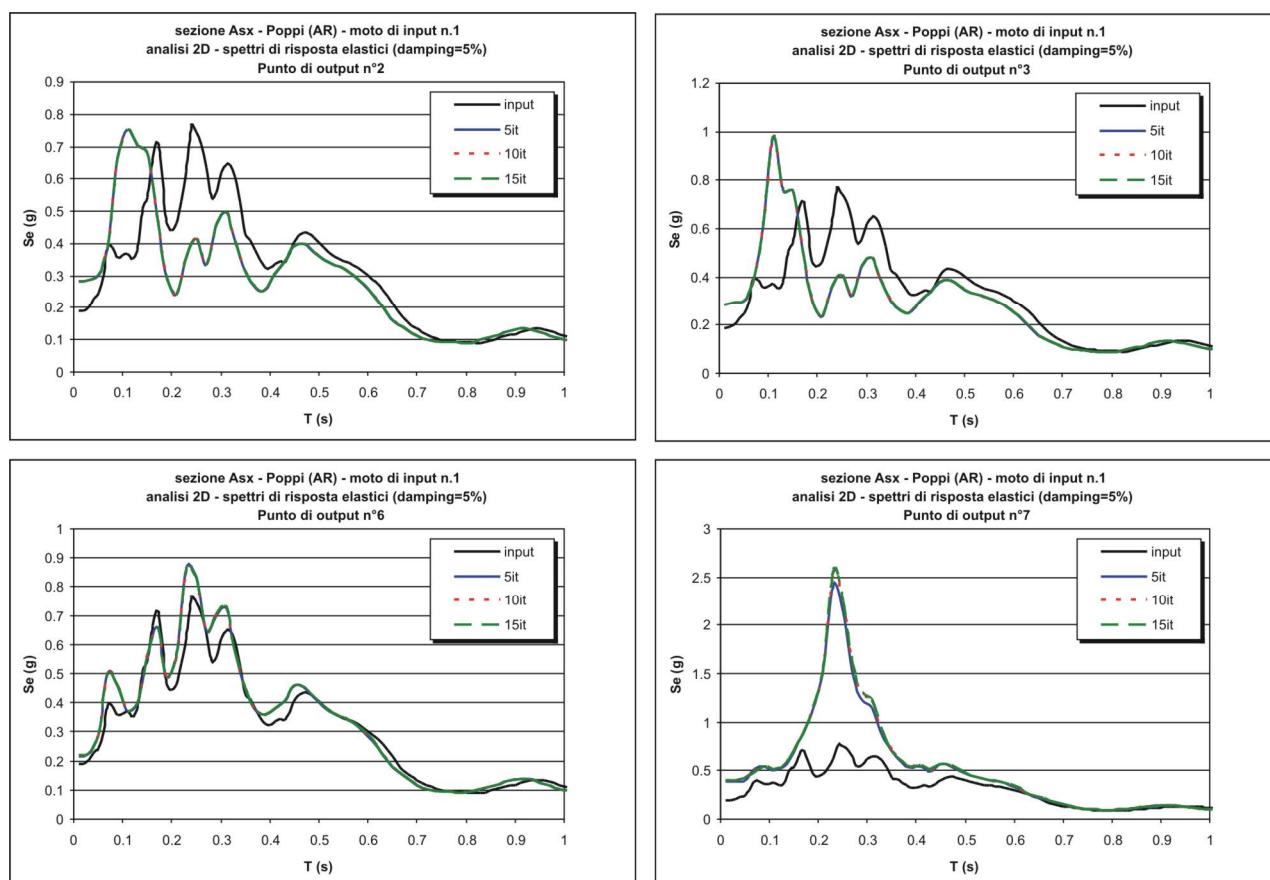


Fig.7.1.1 – Spettri di risposta relativi a 4 punti di output della sezione A-A', riferiti al test sul numero di iterazioni necessarie a garantire la stabilità del risultato

Inoltre, sono stati eseguiti dei test anche per una valutazione della distanza dai bordi in grado di garantire la stabilità della sezione in termini di spettri di risposta e relativi valori di FH preliminari,

operando un confronto tra i risultati ottenuti sulla sezione 4 e ponendo un'estensione dei bordi pari a 0m, 200m e 400m.

Il risultato in termini di $FH_{0.1-0.5}$ è visibile in figura 7.1.3. Le differenze risultano essere minime, anche confrontando il dato a 0m con l'omologo a 400m, per i quali la massima differenza è pari all'1.6%.

Invece, tra il dato con estensione 200m e quello con estensione 400m le differenze sono sempre inferiori allo 0.3%.

In parole povere, è possibile affermare che l'influenza esercitata dalla frontiera laterale, per i materiali costituenti gli strati di terreno appartenenti alla sezione in esame e per le geometrie in gioco, risulta trascurabile a partire da distanze superiori a 200 m e, pertanto, si è ritenuto sufficiente utilizzare per le analisi bidimensionali tale distanza.

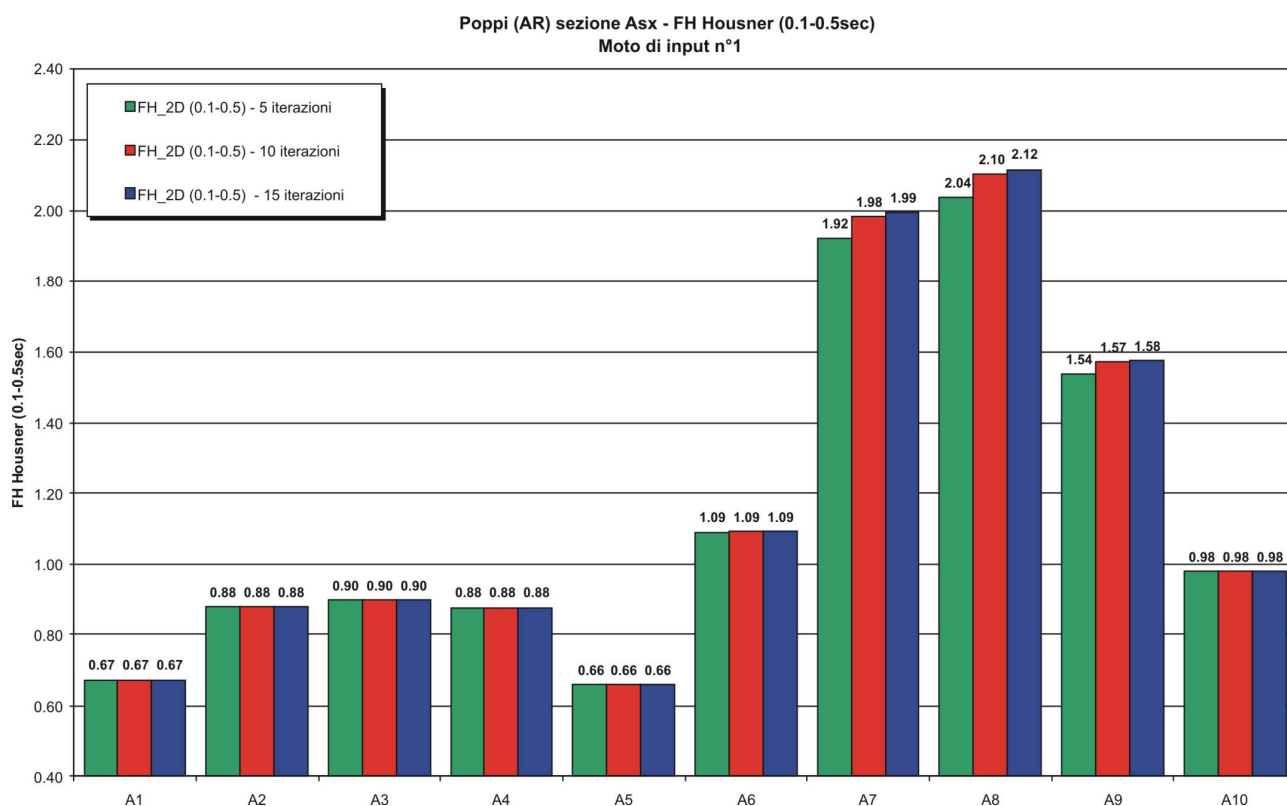


Fig.7.1.2 – Valori del fattore di amplificazione $FH_{0.1-0.5}$ al variare del numero di iterazioni per i punti di misura della sezione A-A' (i cui spettri di risposta elastici sono visibili in figura 7.1.1)

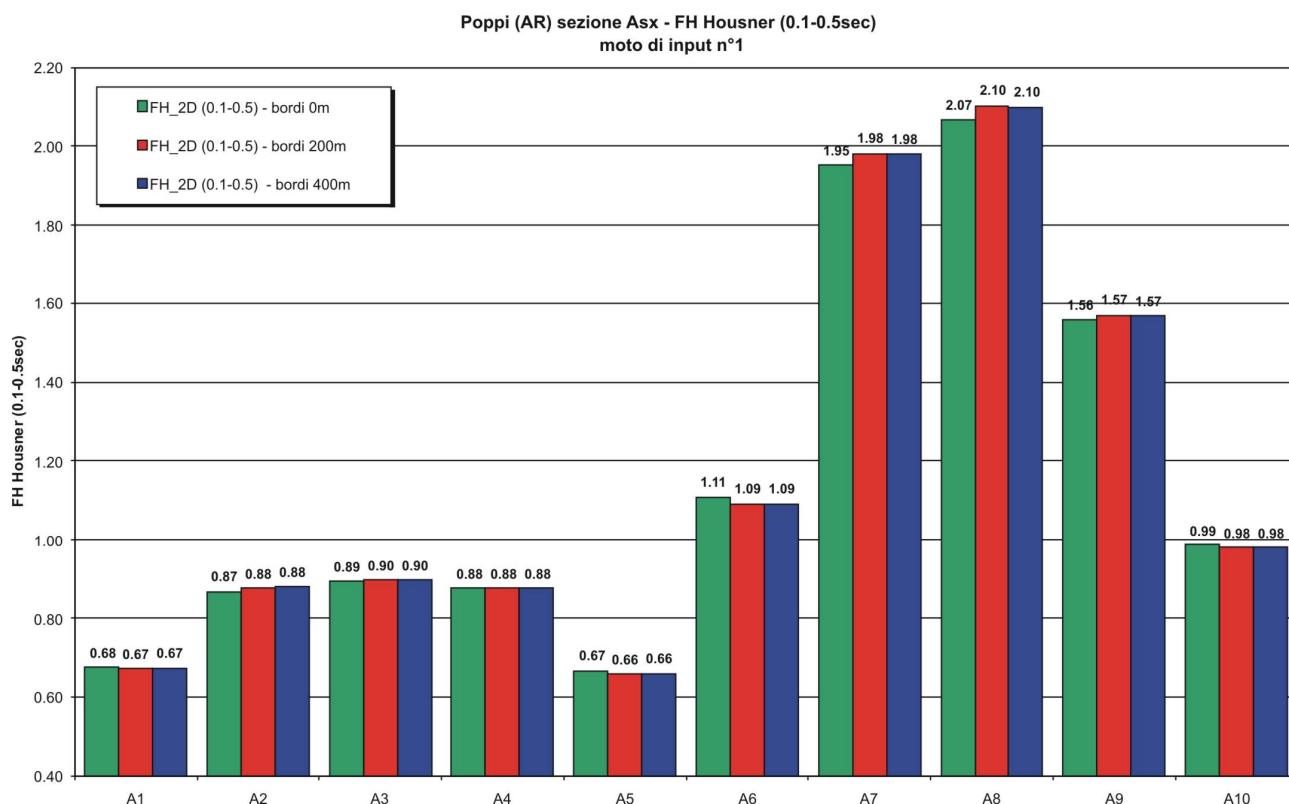


Fig.7.1.3 – Valori del fattore di amplificazione $FH_{0.5-1}$ al variare della distanza dai bordi per i punti di misura della sezione A-A'

I parametri utilizzati (coefficiente di poisson dinamico, peso di volume, modulo di taglio massimo) sono direttamente ricavati dalle prospezioni dirette ed indirette effettuate nell'area.

Invece, per quanto riguarda le curve dinamiche G/G_0 e Damping:

- Ø per i depositi ghiaiosi (detrito di versante ed alluvioni ARN1 nell'area di Porrena) e per le rocce tenere e/o alterate sono state desunte da bibliografia, a causa dell'impossibilità (dovuta alla natura litologica dei terreni) di prelevare campioni indisturbati da analizzare mediante prove di laboratorio in campo dinamico;
- Ø per i depositi alluvionali (ad eccezione della formazione ARN1 di Porrena) e di conoide sono state utilizzate le curve derivanti dall'esecuzione di una prova di colonna risonante sul campione n°1 del sondaggio S10;
- Ø per i depositi fluvio-lacustri (CAS2) di natura limosa sono state estrapolate curve medie (secondo il metodo di Yokota et al., 1981), relative a tutti i campioni prelevati nell'area di Poppi ed analizzati mediante prove dinamiche di laboratorio;
- Ø per le argilliti di Sillano - S. Fiora (SIL), infine, sono state utilizzate le curve derivanti dall'esecuzione di una prova di colonna risonante sul campione n°2 del sondaggio S10 di Barberino di Mugello (FI), dove la formazione in oggetto mostra analogie con quella affiorante nell'area di Poppi sotto un punto di vista delle proprietà fisico-meccaniche in campo statico e dinamico.

In particolare, nelle figure 7.1.4 e 7.1.5 sono riportate rispettivamente le curve relative al decadimento del modulo di taglio normalizzato G/G_0 ed all'incremento percentuale del rapporto di smorzamento D , utilizzate per le coperture sismiche e per le formazioni rocciose che, in virtù delle proprietà fisico-meccaniche in campo dinamico, sono considerate bedrock sismico "deformabile".

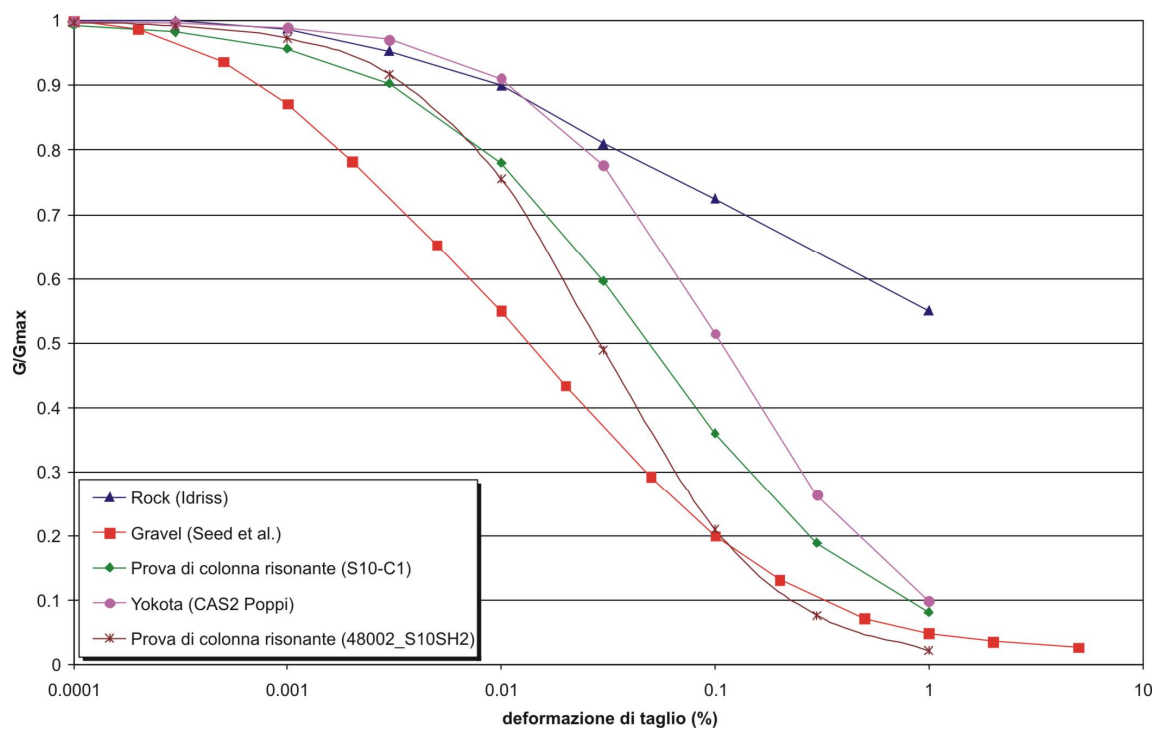


Fig.7.1.4 – Curve di degradazione del modulo di taglio “G” utilizzate nelle analisi illustrate nel presente capitolo

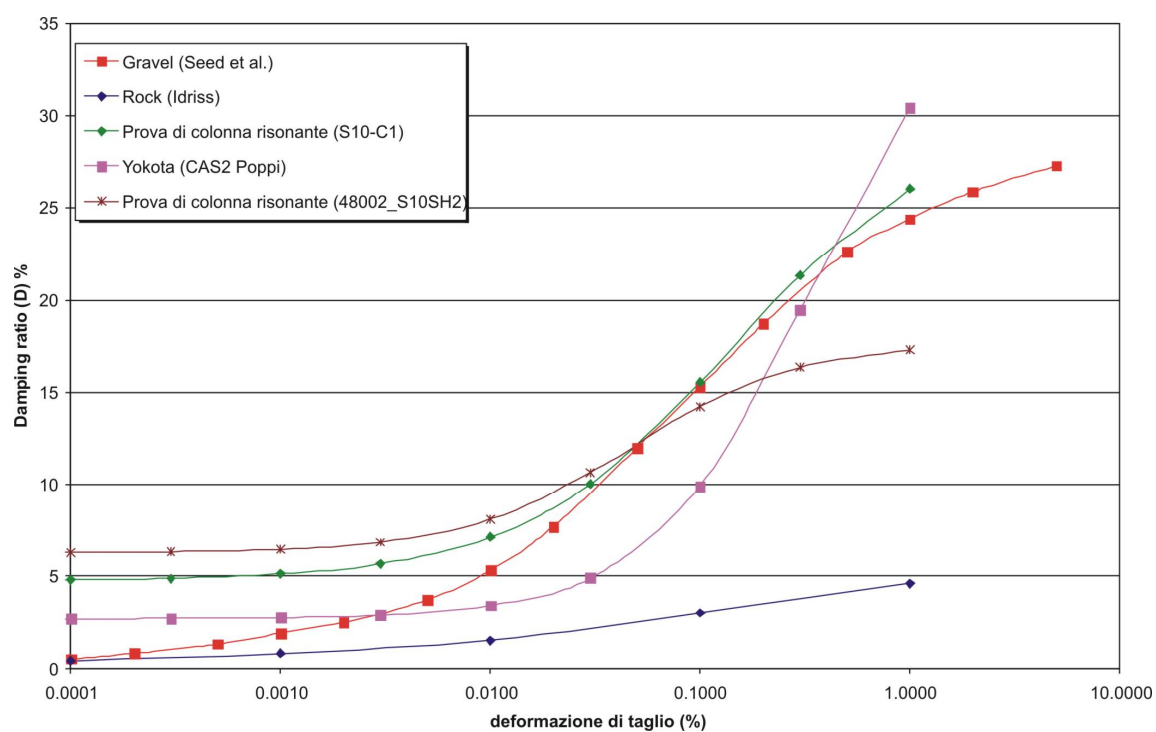


Fig.7.1.5 – Curve di smorzamento “D” utilizzate nelle analisi illustrate nel presente capitolo

Inoltre, la tabella 7.1.1 illustra i parametri utilizzati per le analisi in oggetto. Si tenga presente che, laddove presenti, le differenziazioni nell'ambito della medesima formazione sono legate ai differenti punti di caratterizzazione dinamica della stessa (prove down-hole in onde P ed SH e subordinatamente indagini di sismica a rifrazione). Per l'attribuzione dei parametri si è fatto riferimento al criterio della vicinanza, ovvero laddove esistevano differenti parametrizzazioni per una stessa formazione geologica si sono utilizzati i parametri relativi al punto d'indagine più vicino (e pertinente) alla sezione geologico-tecnica in esame.

Tab.7.1.1 – Dati sismostratigrafici utilizzati per le analisi di risposta sismica locale nel comune di Poppi

| Tipologia terreno | Vp (m/s) | Vs (m/s) | Vp/Vs | Rapporto Poisson dinamico | Peso di volume (kN/m3) | ambito di applicazione |
|---------------------------------------|----------|----------|-------|---------------------------|------------------------|--------------------------|
| Detrito di versante (dt) | 1700 | 450 | 3.778 | 0.46 | 20.00 | Sezione Asx |
| Depositi alluvionali (ARN1)_1 | 1600 | 400 | 4.000 | 0.47 | 21.42 | Sezioni Acx, B, Csx |
| Pietraforte_1 (PTF) | 2700 | 1000 | 2.700 | 0.42 | 23.00 | Sezioni Asx, Acx, B |
| Depositi alluvionali (ARN3) | 1600 | 400 | 4.000 | 0.47 | 20.40 | Sezioni Adx, B, Cdx |
| Depositi fluvio-lacustri (CAS2) | 1700 | 300 | 5.667 | 0.48 | 20.00 | Sezioni Adx, B, Cdx, Ddx |
| Pietraforte_2 (PTF) | 2025 | 850 | 2.382 | 0.39 | 22.00 | Sezione Adx |
| Depositi di conoide alluvionale (m) | 800 | 400 | 2.000 | 0.33 | 20.00 | Sezioni B, Cdx |
| Argilliti di Sillano-S. Fiora (SIL)_1 | 2285 | 600 | 3.808 | 0.46 | 22.00 | Sezioni B, Csx, Cdx |
| Depositi alluvionali (ARN1)_2 | 1495 | 305 | 4.902 | 0.48 | 20.38 | Sezione Dsx |
| Argilliti di Sillano-S. Fiora (SIL)_3 | 2380 | 590 | 4.034 | 0.47 | 22.00 | Sezioni Dsx, Ddx |

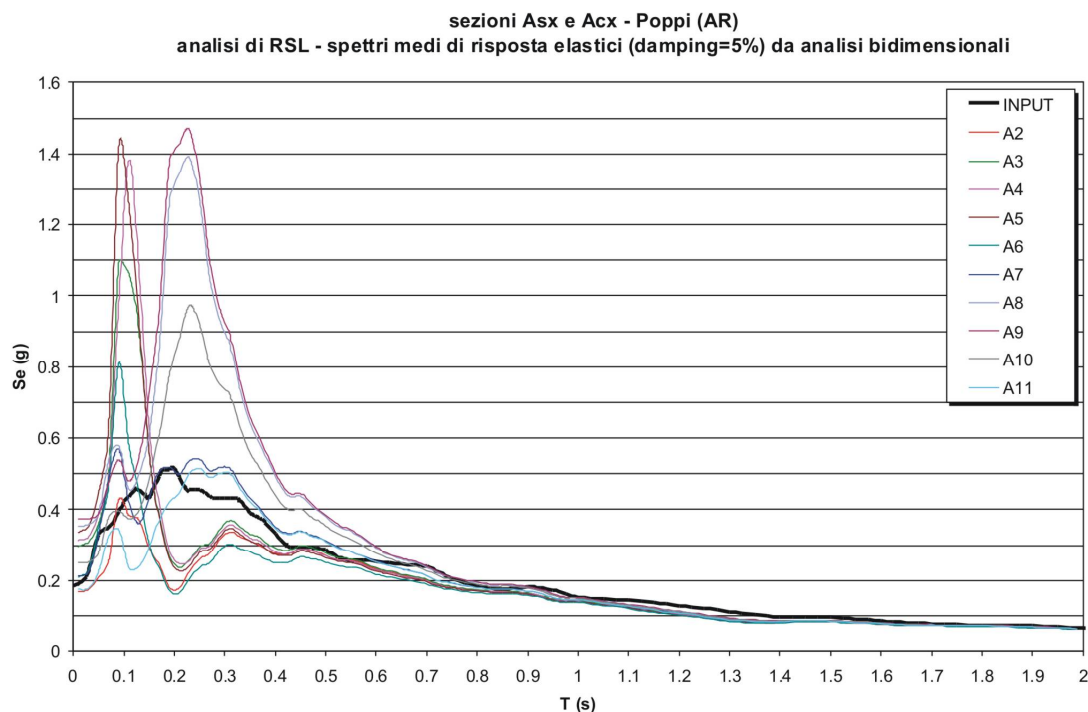


Fig.7.1.6 – Spettri di risposta elastici di output relativi ai punti di misura della sezione A-A' (settore sinistro e centrale) a confronto con lo spettro medio di input

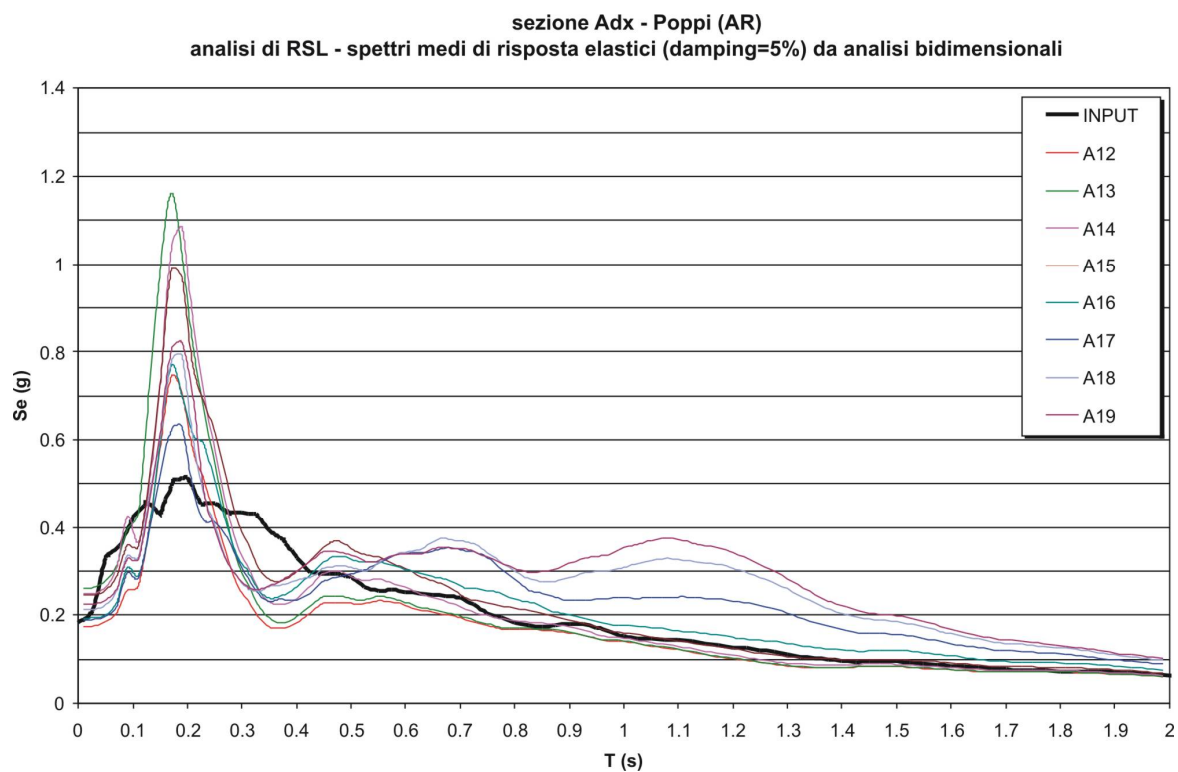


Fig.7.1.7 – Spettri di risposta elastici di output relativi ai punti di misura della sezione A-A' (settore destro) a confronto con lo spettro medio di input

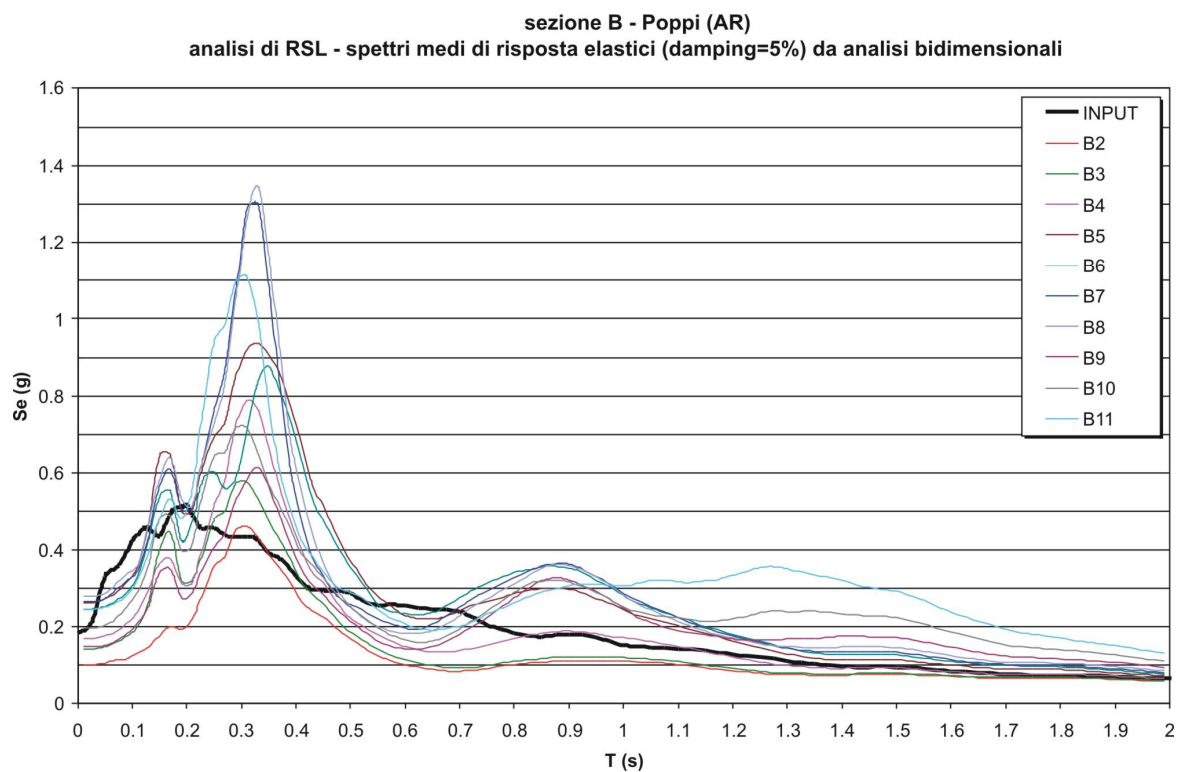


Fig.7.1.8 – Spettri di risposta elastici di output relativi ai punti di misura della sezione B-B' a confronto con lo spettro medio di input

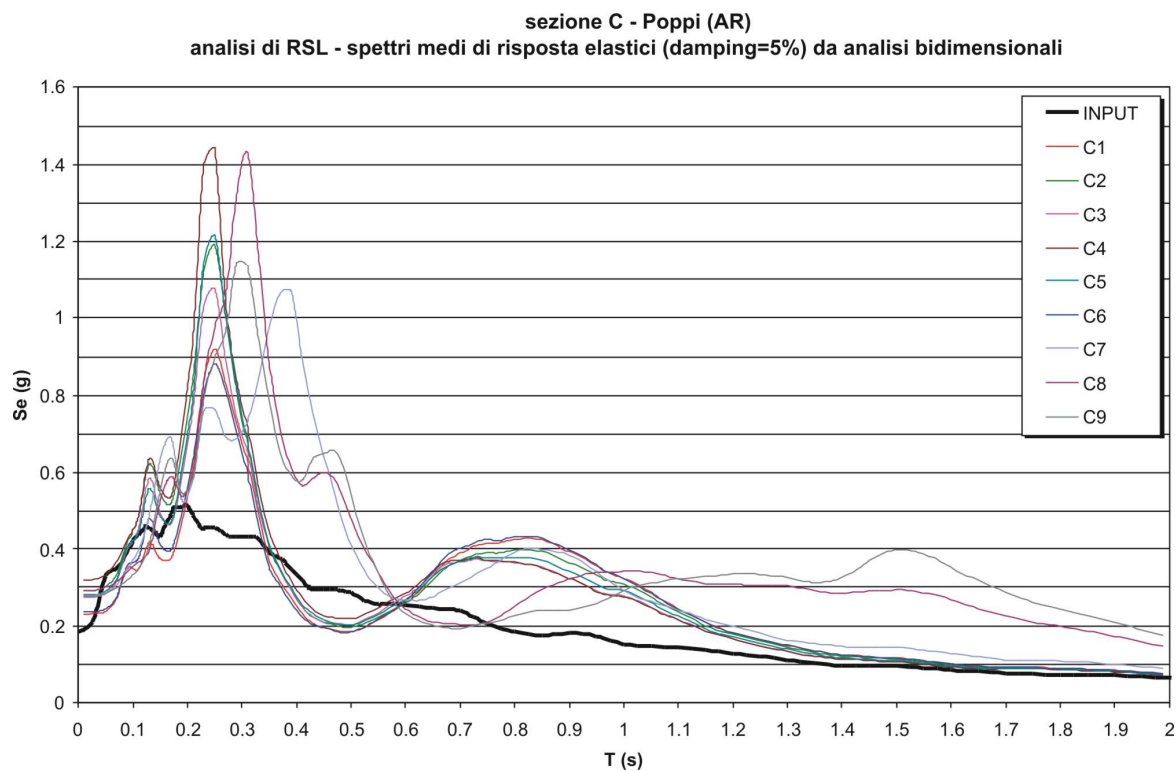


Fig.7.1.9 – Spettri di risposta elastici di output relativi ai punti di misura della sezione C-C' a confronto con lo spettro medio di input

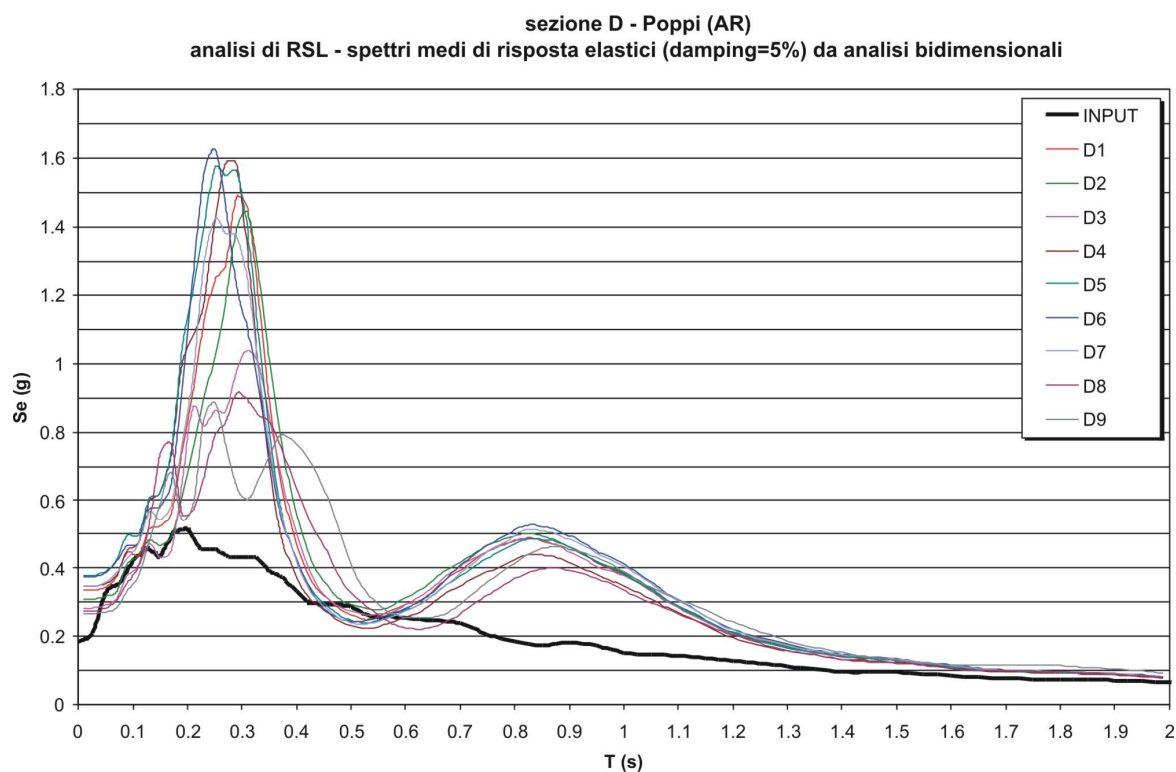


Fig.7.1.10 – Spettri di risposta elastici di output relativi ai punti di misura della sezione D-D' a confronto con lo spettro medio di input

Nell'area di Poppi sono state realizzate analisi bidimensionali su 4 sezioni geologico-tecniche.

Nelle figure dalla 7.1.6 alla 7.1.10 sono illustrati gli spettri di risposta relativi ai 46 punti di output delle analisi bidimensionali a confronto con lo spettro di input, descritto al precedente Cap.2.

I risultati, in termini di FH (nei due intervalli di integrazione precedentemente descritti) sono illustrati nelle figure dalla 7.1.11 alla 7.1.14, dove i valori dei fattori di amplificazione sono rappresentati in corrispondenza delle sezioni geologico-tecniche, utilizzate come input per la costruzione del modello di sottosuolo sottoposto ad analisi.

Si tenga presente che le sezioni geologico-tecniche rappresentate in figura non corrispondono all'input geologico-tecnico sottoposto ad analisi 2D, in quanto:

- Ø sono state introdotte le distanze dai bordi, come precedentemente illustrato;
- Ø le sezioni (ad eccezione della B-B') sono state analizzate per settori separati (tre per la sezione A-A' e due per le sezioni C-C' e D-D') al fine di evitare eccessive distorsioni dovute alle marcate differenze (sia in termini di geometrie sepolte, sia per quanto concerne l'assetto sismostratigrafico dei terreni in oggetto) tra i vari settori;
- Ø sono state adoperate alcune semplificazioni sulle caratteristiche topografiche e subordinatamente sulle geometrie sepolte, utili per garantire l'affidabilità del dato di output.

Nell'area d'indagine (corrispondente nelle sezioni analizzate alla sezione C-C', D-D' ed alla porzione destra della sezione B-B') il bedrock geologico, costituito dalle argilliti alloctone del Sillano – Santa Fiora (SIL), non può essere considerato bedrock sismico, poiché caratterizzato da bassi valori in termini di Vs e quindi di modulo di taglio.

Fig.7.1.11 – Risultati in termini di FH (da analisi bidimensionale) per la sezione A-A'

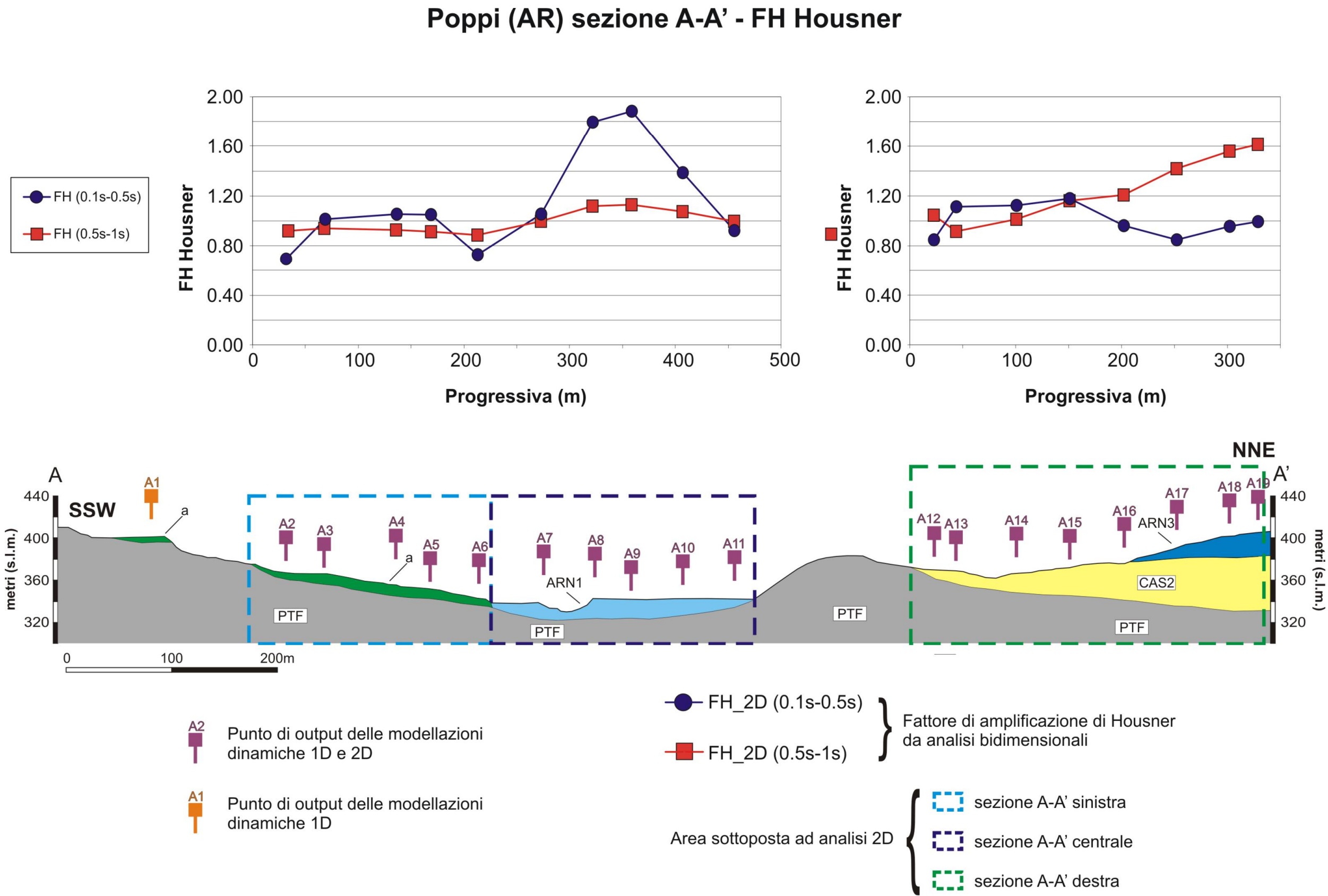


Fig.7.1.12 – Risultati in termini di FH (da analisi bidimensionale) per la sezione B-B'

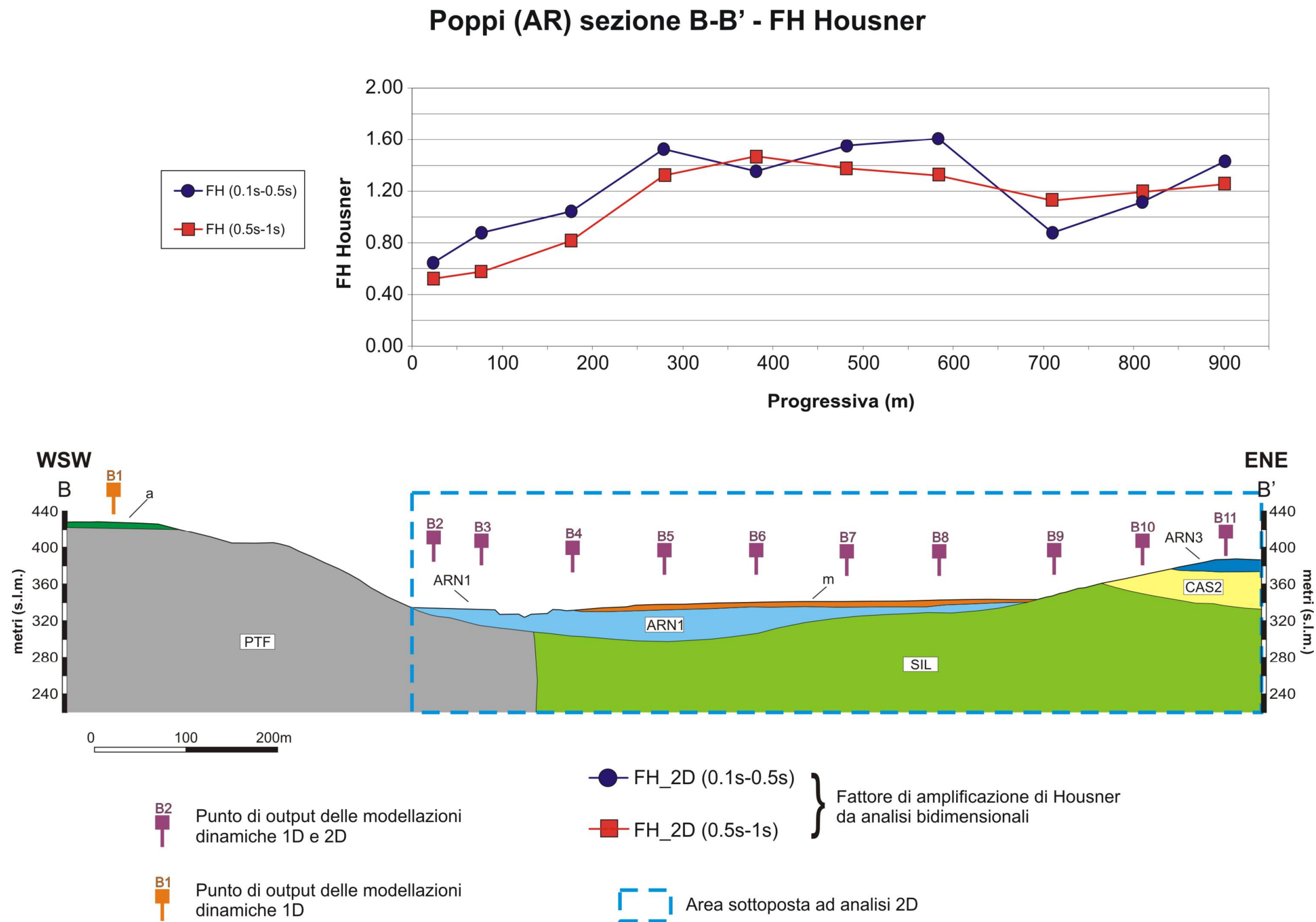
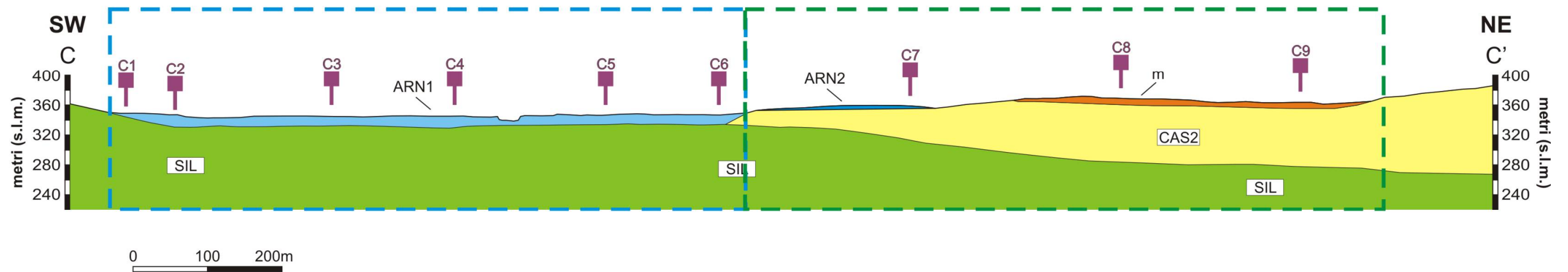
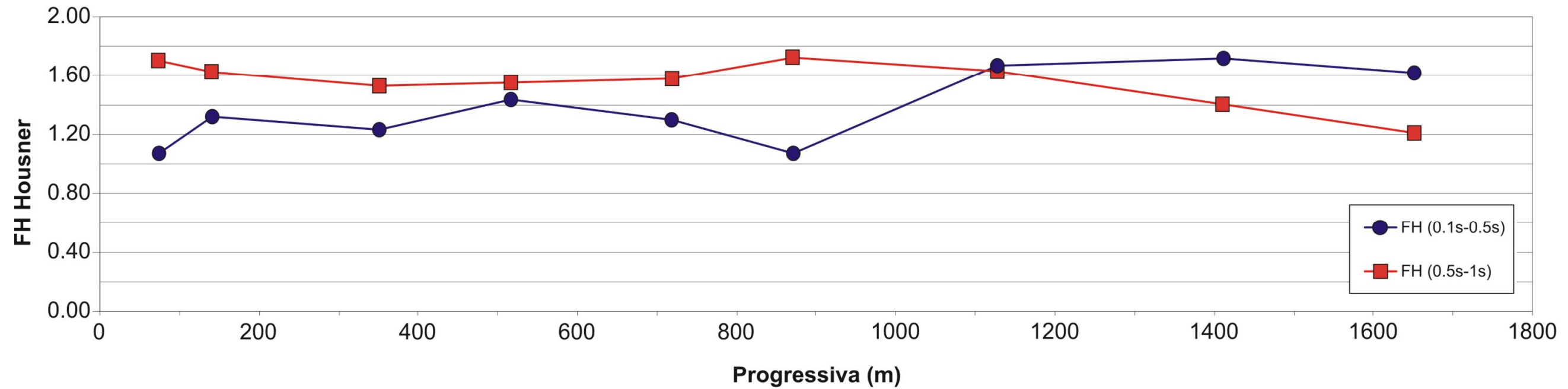


Fig.7.1.13 – Risultati in termini di FH (da analisi bidimensionale) per la sezione C-C'

Poppi (AR) sezione C-C' - FH Housner



C1 Punto di output delle modellazioni
dinamiche 1D e 2D

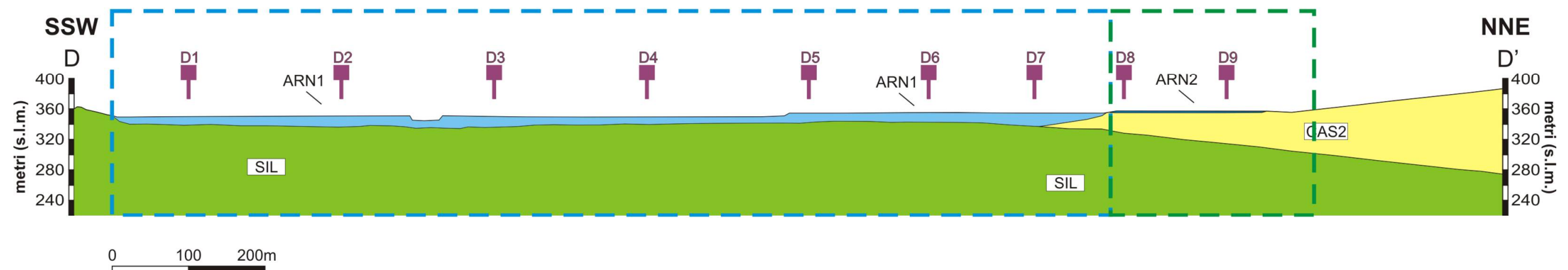
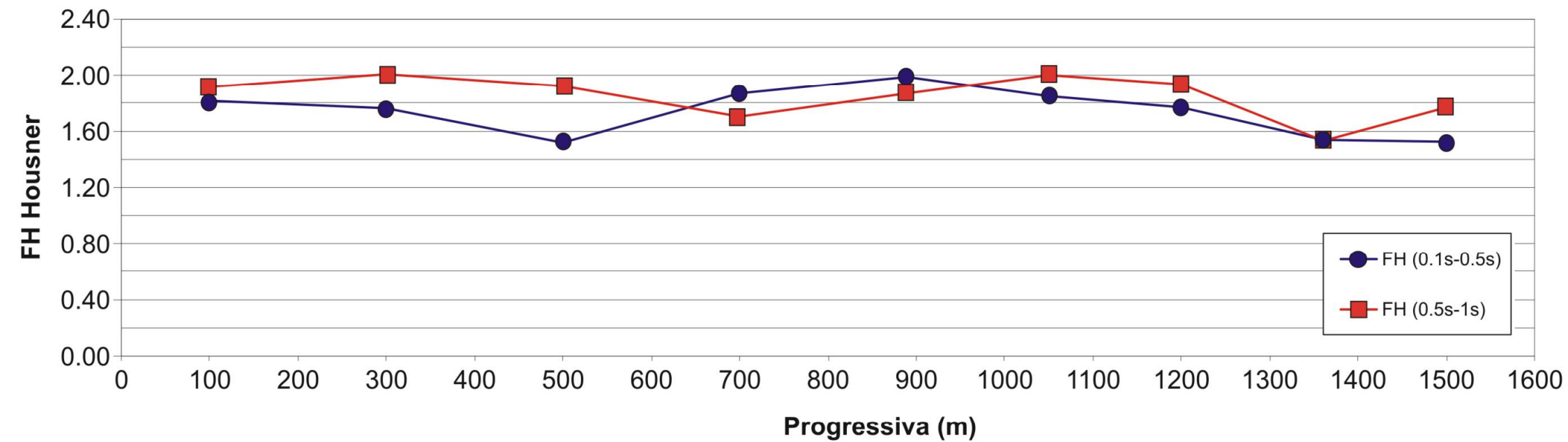
Area sottoposta ad analisi 2D {
□ sezione C-C' sinistra
□ sezione C-C' destra

● FH_2D (0.1s-0.5s)
■ FH_2D (0.5s-1s)

} Fattore di amplificazione di Housner
da analisi bidimensionali

Fig.7.1.14 – Risultati in termini di FH (da analisi bidimensionale) per la sezione D-D'

Poppi (AR) sezione D-D' - FH Housner



D1 Punto di output delle modellazioni dinamiche 1D e 2D

Area sottoposta ad analisi 2D {
 [] sezione D-D' sinistra
 [] sezione D-D' destra

FH_2D (0.1s-0.5s)
FH_2D (0.5s-1s) } Fattore di amplificazione di Housner da analisi bidimensionali

La campagna di misure di rumore a stazione singola, illustrata nei capitoli precedenti, mostra in estese porzioni, valori del picco principale, con valori di poco superiori ad 1Hz, correlabili con un'interfaccia risonante posta a circa 80-90m dal piano campagna.

Considerando che la formazione del Sillano – Santa Fiora ha nell'area spessori anche di centinaia di metri, si ritiene che tale interfaccia risonante sia correlabile con un incremento delle proprietà dinamiche intraformazionale.

A tale profondità stimata è stato posto nelle analisi il bedrock sismico.

Dall'osservazione dei risultati è possibile affermare che l'amplificazione nell'area del fondovalle risulta essere elevata sia nei contesti in cui il substrato sismico è costituito dalla formazione della Pietraforte (PTF) sia quando il bedrock è costituito dalle argilliti.

Nel primo caso le amplificazioni sono maggiori nell'intervallo a bassi periodi (0.1-0.5s), nel secondo caso le maggiori amplificazioni sono mediamente ravvisabili nell'intervallo superiore di periodi (0.5-1.0s).

Inoltre, tutti i valori dei Fattori di amplificazione bidimensionale sono stati confrontati con gli omologhi valori dedotti da analisi monodimensionali.

Il confronto è visibile nelle figure 7.1.15 e 7.1.19 e riassunto nella tabella 7.1.2.

Come è possibile notare dal confronto, non sempre nell'area di Poppi i risultati delle analisi 2D sono più elevati dei corrispondenti FH monodimensionali, pur tenendo conto non solo dell'aspetto stratigrafico, ma anche del contesto geometrico sepolto.

Ciò è riscontrabile nell'area probabilmente per i seguenti motivi:

- Ø nell'area relativa alla sezione A-A' (porzione sinistra) in cui si hanno detriti di versante poggianti sulla formazione della Pietraforte, monodimensionalmente i fattori acquistano valori non trascurabili nell'intervallo 0.1-0.5s con spessori delle coperture superiori a 5m. I valori bidimensionali dei fattori sono molto più bassi. Ciò è spiegabile non con assenza di picchi, ma col fatto che questi sono più elevati ma molto più stretti degli omologhi 1D, con conseguente valore del fattore FH (che è un integrale) molto più basso. Un esempio su due punti di output è illustrato in figura 7.1.20. I punti di misura A1 e B1 sono stati oggetto della sola analisi 1D, dimostrando bassi valori di FH, dovuti agli scarsi spessori (<5m) ;
- Ø ai bordi della valle alluvionale in corrispondenza di verticali corrispondenti ad aree di relativa deamplificazione, dovuta alla laterale compresenza di zone di focalizzazione. E' questo il caso, ad esempio, dei punti di misura A7, A10 ed A11. In corrispondenza dei punti di output B2 e B3 assistiamo a differenze molto elevate tra 1D e 2D. Sono zone in cui le alluvioni sono a diretto contatto col substrato rigido e conseguente valore elevato del valore di FH 1D laddove gli spessori delle coperture sono non trascurabili (punto B3). Bidimensionalmente si assiste ad una forte deamplificazione (fig. 7.1.21a), legata alla scarsa entità della velocità di spostamento prodotto dal sisma (freccette rosse in fig. 7.1.21b);
- Ø nelle aree di affioramento dei depositi fluvio-lacustri poggianti sulla Pietraforte, dove in bidimensionale i picchi di amplificazione sono tendenzialmente più stretti dei picchi monodimensionali, così come rilevato nel primo caso. Inoltre, dove tali depositi sono sormontati dalle alluvioni terrazzate (ARN3) ad alti periodi si assiste ad un'analoga amplificazione 1D e 2D, ma essa produce differenti valori di FH, poiché il picco 2D avviene a periodi maggiori di 1sec e, quindi, non è influente ai fini del valore di FH;
- Ø nelle aree di affioramento dei depositi alluvionali terrazzati (ARN2) gli spettri 1D producono tendenzialmente picchi meno elevati degli omologhi 1D, ma con estensione costante su ampi periodi, con conseguente FH molto elevato ai periodi più alti (punti C7 e D9).

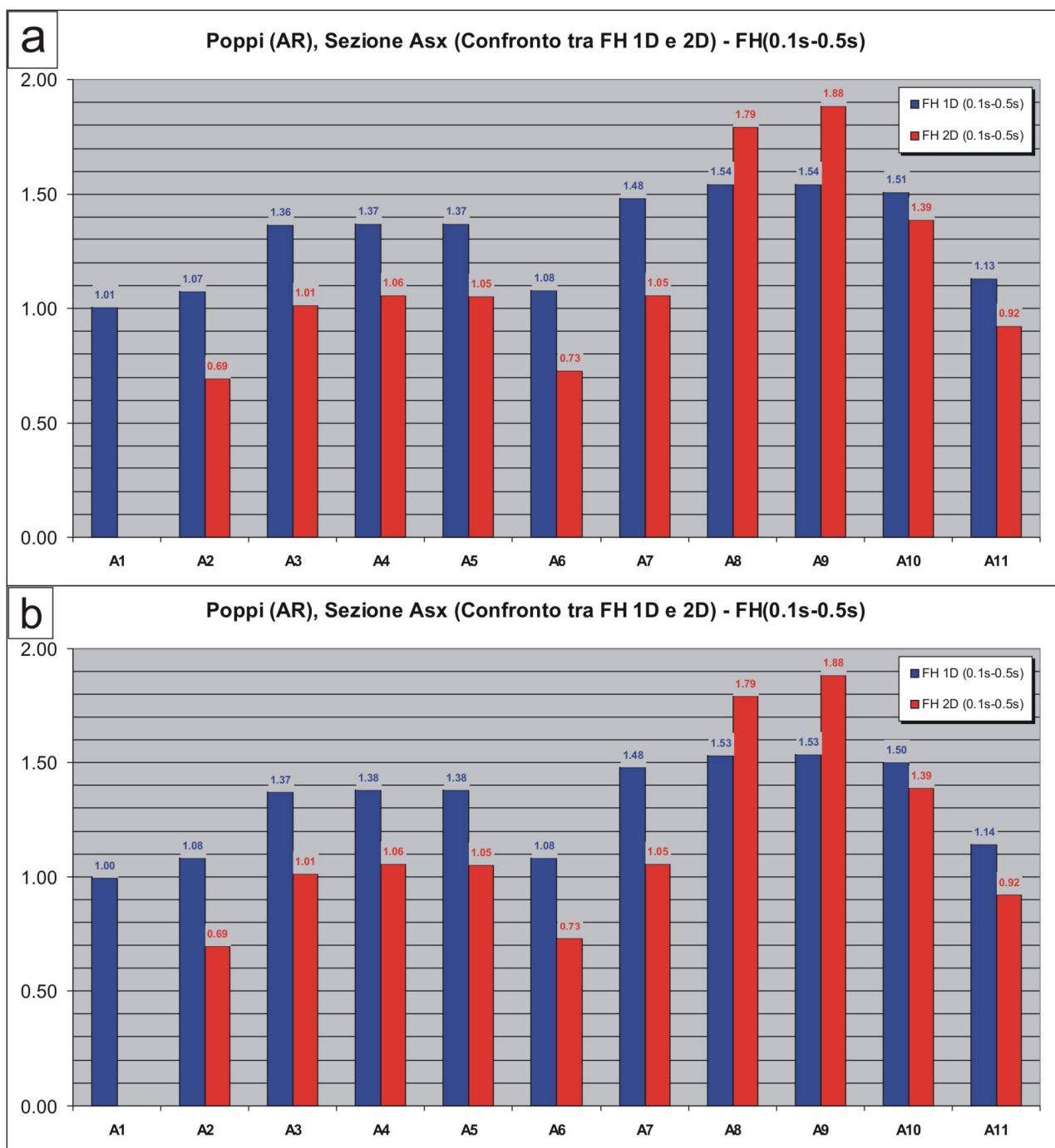


Fig.7.1.15 – Confronto tra FH 1D e 2D per alcuni punti di misura ubicati in corrispondenza della sezione A-A' (settori sinistro e centrale)

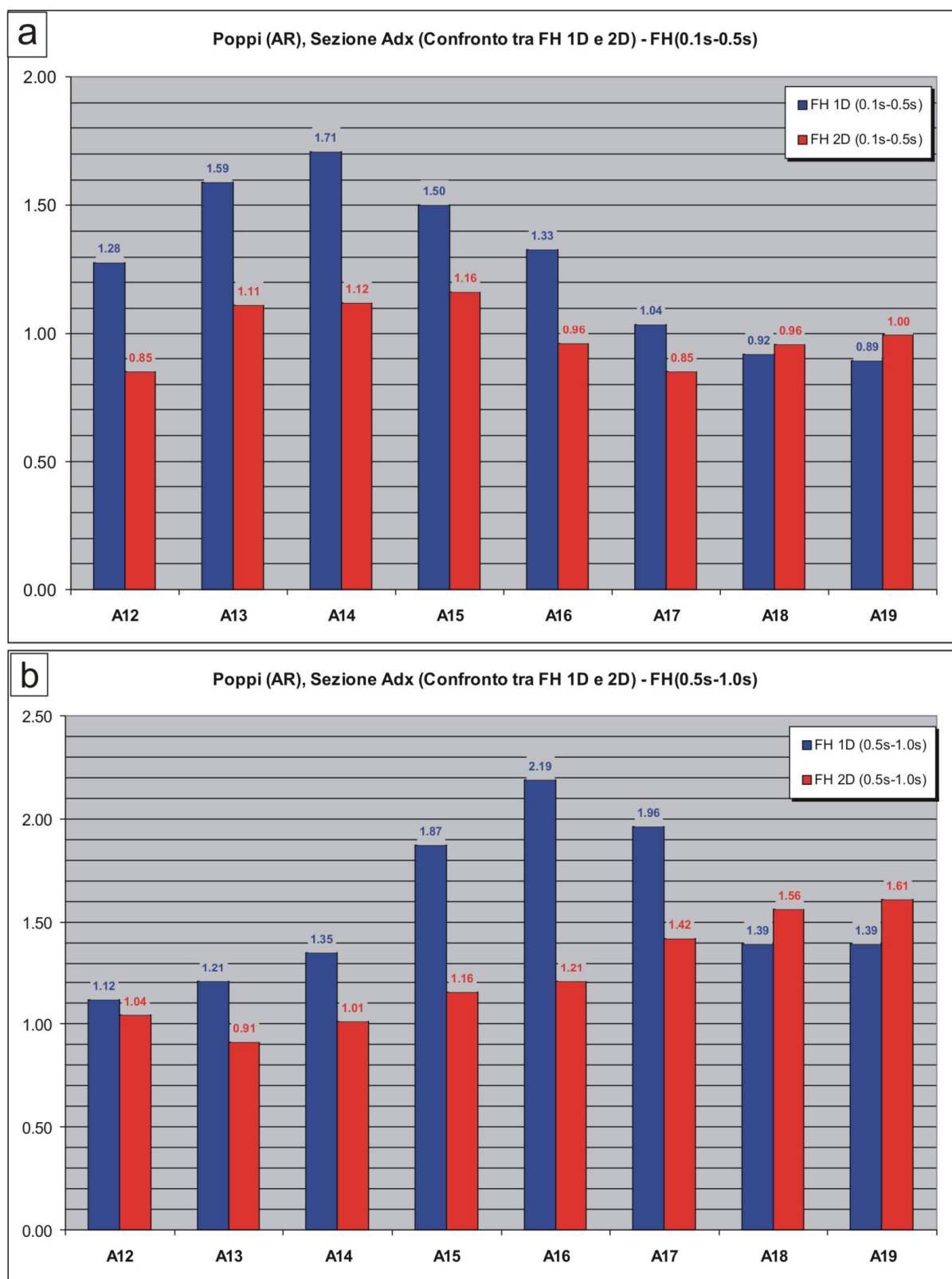


Fig.7.1.16 – Confronto tra FH 1D e 2D per alcuni punti di misura ubicati in corrispondenza della sezione A-A' (settore destro)

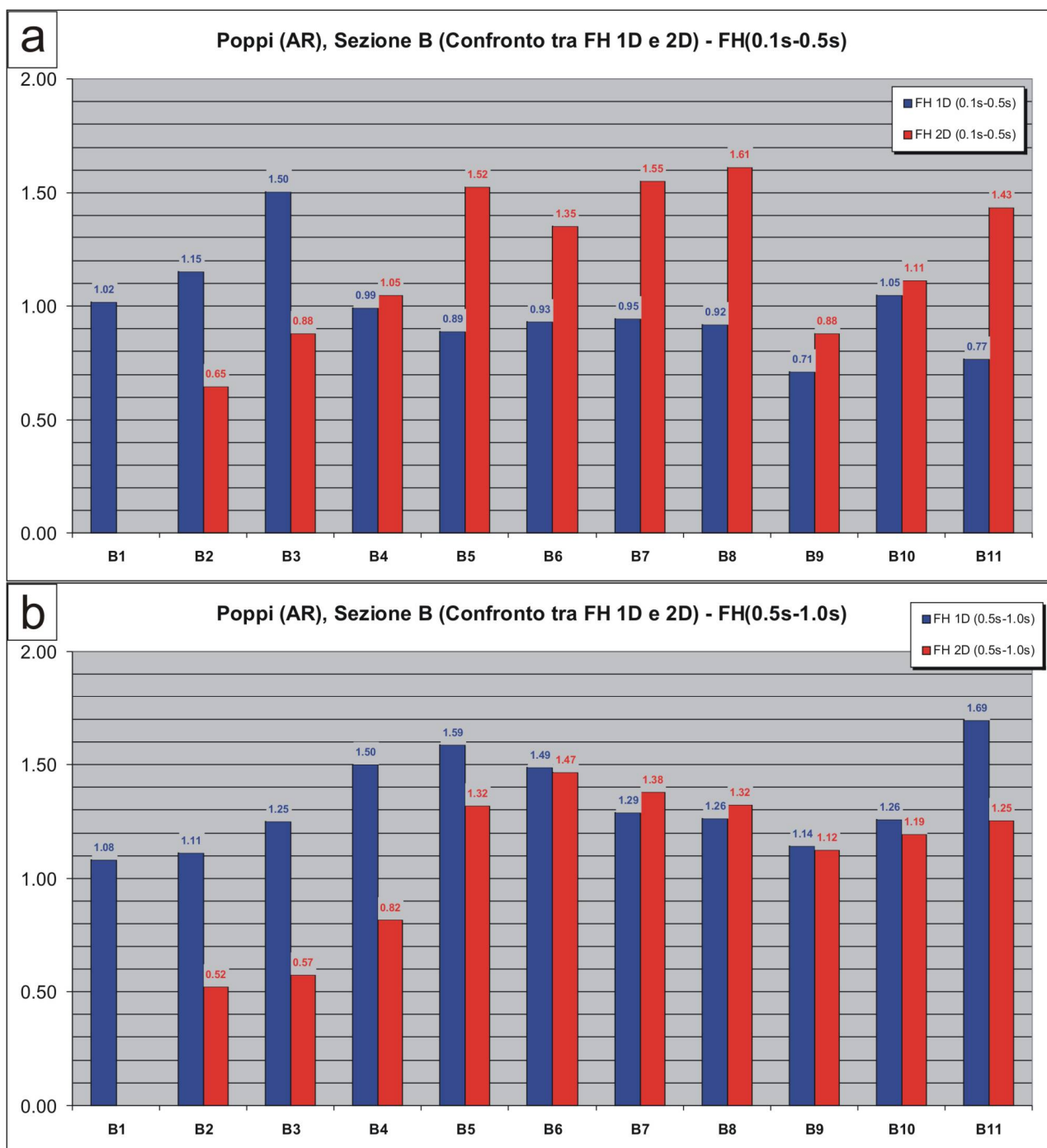


Fig.7.1.17 – Confronto tra FH 1D e 2D per alcuni punti di misura ubicati in corrispondenza della sezione B-B'

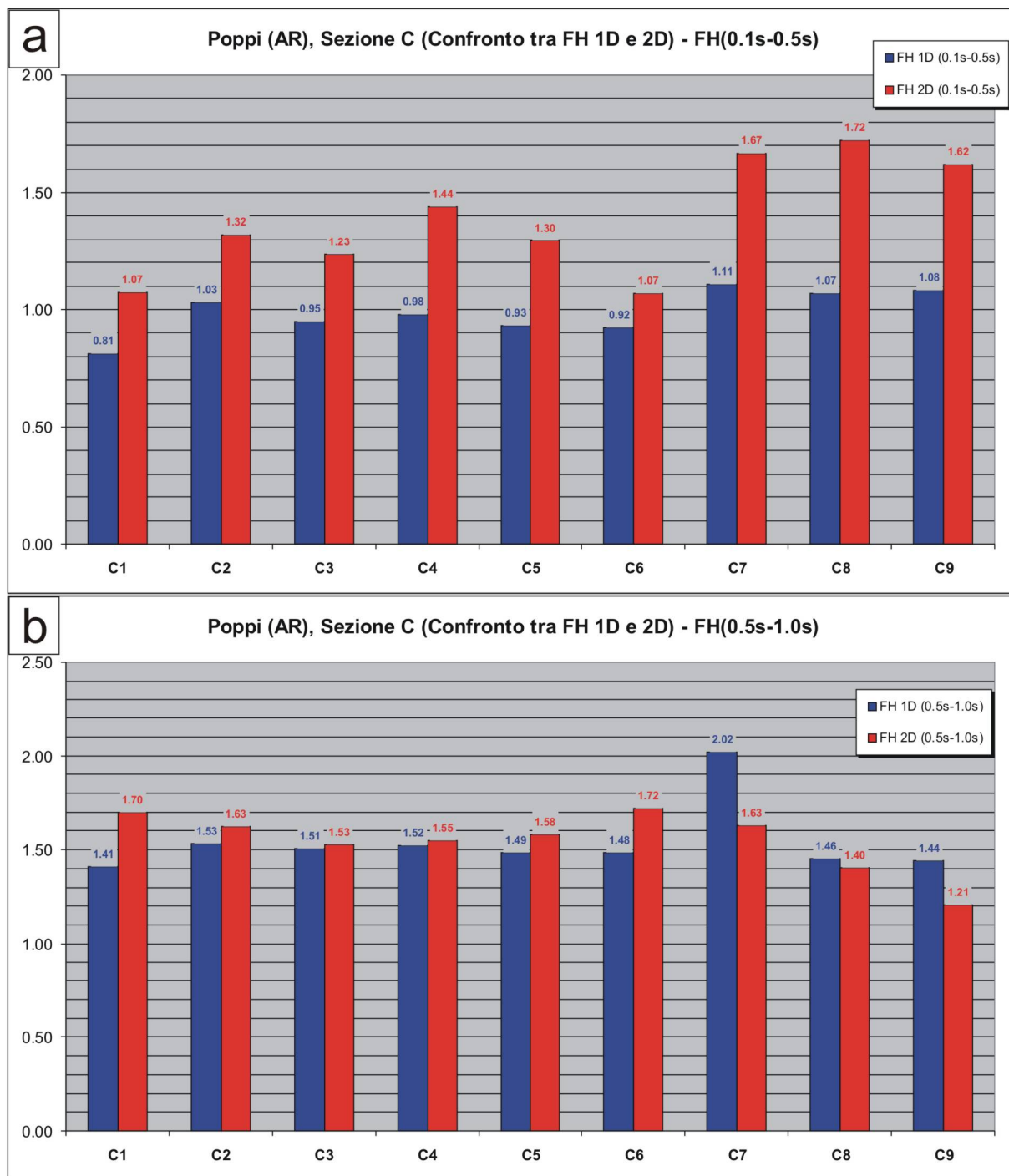


Fig.7.1.18 – Confronto tra FH 1D e 2D per alcuni punti di misura ubicati in corrispondenza della sezione C-C'

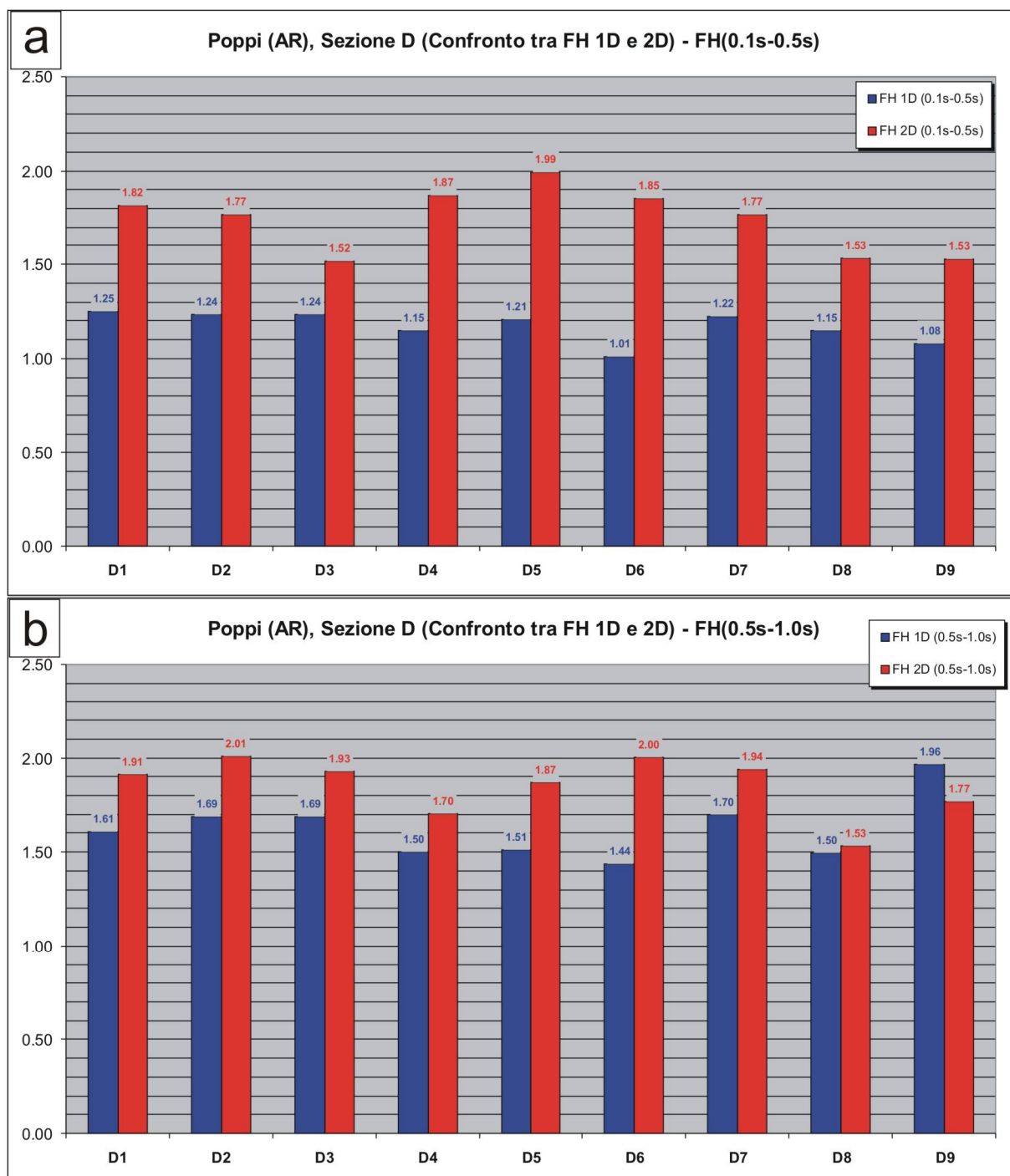


Fig.7.1.19 – Confronto tra FH 1D e 2D per alcuni punti di misura ubicati in corrispondenza della sezione D-D'

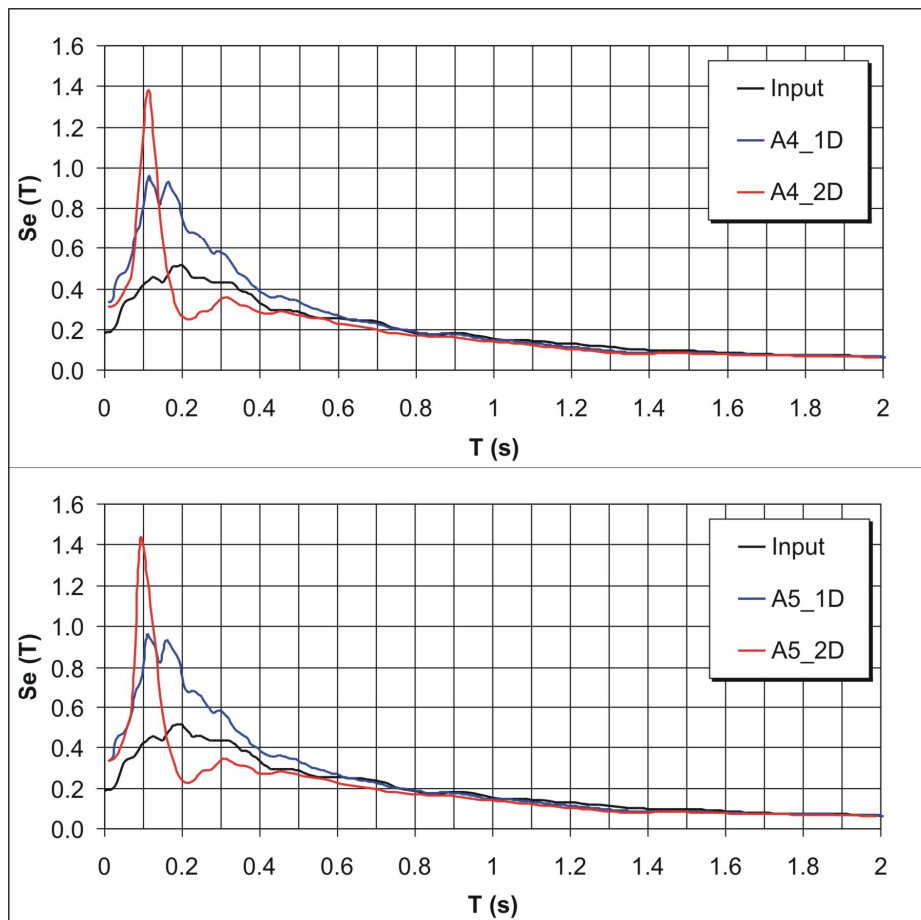


Fig.7.1.20– – (Descrizione fornita in relazione)

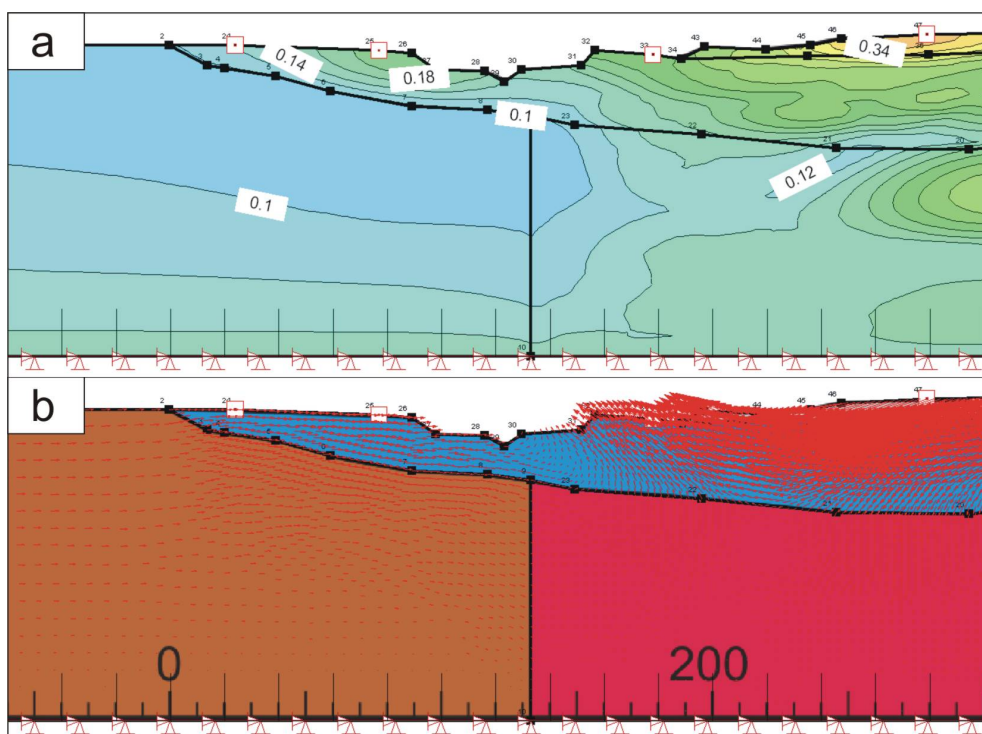


Fig.7.1.21– – (Descrizione fornita in relazione)

Tab.7.1.2 – Fattori di amplificazione di Housner (FH) rilevati dalle analisi di risposta sismica bidimensionale e monodimensionale nel centro abitato di Poppi. In grassetto il valore più elevato

| Punto di output | FH (0.1s-0.5s) | | FH (0.5s-1.0s) | |
|-----------------|----------------|-------------|----------------|-------------|
| codice | 2D | 1D | 2D | 1D |
| A1 | - | 1.00 | - | 1.07 |
| A2 | 0.69 | 1.08 | 0.93 | 1.10 |
| A3 | 1.01 | 1.37 | 0.94 | 1.14 |
| A4 | 1.06 | 1.38 | 0.92 | 1.14 |
| A5 | 1.05 | 1.38 | 0.91 | 1.13 |
| A6 | 0.73 | 1.08 | 0.88 | 1.09 |
| A7 | 1.05 | 1.48 | 0.99 | 1.18 |
| A8 | 1.79 | 1.53 | 1.12 | 1.28 |
| A9 | 1.88 | 1.53 | 1.13 | 1.27 |
| A10 | 1.39 | 1.50 | 1.07 | 1.20 |
| A11 | 0.92 | 1.14 | 0.99 | 1.10 |
| A12 | 0.85 | 1.28 | 1.04 | 1.12 |
| A13 | 1.11 | 1.59 | 0.91 | 1.21 |
| A14 | 1.12 | 1.71 | 1.01 | 1.35 |
| A15 | 1.16 | 1.50 | 1.16 | 1.87 |
| A16 | 0.96 | 1.33 | 1.21 | 2.19 |
| A17 | 0.85 | 1.04 | 1.42 | 1.96 |
| A18 | 0.96 | 0.92 | 1.56 | 1.39 |
| A19 | 1.00 | 0.89 | 1.61 | 1.39 |
| B1 | - | 1.02 | - | 1.08 |
| B2 | 0.65 | 1.17 | 0.52 | 1.11 |
| B3 | 0.88 | 1.49 | 0.57 | 1.26 |
| B4 | 1.05 | 0.97 | 0.82 | 1.49 |
| B5 | 1.52 | 0.87 | 1.32 | 1.58 |
| B6 | 1.35 | 0.91 | 1.47 | 1.48 |
| B7 | 1.55 | 0.93 | 1.38 | 1.28 |
| B8 | 1.61 | 0.90 | 1.32 | 1.25 |
| B9 | 0.88 | 0.70 | 1.12 | 1.13 |
| B10 | 1.11 | 1.03 | 1.19 | 1.26 |
| B11 | 1.43 | 0.75 | 1.25 | 1.68 |
| C1 | 1.07 | 0.80 | 1.70 | 1.39 |
| C2 | 1.32 | 1.02 | 1.63 | 1.52 |
| C3 | 1.23 | 0.94 | 1.53 | 1.49 |
| C4 | 1.44 | 0.97 | 1.55 | 1.51 |
| C5 | 1.30 | 0.92 | 1.58 | 1.47 |
| C6 | 1.07 | 0.91 | 1.72 | 1.47 |
| C7 | 1.67 | 1.08 | 1.63 | 2.01 |
| C8 | 1.72 | 1.05 | 1.40 | 1.45 |
| C9 | 1.62 | 1.06 | 1.21 | 1.44 |
| D1 | 1.82 | 1.23 | 1.91 | 1.60 |
| D2 | 1.77 | 1.22 | 2.01 | 1.68 |
| D3 | 1.52 | 1.22 | 1.93 | 1.68 |
| D4 | 1.87 | 1.13 | 1.70 | 1.49 |
| D5 | 1.99 | 1.19 | 1.87 | 1.50 |
| D6 | 1.85 | 1.00 | 2.00 | 1.42 |
| D7 | 1.77 | 1.20 | 1.94 | 1.69 |
| D8 | 1.53 | 1.14 | 1.53 | 1.48 |
| D9 | 1.53 | 1.06 | 1.77 | 1.95 |

Pertanto, a fini cautelativi, nella scelta del valore di FH più idoneo per la stesura della carta di microzonazione sismica e conseguente individuazione delle classi di pericolosità sismica, si ritiene opportuno utilizzare il valore di FH più elevato tra analisi mono e bidimensionale.

Infine, disponendo delle verticali di alcune prove down-hole, lontane dall'ubicazione delle 4 sezioni modellate, sono state condotte analisi di risposta sismica 1D, considerando i valori desunti dalle 3 prove (DH5, DH9 e DH13).

Sono aree in cui è cartografato in affioramento substrato geologico deformabile, ma in cui localmente sono presenti importanti contrasti di impedenza nei livelli superficiali.

I risultati delle analisi in termini di spettri di risposta elastici e relativi valori di FH sono illustrati in figura 7.1.22.

Mentre per la zona di ubicazione DHS5, essendo presente un profilo di Vs abbastanza omogeneo, il valore di FH è sempre prossimo ad 1, nel caso di DHS9 e DHS13 la presenza di importanti contrasti d'impedenza superficiali porta a fattori medio-elevati nell'intervallo 0.1-0.5s.

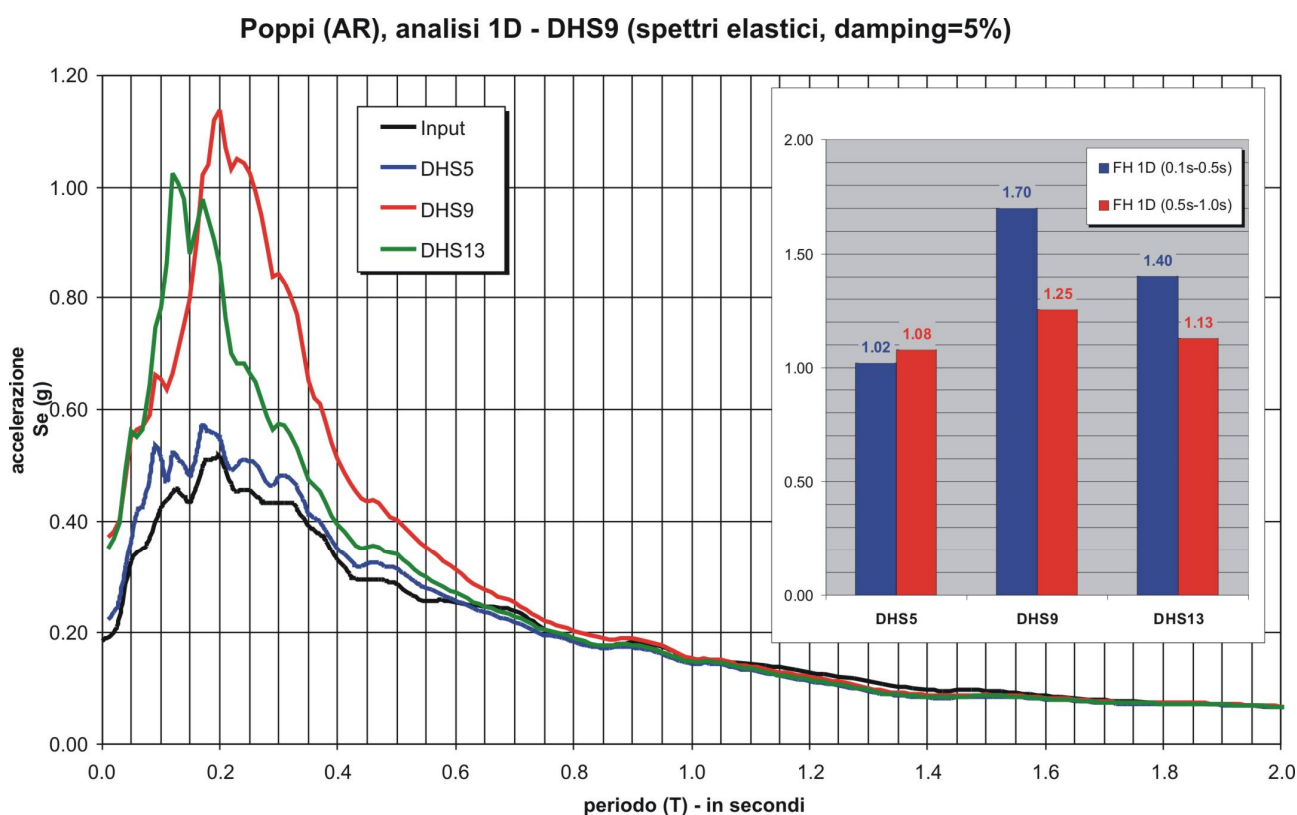


Fig.7.1.22 – Simulazione 1D in aree ad affioramento del substrato geologico deformabile: confronto in termini di spettri di risposta elastici e relativi fattori di amplificazione

8.0 Elaborati cartografici

Di seguito si riportano gli elaborati cartografici realizzati.

8.1 – Carta delle indagini

Per ognuna delle aree selezionate per la Microzonazione Sismica sono state realizzate le cartografie delle indagini in scala 1:5000 in cui si riportano tutte le informazioni pregresse in aggiunta a tutte le indagini geognostiche che sono state realizzate ad hoc nei siti di interesse..

Tale cartografia costituisce il primo passo per la definizione del quadro conoscitivo del sottosuolo e deve essere predisposta in due successive fasi: nell’ambito delle attività del livello 1 di approfondimento, in cui devono essere rappresentate le indagini pregresse e di nuova realizzazione, e per i successivi livelli 2 e 3, in cui devono essere indicate anche eventuali nuove indagini realizzate ex-novo per lo studio di microzonazione sismica.

Per una maggiore completezza si è scelto di realizzare una unica cartografia delle indagini che comprenda sia le indagini pregresse, sia le indagini realizzate nell’ambito del livello 3.

Nella suddetta cartografia sono indicate le localizzazioni delle indagini suddivise per tipologie e per codice di riferimento all’indagine in oggetto.

La carta delle indagini, riportate integralmente nel DVD allegato, è stata realizzata sia in forma cartacea che digitale (in formato GIS) utilizzando la simbologia e le specifiche tecniche per l’informatizzazione previste dalla “Commissione Nazionale per la Microzonazione Sismica” del DPC.

8.2 – Carta geologico-tecnica per la microzonazione sismica

Tale cartografia (redatta in scala 1:5.000) deriva essenzialmente da una revisione a scala di dettaglio delle cartografie geologiche e geomorfologiche esistenti unitamente a tutti i dati litologici, stratigrafici e litotecnici acquisiti.

Per quanto concerne la carta geologica e geomorfologica dell’area si è fatto riferimento per tutta l’area alle cartografie geologiche e geomorfologiche in scala 1:2000 realizzate dal DST dell’Università di Firenze nell’ambito del Programma VEL mediante rilevamenti geologici ad hoc e fotointerpretazioni. Durante la fase di rilievo è stata posta particolare attenzione alla mappatura dei depositi di copertura (con particolare riferimento a quelli con spessore maggiore di 2m), ed alla ricostruzione dettagliata di tutte le forme geomorfologiche, dei fenomeni gravitativi di versante e/o delle aree instabili e nell’individuazione del substrato roccioso mediante l’identificazione degli affioramenti significativi. Tali affioramenti sono stati utili anche per l’individuazione delle caratteristiche geomeccaniche dell’ammasso roccioso.

Ai fini della realizzazione della carta geologico-tecnica è stata condotta una revisione delle cartografie geologiche e geomorfologiche esistenti in funzione di tutti i dati litologici, stratigrafici e litotecnici acquisiti che ha comportato necessariamente anche rilevamenti di controllo in loco, particolare attenzione è stata posta alla mappatura e alla caratterizzazione dei depositi di copertura a seguito di tale revisione sono stati eseguiti anche accorpamenti tra alcune coperture ed anche tra alcuni litotipi che presentavano caratteristiche geologico tecniche simili. La cartografia è stata corredata da sezioni geologiche significative, in numero adeguato, orientate in modo tale da descrivere i principali elementi geologico-tecnici dell’area.

La carta geologico-tecnica è stata realizzata sia in forma cartacea che in formato vettoriale (tramite tecnologia GIS) utilizzando la simbologia prevista dagli “Standard di Rappresentazione e Archiviazione Informatica” redatti dal DPC (versione 3 , Ottobre 2013).

8.3 – Carta delle frequenze fondamentali

Sulla base delle misure di rumore sismico effettuate ed al fine di definire le principali caratteristiche della risposta sismica delle aree in esame, è stata effettuata l’analisi dei dati puntuali relativi alle

frequenze di risonanza al fine di poter ricostruire la carta delle frequenze fondamentali dei depositi presenti.

Tale cartografia oltre a illustrare la distribuzione di tali misure arealmente, permette, se pur con un certo margine di affidabilità, di poter fornire indicazioni di massima per le successive analisi di risposta sismica locale.

La campagna di indagini di sismica passiva (HVSR) ha potuto contare su 81 punti di misura e grazie alla dettagliata conoscenza delle Vsh dei terreni di copertura e dei diversi tipi di substrato geologico fornita dalle indagini esistenti ha reso possibile in particolare nell'area Capoluogo-Porrena sia la ricostruzione della morfologia di approfondimento del substrato geologico al di sotto dei depositi fluvio lacustri descritta dalla migrazione delle frequenze fondamentali verso valori sempre più bassi spostandosi dalla piana dell'Arno verso Nord-Est, ma anche la perimetrazione marcata da un aumento dell'entità del picco H/V, lungo la valle dell'Arno del contatto sepolto dalle medesime alluvioni, tra le argilliti della formazione di Sillano (substrato geologico ma non bedrock sismico) con la più lapidea Formazione della Pietraforte contraddistinta Vsh che mediamente si collocano attorno ai 1000 m/s e che quindi risulta bedrock sismico. A valle dell'abitato di Ponte a Poppi il passaggio è addirittura marcato da una scomparsa del picco, probabilmente imputabile a fatto che in quella area il substrato argillitico risulta sormontato da depositi alluvionali costituiti dalla conoide di deiezione del torrente Sova che in virtù di un'area di alimentazione rappresentata dal disfacimento dei depositi fluvio lacustri in facies grossolana presenta appunto una tessitura piuttosto grossolana risultando localmente caratterizzata da velocità di propagazione delle onde sismiche confrontabili a quelle del substrato geologico costituito dalla Formazione di Sillano che tra l'altro (come riportato nell'inquadramento geologico) in prossimità del passaggio con la Pietraforte risulta al quanto tettonizzata e pertanto meno veloce.

La presenza di depositi fluvio lacustri in facies grossolana poggianti su substrato argillitico spiega invece l'assenza di picco nelle misure realizzate sui rilievi in sponda sinistra del fiume Arno immediatamente a valle dell'abitato di Ponte a Poppi e nella frazione Memmenano.

Le misure realizzate nelle frazioni risultano contraddistinte da un'assenza di picco nelle aree caratterizzate da substrato subaffiorante, mentre evidenziano picchi più o meno marcati in corrispondenza di aree di accumulo di falde detritiche o corpi di frana.

Significativa la misura n.28 a Badia Prataglia che essendo posta su depositi palustro-lacustri associabili al bacino di sbarramento generatosi a seguito di una antica frana, presenta frequenze inusuali per il contesto "montano" dell'area, trovando tra l'altro una corrispondenza strettissima con il dato sismostratigrafico derivante dal sondaggio e dalla relativa DH eseguiti in quell'area.

8.4 – Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica

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 l'elaborato relativo alle **cartografie delle "microzonazione omogenee in prospettiva sismica"** (MOPS).

Tali cartografie sono state redatte in linea agli *"Indirizzi e criteri generali per la microzonazione sismica"*, per cui sono state individuate delle microzone per le quali, sulla base delle osservazioni geo-litologiche, geomorfologiche, litostratigrafiche e con i dati di base pregressi acquisiti, possano essere ipotizzati l'occorrenza di diversi tipi di effetti: amplificazione, instabilità di versante, liquefazione, ecc...

Le microzone della carta sono classificate in tre categorie:

- a) *Zone stabili*
- b) *Zone stabili suscettibili di amplificazione locali*
- c) *Zone suscettibili di instabilità*

La cartografia, quindi, corrisponde ad un approfondimento di *Livello 1* ed individua qualitativamente e grossolanamente la geometria delle aree potenzialmente caratterizzate da specifici effetti sismici locali. Ciò permette quindi di guidare i necessari approfondimenti di indagini nelle successive fasi di approfondimento identificabili con il livello 2 e/o 3.

In allegato, si riportano le carte delle microzone omogenee in prospettiva sismica redatte sia per la località Capoluogo – Porrena sia per le frazioni: Badia Prataglia, Lierna, Moggiona, Memmenano e Quota.

Tali cartografie sono state realizzate secondo la legenda riportata negli “*Indirizzi e criteri generali per la microzonazione sismica*”.

In linea di massima, come è possibile evincere dalla legenda alla cartografia riportata in fig.8.1, sono riportate le seguenti microzone:

Ø **Zona stabili suscettibili di amplificazione locali.** 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 (Formazione di Sillano – SIL e/o la Formazione delle Marne Varicolori di Villore – MVV e/o la Formazione delle Brecciole di Monte Senario – BNS e/o la Formazione delle Marne di Vicchio – VIC) che non sempre presentano le caratteristiche di un substrato rigido e che ai fini di questo lavoro sono state accorpate nella cartografia geologico tecnica in ALS e le aree in cui sono presenti litotipi più rigidi (Formazione della Pietraforte – Ptf, e/o la Formazione dei Calcari di Borgo alla Collina – CBC, e/o la Formazione delle Arenarie del Falterona – FAL, Formazione Marnoso Arenacea FMA) che solitamente presentano le caratteristiche di un substrato rigido e che ai fini di questo lavoro sono state accorpate nella cartografia geologico tecnica LPS, ma che sono inserite tra le zone stabili suscettibili di amplificazione in quanto presentano solitamente pendenze superiori a 15° e tale da non escludere fenomeni di amplificazione di tipo topografico. La suddivisione delle aree si completa anche con l'indicazione delle coperture detritiche ed i riporti superiori a 2m (comprendenti anche discariche). Di seguito si riporta la successione delle zone:

- **Zona 1**, caratterizzata da *substrato lapideo stratificato S* (LPS) con versante acclive (pendenza indicativamente superiore a 15°) e tale da non escludere fenomeni di amplificazione di tipo topografico.
- **Zona 2**, caratterizzata dalla presenza di *substrato roccioso* (ALS) (roccia debole) che non possono essere assimilati ad un bedrock sismico. Pertanto, per tali motivazioni, si è preferito inserire queste aree all'interno delle zone stabili suscettibili di fenomeni di amplificazione di tipo stratigrafico.
- **Zona 3** caratterizzata dalla presenza di copertura alluvionale quaternaria (SM) con spessori massimi di 20 m poggianti su un substrato rigido (LPS).
- **Zona 4**, caratterizzata dalla presenza di copertura alluvionale quaternaria (SM) con spessori massimi di 20 m poggianti su un substrato non rigido (ALS).
- **Zona 5** caratterizzata dalla presenza di copertura detritica (GM) con spessori massimi di 15 m poggianti su un substrato rigido (LPS).
- **Zona 6**, caratterizzata dalla presenza di copertura detritica (GM) con spessori massimi di 15 m poggianti su un substrato non rigido (ALS).
- **Zona 7** caratterizzata dalla presenza di copertura detritica (GM) con spessori massimi di 30 m poggianti su un substrato rigido (LPS).
- **Zona 8**, caratterizzata dalla presenza di copertura detritica (GM) con spessori massimi di 30 m poggianti su un substrato non rigido (ALS)

- **Zona 9** caratterizzata dalla presenza di terreni di riporto con spessore massimo di 10 m posti su eventuale copertura detritica (GM) con spessori massimi di 15 m poggiante su un substrato rigido (LPS).
- **Zona 10**, caratterizzata dalla presenza di terreni di riporto con spessore massimo di 10 m posti su eventuale copertura detritica (GM) con spessori massimi di 15 m poggiante su un substrato non rigido (ALS).
- **Zona 11** caratterizzata dalla presenza di terreni di riporto con spessore massimo di 10 m posti su depositi quaternari di copertura alluvionale (SM) con spessori massimi di 20m poggianti su un substrato non rigido (ALS).
- **Zona 12** caratterizzata dalla presenza di depositi fluvio-lacustre di natura limoso-argillosa (CL) con spessori massimi di 20m poggianti su un substrato rigido (LPS).
- **Zona 13** caratterizzata da *substrato lapideo stratificato S* (LPS) con con spessori superficiali di alterazione/fatturazione massimi di 20m
- **Zona 14** caratterizzata dalla presenza depositi di conoide (GC) con spessore massimo di 20 m su copertura alluvionale quaternaria (SM) con spessori massimi di 20 m poggiante su un substrato non rigido (ALS).
- **Zona 15**, caratterizzata dalla presenza di terreni di riporto con spessore massimo di 10 m su depositi lacustro-palustri di natura argillosa o limoso argillosa (OL) con spessori massimi di 30 m poggiante su un substrato rigido (LPS).
- **Zona 16**, caratterizzata dalla presenza di terreni di riporto con spessore massimo di 10 m su depositi lacustro-palustri di natura argillosa o limoso argillosa (OL) con spessori massimi di 30 m poggiante su un substrato non rigido (ALS).
- **Zona 17** caratterizzata dalla presenza di depositi fluvio-lacustri di natura grossolana (GP) con spessori inferiori a 50 m poggianti su un substrato non rigido (ALS).
- **Zona 18** caratterizzata dalla presenza di depositi fluvio-lacustri di natura limoso-argillosa (CL) con spessori compresi tra 20 e 50 m poggianti su un substrato rigido (LPS).
- **Zona 19** caratterizzata dalla presenza di depositi fluvio-lacustri di natura limoso-argillosa (CL) con spessori massimi di 50m poggianti su un substrato rigido (LPS).
- **Zona 20** caratterizzata dalla presenza depositi di conoide (GC) con spessore massimo di 20 m su copertura alluvionale quaternaria (SM) con spessori massimi di 20 m posti su depositi fluvio-lacustri di natura limoso-argillosa (CL) con spessori massimi di 50m poggianti su un substrato non rigido (ALS).
- **Zona 21** caratterizzata dalla presenza depositi di conoide (GC) con spessore massimo di 20 m su copertura alluvionale quaternaria (SM) con spessori massimi di 20 m posti su depositi fluvio-lacustri di natura limoso-argillosa (CL) con spessori massimi di 50m poggianti su un substrato rigido (LPS).
- **Zona 22** caratterizzata dalla presenza di depositi fluvio-lacustri di natura limoso-argillosa (CL) con spessori maggiori di 50m poggianti su un substrato rigido (LPS).
- **Zona 23** caratterizzata dalla presenza di depositi fluvio-lacustri di natura limoso-argillosa (CL) con spessori maggiori di 50m poggianti su un substrato rigido (LPS).
- **Zona 24** caratterizzata dalla presenza depositi di copertura alluvionale quaternaria (SM) con spessori massimi di 20 m posti su depositi fluvio-lacustri di natura limoso-argillosa (CL) con spessori maggiori di 50m poggianti su un substrato non rigido (ALS).
- **Zona 25** caratterizzata dalla presenza di depositi di conoide (GC) con spessore massimo di 20 m su copertura alluvionale quaternaria (SM) con spessori massimi di 20 m posti su depositi fluvio-lacustri di natura limoso-argillosa (CL) con spessori maggiori di 50m poggianti su un substrato non rigido (ALS).
- **Zona 26** caratterizzata dalla presenza di depositi fluvio lacustri di natura sabbioso-ghiaiosa (SW) dello spessore massimo di 30m su depositi fluvio-lacustri di natura

limoso-argillosa (CL) con spessori compresi tra 20 e 50 m poggianti su un substrato rigido (LPS).

- **Zona 27** caratterizzata dalla presenza depositi di copertura alluvionale quaternaria (SM) con spessori massimi di 20 m posti su depositi fluvio-lacustri di natura limoso-argillosa (CL) con spessori minori di 50 m poggianti su un substrato non rigido (ALS).
- **Zona 28** caratterizzata dalla presenza di terreni di riporto con spessore massimo di 10 m posti sopra depositi di copertura alluvionale quaternaria (SM) con spessori massimi di 20 m posti a loro volta su depositi fluvio-lacustri di natura limoso-argillosa (CL) con spessori minori di 50 m poggianti su un substrato non rigido (ALS).
- **Zona 29** caratterizzata dalla presenza di depositi fluvio lacustri di natura sabbioso-ghiaiosa (SW) dello spessore massimo di 30m su depositi fluvio-lacustri di natura grossolana (GP) con spessori inferiori a 50 m poggianti su un substrato non rigido (ALS).
- **Zona 30** caratterizzata dalla presenza di depositi fluvio lacustri di natura sabbioso-ghiaiosa (SW) dello spessore massimo di 30m su depositi fluvio-lacustri di natura limoso-argillosa (CL) con spessori maggiori di 50 m poggianti su un substrato rigido (LPS).
- **Zona 31** caratterizzata dalla presenza di depositi fluvio lacustri di natura sabbioso-ghiaiosa (SW) dello spessore massimo di 30m su depositi fluvio-lacustri di natura grossolana (GP) con spessori maggiori di 50 m poggianti su un substrato non rigido (ALS).
- **Zona 32** caratterizzata dalla presenza di copertura alluvionale quaternaria (SM) con spessori compresi tra 20 e 50 m poggianti su un substrato non rigido (ALS).
- **Zona 33** caratterizzata dalla presenza di depositi di conoide (GC) con spessore massimo di 20 m su copertura alluvionale quaternaria (SM) con spessori compresi tra 20 e 50 m poggianti su un substrato non rigido (ALS).
- **Zona 34** caratterizzata dalla presenza di depositi fluvio-lacustri di natura grossolana (GP) con spessori maggiori a 50 m poggianti su un substrato non rigido (ALS).
- **Zona 35** caratterizzata dalla presenza di copertura alluvionale quaternaria (SM) con spessori massimi di 20 m su depositi fluvio-lacustri di natura grossolana (GP) con spessori inferiori a 50 m poggianti su un substrato non rigido (ALS).
- **Zona 36** caratterizzata dalla presenza di copertura alluvionale quaternaria (SM) con spessori massimi di 20 m su depositi fluvio-lacustri di natura grossolana (GP) con spessori superiori a 50 m poggianti su un substrato non rigido (ALS).
- **Zona 37** caratterizzata dalla presenza di depositi di conoide (GC) con spessore massimo di 20 m su copertura alluvionale quaternaria (SM) con spessori massimi di 20 m su depositi fluvio-lacustri di natura grossolana (GP) con spessori inferiori a 50 m poggianti su un substrato non rigido (ALS).
- **Zona 38** caratterizzata dalla presenza di depositi fluvio lacustri di natura sabbioso-ghiaiosa (SW) dello spessore massimo di 30m su depositi fluvio-lacustri di natura limoso-argillosa (CL) con spessori minori di 50 m poggianti su un substrato non rigido (ALS).
- **Zona 39** caratterizzata dalla presenza di depositi fluvio lacustri di natura sabbioso-ghiaiosa (SW) dello spessore massimo di 30m su depositi fluvio-lacustri di natura limoso-argillosa (CL) con spessori maggiori di 50 m poggianti su un substrato non rigido (ALS).

E' opportuno precisare che l'indicazione relativa allo spessore di copertura può essere suscettibile di variazioni in funzione dei dati di base esistenti nell'area, il cui numero è quantitativamente buono, ma la distribuzione può non essere sufficientemente omogenea.

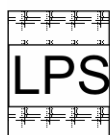
- Ø **Zone suscettibili di instabilità.** Sono state distinte esclusivamente le aree instabili connesse a fenomenologie gravitative di versante. Non sono state inserite aree con presenza di possibili cedimenti differenziali, né aree interessate da deformazioni legate alle faglie attive e capaci, né aree con terreni potenzialmente suscettibili di liquefazione in quanto non ricorrono nessuna di queste fenomenologie. In particolare, per quest'ultime, sono stati valutati, in corrispondenza delle litologie prevalentemente sabbiose, tutti i fusi granulometrici disponibili dalle analisi di laboratorio per una preliminare valutazione della suscettibilità a liquefazione secondo il metodo proposto da AGI, 2005. Anche le analisi dei dati esistenti denotano la presenza di materiali con un'ampia distribuzione granulometrica e presenza di elevate percentuali di frazioni fini e di materiali a granulometria grossolana, tuttavia non si può escludere che localmente in aree non interessate dalle indagini che costituiscono il quadro conoscitivo del presente lavoro sussistano condizioni predisponenti al fenomeno. In sede di predisposizione dei piani complessi di intervento o dei piani attuativi o in loro assenza in sede di predisposizione dei progetti edilizi dovrà comunque essere verificata la stabilità nei confronti della liquefazione secondo il paragrafo 7.11.3.4 delle NTC/08.

La carta è stata completata riportando le più significative *forme di superficie*: cresta e orli di scarpata morfologica.

Si precisa che, laddove siano disponibili cartografie di microzonazione sismica di livelli superiori (livello 2 o 3), la stima della pericolosità sismica locale dovrà essere effettuata esclusivamente sulla base di tali cartografie, le quali forniscono una stima quantitativa del parametro amplificativo (fattore d'amplificazione di Housner nel presente lavoro).

Di contro, nei casi in cui tali cartografie di livello superiore non siano disponibili, si dovranno utilizzare, ai fini della predisposizione della carta di pericolosità sismica (ai sensi del Reg. 53R/2011), i dati qualitativi forniti dalle cartografie MOPS le quali, non fornendo alcuna stima inerente la pericolosità sismica, devono essere intese solo come guida per gli approfondimenti d'indagine/prescrizione successivi.

INFORMAZIONI SUL SUBSTRATO



SUBSTRATO (comprese eventuali coltri d alterazione < 3 metri)

Lapideo Stratificato Vs medie > 800 m/s

Formazione Pietraforte/Arenarie Falterona/
Marnoso Arenacea/Calcari Borgo alla Collina



SUBSTRATO (comprese eventuali coltri d alterazione < 3 metri)

Alternanza Litotipi Stratificati Vs medie < 800 m/s

Formazione Sillano/Brecciole Monte Senario
Marne di Vicchio/Marne Varicolori di Villore



Substrato molto fratturato o alterato

INFORMAZIONI SUI TERRENI DI COPERTURA



falda detritica (Ghiaie limose, miscela di ghiaia, sabbia e limo)



Terreni di riporto (terreni contenenti resti di attività antropica)



Depositi alluvionali recenti e terrazzati (sabbie limose, miscela di sabbie e limo, ARN2-3)



Depositi alluvionali antichi di chiusura del ciclo lacustre
(Sabbie pulite ben assortite, sabbie ghiaiose ARN1)



Depositi di conoide (ghiaie argillose, miscela di ghiaia, sabbia e argilla)



Depositi fluvio lacustri fini (argille ghiaiose o sabbiose, argille limose CAS1)



Depositi fluvio lacustri grossolani (ghiaie pulite, miscela di ghiaie e sabbia CAS 2)



Depositi lacustro-palustri fini (limi organici, argille limose organiche)

Fig. 8.1a – Legenda alla Cartografia di Microzonazione Sismica di livello 1 (MOPS)

ZONE STABILI SUSCETTIBILI DI AMPLIFICAZIONI LOCALI

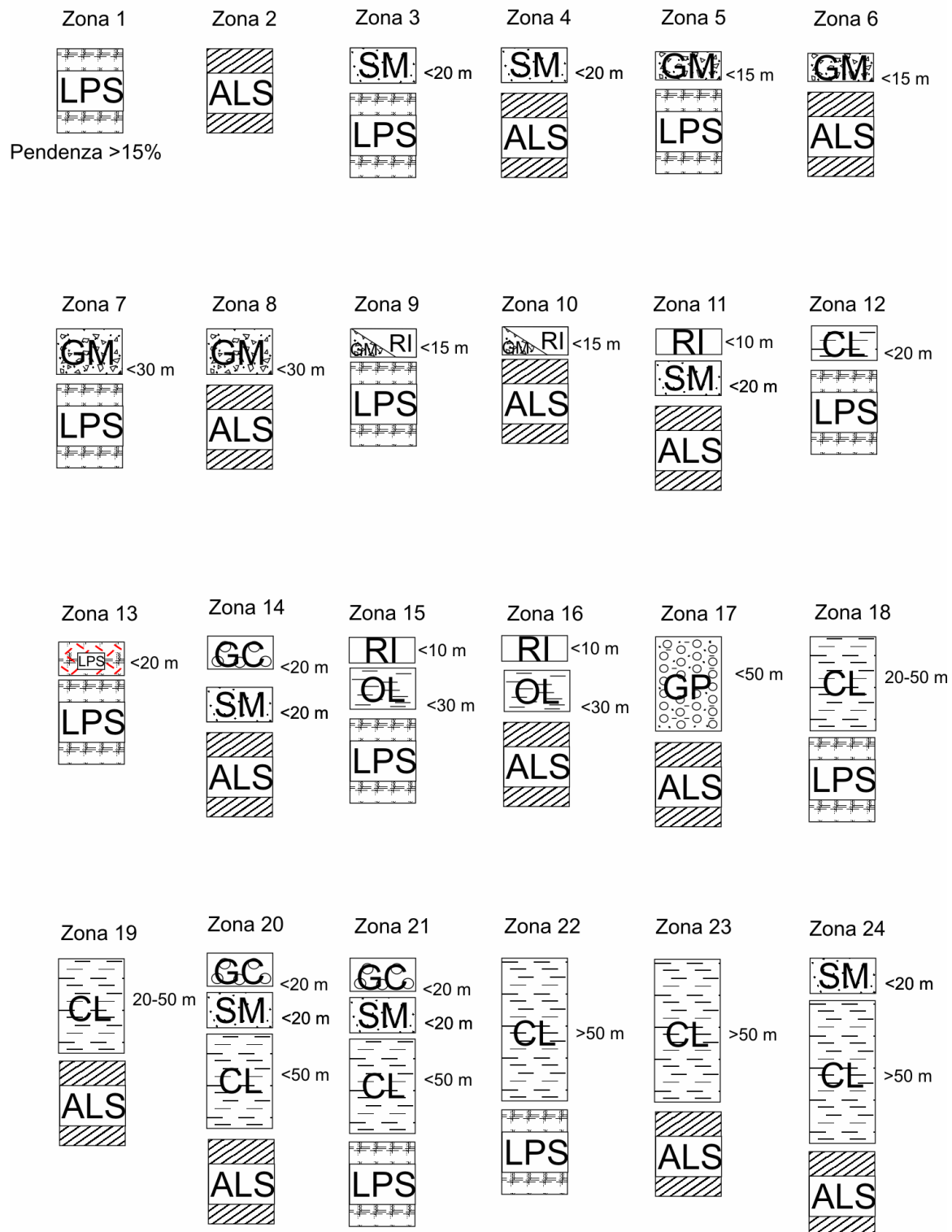


Fig. 8.1b – Legenda alla Cartografia di Microzonazione Sismica di livello 1 (MOPS)

ZONE STABILI SUSCETTIBILI DI AMPLIFICAZIONI LOCALI

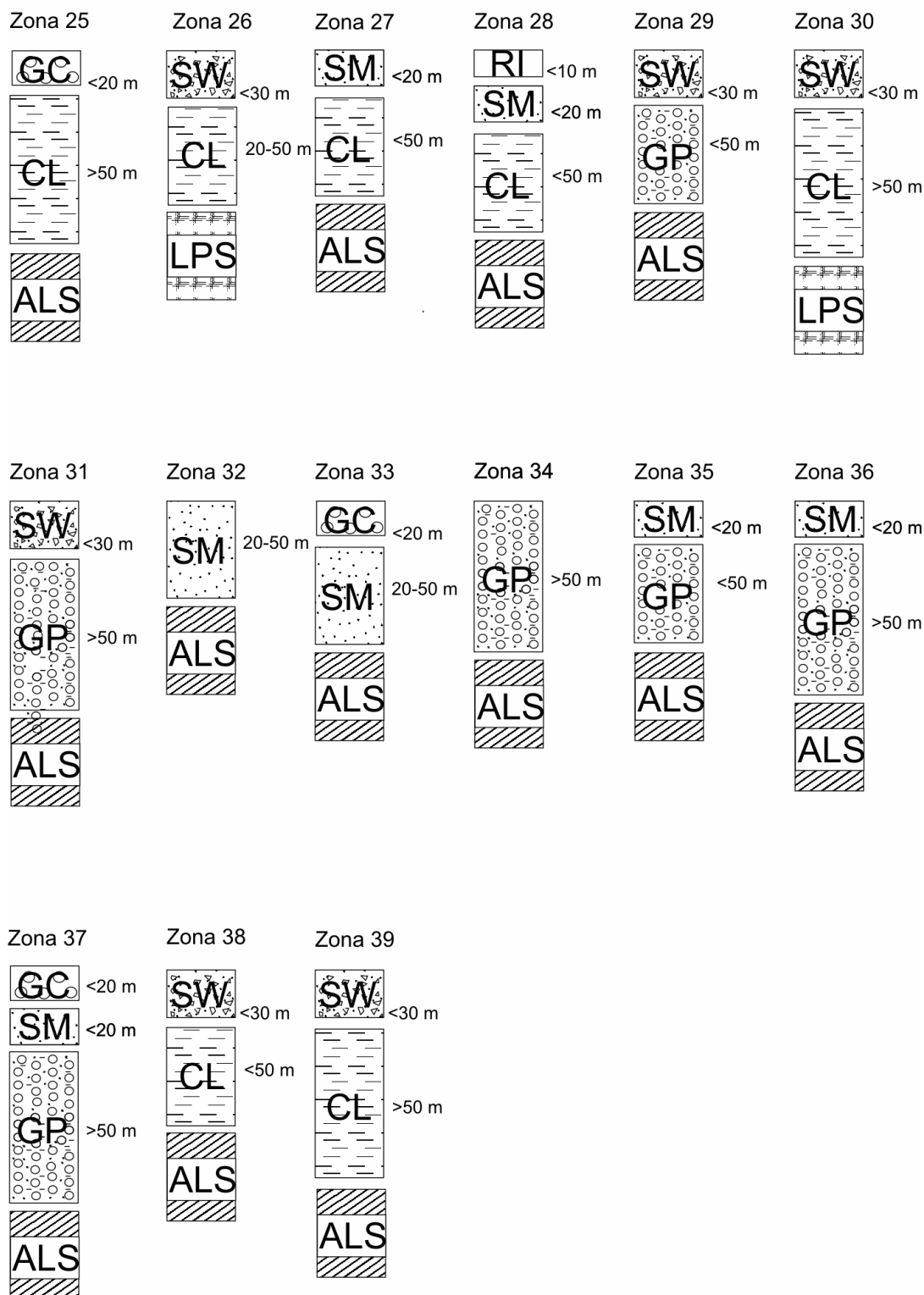


Fig. 8.1c – Legenda alla Cartografia di Microzonazione Sismica di livello 1 (MOPS)

8.6 – Carta di microzonazione sismica di livello 3

La realizzazione delle analisi di risposta sismica locale mono e bidimensionale, illustrata nei capitoli precedenti, ha permesso la redazione della cartografia di microzonazione sismica di livello 3, per quanto attiene all'area del capoluogo di Poppi e dell'attigua frazione di Porrena.

I risultati in termini di FH, desunti dalle analisi 2D effettuate in corrispondenza delle 4 sezioni geologico-tecniche rappresentative del modello di sottosuolo ed opportunamente confrontate con le omologhe analisi in contesto monodimensionale, sono stati estesi arealmente mediante l'ausilio combinato della cartografia geologico-tecnica e della cartografia MOPS.

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

1. rappresentazione su mappa di tutti i punti di output delle modellazioni dinamiche effettuate, con i relativi valori di FH;
2. individuazione del modello geologico-tecnico alla base di ogni valore di FH desunto;
3. identificazione sulle cartografie tematiche esistenti (in particolare geologico-tecnico 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 gli omologhi valori di FH da analisi monodimensionale e conseguente attribuzione del fattore FH nelle predette aree;
5. raggruppamento di situazioni tipologiche ed amplificative simili mediante la discretizzazione dell'area in classi distinte da differenti intervalli di FH;
6. rappresentazione della cartografia prodotta mediante software operante in ambiente GIS.

Sulla base di quanto illustrato precedentemente, si può discretizzare l'area capoluogo di Firenzuola nelle seguenti classi:

ZONA A (FH =1): include le aree di affioramento del substrato sismico rigido (formazione della Pietraforte – PTF). Si evidenzia che in quest'area il substrato roccioso presenta una pendenza sempre superiore a 15° a cui è stato assegnato un fattore di amplificazione topografica pari ad 1.2 (massimo fattore previsto per le aree caratterizzate da categoria topografica T2, ai sensi delle NTC2008);

ZONA B (1 < FH < 1.3) aree di affioramento del detrito di versante caratterizzato da modesti spessori delle coperture sismiche, aree di affioramento delle argilliti del Sillano (in cui le prove geofisiche eseguite escludono contrasti di velocità e zone con presenza in affioramento dei depositi fluvio-lacustri (CAS) poggianti sulle argilliti. Tali configurazioni sismostratigrafiche sono in grado di fornire amplificazioni modeste;

ZONA C (1.3 • FH < 1.5): comprende limitate porzioni del territorio del capoluogo, in cui i depositi detritici di versante sono caratterizzati da spessori maggiori di 5m;

ZONA D (1.5 • FH • 2.0): individua aree di affioramento dei depositi alluvionali recenti (ARN3) e terrazzati (ARN1 e ARN2) e le zone di affioramento dei depositi fluvio-lacustri (CAS) poggianti sulla formazione della Pietraforte (PTF). A queste zone va aggiunta l'area di Monte Ascensione, le cui caratteristiche stratigrafiche sono illustrate dal sondaggio S9 e relativa prova down-hole, su cui è stata condotta un'analisi 1D ad hoc;

8.7 – Commenti finali e criticità

Il presente lavoro è stato presentato in questo volume in maniera organica con l'obiettivo di fornire, all'Amministrazione Comunale e anche ai professionisti che operano in tale Comune, una descrizione dettagliata e particolarmente approfondita del livello di conoscenza del terreno presente nel Comune di Poppi. Sono state così presentati, discussi ed interpretati in chiave geologica tutti i risultati dei rilievi geologici eseguiti nell'area, tutti i dati geofisici disponibili desunti sia dalle indagini geofisiche di superficie che dalle indagini in foro, tutti i dati geotecnici derivati dai sondaggi geotecnici, dalle prove in situ ed in laboratorio effettuate. Tali dati sono stati opportunamente incrociati al fine di permettere una attendibile ricostruzione del modello geologico-tecnico.

Sulla base del quadro conoscitivo ricostruito, le località indagate nel Comune di Poppi presentano una situazione geologica e stratigrafica complessa.

Le indagini eseguite hanno permesso di definire l'andamento del *bedrock* e gli spessori delle coperture costituite da depositi alluvionali e da depositi antropici superficiali, oltre ai corrispondenti parametri geofisici e geotecnici.

Poiché gli spessori delle coperture variano tra 0 a 20 metri, l'area del fondovalle in corrispondenza della zona di Ponte a Poppi - Porrena risulta essere a rischio di amplificazione a causa del contrasto di impedenza sismica che si può venire a creare tra copertura e substrato roccioso e che in particolare nell'area di Ponte a Poppi, dove il substrato è rappresentato dalla formazione della Pietraforte, risulta piuttosto elevato. Ulteriori casi di amplificazione stratigrafica e di focalizzazione delle onde sismiche si possono avere in situazioni di bordo valle e di raccordo col versante ed anche nelle frazioni montane caratterizzate dalla presenza di coperture detritiche e/o eluvio-colluviali.

Infine, tutte le zone di frana, in minor parte quelle stabilizzate, sono suscettibili ad una accentuazione dei fenomeni di instabilità a causa degli effetti dinamici che si possono verificare in occasione di eventi sismici.

Tutte queste problematiche sono state riassunte nella cartografia delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (MOPS), la quale dovrà essere inserita, a cura dell'Amministrazione Comunale, all'interno del quadro conoscitivo del proprio strumento urbanistico generale e che costituirà la base fondamentale per una buona determinazione dei futuri programmi d'indagine sia da un punto di vista quantitativo sia in riferimento alle migliori tipologie in funzione del contesto da indagare.

Invece, la cartografia di microzonazione sismica di livello 3, meglio illustrata nei precedenti capitoli, 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 e B = classe di pericolosità sismica S2;

ZONE C e D = classe di pericolosità sismica S3

Inoltre, si fa presente che, in corrispondenza delle aree di instabilità di versante dovuta a fenomeni gravitativi quiescenti, dovranno essere perimetrate le classi di pericolosità S3, secondo le indicazioni meglio definite dal regolamento regionale 53R/2011.

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 (FH) è derivante da estrapolazione.

Infine, limitatamente alle zone C e D (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.

9.0. Bibliografia

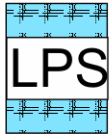
- AA.VV. (2007) – *Istruzioni tecniche per le indagini geologiche, geofisiche, geognostiche e geotecniche per la valutazione degli effetti locali nei comuni classificati sismici della Toscana. VOLUME 1B Criteri, metodologie, modalità di presentazione delle indagini e degli elaborati* “Programma VEL” e “Programma di valutazione della vulnerabilità sismica degli edifici pubblici e/o strategici in muratura o in cemento armato (VSM e VSCA)” in Garfagnana, Lunigiana, Valtiberina, Casentino, Mugello ed Amiata. Regione Toscana – Direzione Generale Politiche Territoriali ed Ambientali – Servizio Sismico Regionale.
- AA.VV. (2007) – *Istruzioni tecniche per le indagini geologiche, geofisiche, geognostiche e geotecniche per la valutazione degli effetti locali nei comuni classificati sismici della Toscana. VOLUME 5 Legende per la realizzazione della cartografia geologica, geomorfologia e litologico-tecnica per le aree del Mugello* “Programma VEL” e “Programma di valutazione della vulnerabilità sismica degli edifici pubblici e/o strategici in muratura o in cemento armato (VSM e VSCA)” in Garfagnana, Lunigiana, Valtiberina, Casentino, Mugello ed Amiata. Regione Toscana – Direzione Generale Politiche Territoriali ed Ambientali – Servizio Sismico Regionale.
- BENVENUTI M. (1996) – *Carta Geologica del bacino Fluvio-Lacustre del Mugello (Firenze) Scala 1:50.000*. ARCA ed.
- BENVENUTI M. (1997) – *Physical stratigraphy of the fluvio-lacustrine Mugello Basin (Plio-Pleistocene, Northern Apennines, Italy)* – *Giornale di Geologia*, ser.3°, vol. 59/1-2: 91-111.
- DE CASTRO C. & PILLOTTI C. (1993) - *I giacimenti di lignite della Toscana*. Mem. Desc.Carta Geol. D'Italia, 23, 3-23.
- DELLE DONNE D. (2005) – *Tettonica Attiva dell'Appennino Settentrionale nel settore compreso tra l'Appennino Pistoiese e l'alta Val Tiberina*, Tesi di dottorato, Università di Firenze.
- FACCIORUSSO J., MADIAI 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 proper amplification factor*. Second International Conference on performance-based design in Earthquake Geotechnical Engineering. May 28-30, 2012 - Taormina (Italy).
- GRUPPO DI LAVORO MS (2008) – *Indirizzi e Criteri Generali per la Microzonazione Sismica*, Conferenza delle Regioni e della Province Autonome – DPC, Roma
- KOTTKE ALBERT R. & RATHJE ELLEN M. (2008) – *Technical Manual for Strata* - PEER 2008/10
- Kuhlemeyer R.L. & Lysimer J. (1973) – Finite element method accuracy for wave propagation problems. *J. Soil Mech. & Foundations*. Div. ASCE, 99 (SM5), pp 421-427
- LANZO G. & SILVESTRI F. (1999) – *Risposta Sismica Locale*. Edizioni Hevelius.
- MANTOVANI E., VITI M., BABBUCCI D., CENNI N., TAMBURELLI C., FIANCHISTI G., BAGLIONE M., D'INTINOSANTE V. & FABBRONI P. (2011) – *Quaternary Sismotettonica dell'Appennino settentrionale. Implicazioni per la pericolosità sismica della Toscana*. Stampa Centro stampa Giunta Regione Toscana.
- MANTOVANI E., VITI M., BABBUCCI D., CENNI N., TAMBURELLI C., VANNUCCHI A., FALCIANI F., FIANCHISTI G., BAGLIONE M., D'INTINOSANTE V. & FABBRONI P. (2012) – *Potenzialità sismica della Toscana e definizione di criteri di priorità per interventi di prevenzione*. Stampa Centro stampa Giunta Regione Toscana
- MARTINI I.P. & SAGRI M. (1993) – *Tectono-sedimentaries characteristics of Late Miocene-Quaternary extensional basins of the Northern Apennines, Italy*. *Earth Science Reviews*, 34. 197-233.
- MINISTERO DELLA INFRASTRUTTURE (2008), D.M. 14/01/2008 (G.U. n.29 del 04/02/2008) – *Norme Tecniche per le Costruzioni*, Roma
- ROVIDA A., CAMASSI R., GASPERINI P., STUCCHI M. (eds.), (2011) – *CPTIII, the 2011 version of the Parametric Catalogue of Italian Earthquakes*. Milano,Bologna (<http://emidius.mi.ingv.it/CPTI>).

Appendice 1

Sezioni Geologico-Tecniche

Legenda:

SUBSTRATO



SUBSTRATO (comprese eventuali coltri d alterazione < 3 metri)
Lapideo Stratificato Vs medie > 800 m/s
 Formazione Pietraforte/Arenarie Falterona/
 Marnoso Arenacea/Calcari Borgo alla Collina



SUBSTRATO (comprese eventuali coltri d alterazione < 3 metri)
Alternanza Litotipi Stratificati Vs medie < 800 m/s
 Formazione Sillano/Brecciole Monte Senario
 Marne di Vicchio/Marne Varicolori di Villore

TERRENI DI COPERTURA



falda detritica (Ghiaie limose, miscela di ghiaia, sabbia e limo)



Terreni di riporto (terreni contenenti resti di attività antropica)



Depositi alluvionali recenti e terrazzati (sabbie limose, miscela di sabbie e limo, ARN2-3)



Depositi alluvionali antichi di chiusura del ciclo lacustre
 (Sabbie pulite ben assortite, sabbie ghiaiose ARN1)



Depositi di conoide (ghiaie argillose, miscela di ghiaia, sabbia e argilla)



Depositi fluvio lacustri fini (argille ghiaiose o sabbiose, argille limose CAS1)



Depositi fluvio lacustri grossolani (ghiaie pulite, miscela di ghiaie e sabbia CAS 2)

Ambienti genetico deposizionali terreni di copertura:

| | |
|----|---------------------|
| fd | Falda detritica |
| ca | Conoide alluvionale |
| tf | terrazzo fluviale |
| lc | lacustre |
| zz | altro ambiente |

